

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando
a abordagem integrada DEA/AHP**

Humberto de Paiva Junior

**Campinas
2000**

i



87 670 100 N

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando
a abordagem integrada DEA/AHP**

Humberto de Paiva Junior

Orientador: Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior

Dissertação de Mestrado apresentado à
Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de
Engenharia Civil da Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil, na área de concentração em Engenharia de
Transportes

Campinas, SP
2000

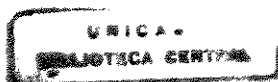
iii

**Atesto que esta é a versão definitiva
da dissertação/tese.**

27/11/2000

Prof. Dr. _____

Matrícula: 2613963



UNIDADE	B.P.
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	P166a
V.	Ex.
TOMBO BC/	43654
PROC.	96-392101
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC.º	R\$ 99,00
DATA	08/02/01
N.º CPD	

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

CM-00153436-8

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P166a Paiva Junior, Humberto de
Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a
abordagem integrada DEA/AHP / Humberto de Paiva
Junior.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Orlando Fontes Lima Júnior
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Pesquisa operacional. 2. Processo decisório por
critério múltiplo. 3. Desempenho. 4. Ferrovias –
Avaliação. 5. Indicadores estatísticos. 6.
Benchmarking (Administração). I. Lima Júnior,
Orlando Fontes. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Avaliação de desempenho de ferrovias
utilizando a abordagem integrada DEA/AHP**

Eng. Humberto de Paiva Junior


Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior
Presidente e Orientador / Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



Prof. Dr. Nicolau Dionisio Fares Gualda
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP



Prof. Dr. Jurandir Fernando Ribeiro Fernandes
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP

Campinas, 21 de Fevereiro de 2000.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SECÃO CIRCULANTE

À Mãira

**A quem eu admiro e amo muito por ser uma
fonte perene de alegria, inspiraço e Amor.**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP pela minha formação profissional.

Ao Prof. Dr. José Carlos Zanfelice por ter me orientado no início de minha vida acadêmica.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Ao Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior pela orientação durante a elaboração desse trabalho e ao Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes.

Aos professores, Dr. Nicolau D. F. Gualda, Doutor Jurandir F. R. Fernandes e Dra Maria L. Galves pela análise crítica que contribuiu para o aperfeiçoamento desse trabalho. E ao Prof. Dr. Hugo T. Y. Yoshizaki pelas discussões instigantes que abriram novas portas para essa pesquisa.

Ao Ministério dos Transportes, à Secretaria de Transportes Terrestres e especificamente à Secretaria de Desenvolvimento, que através do sr. Osíres dos Reis Pereira, sr. Roberto Zaidan e sr. Gonzalez Braga Alves, motivaram o desenvolvimento desse trabalho e tiveram um importante papel em sua fase de conclusão.

Aos amigos do LPT-EPUSP, Liége, Marcelo (Bob), Renato, Roberto, Cida, Mônica Marcelo, Fábio, por me darem o prazer e o orgulho de ter trabalhado com eles.

Aos amigos da UNICAMP, Carlos Eduardo Foltran pelas dicas para enfrentar o dia "D", à Paola Simoni Zappa Lopez pela minuciosa revisão e discussão da dissertação e à Doutora Dominique Mouette, a qual considero minha co-orientadora.

Aos amigos Guido, Zeule, Maria Angela, Shigeo, Narue e Odette que tanto torcem por mim.

Finalmente aos meus pais Humberto e Dina, à minha avó Belendrina e à minha irmã Fabiana pelo apoio em todos os momentos de minha vida e o incentivo em todos os meus projetos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xix
SIGLAS E ABREVIACÕES.....	xxiii
RESUMO	xxvii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Estrutura do Trabalho	2
2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Restruturação do transporte ferroviário.....	5
2.2.1 Experiências internacionais.....	9
2.2.1.1 Grã-Bretanha	9
2.2.1.2 Alemanha.....	10
2.2.1.3 México	10
2.2.1.4 Argentina	11
2.2.2 Experiências nacionais	12
2.3 Projeto SEDES-MT	14
2.3.1 Estrutura de indicadores ferroviários do Ministério dos Transportes.....	15
2.4 Conclusões do capítulo.....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 Introdução	21
3.2 Métodos de avaliação de desempenho.....	22
3.3 Indicadores	29

3.3.1 Sistema organizacional.....	30
3.3.2 Estrutura de indicadores	32
3.4 Data Envelopment Analysis – DEA.....	33
3.4.1 Definição	33
3.4.2 Componentes essenciais	36
3.4.3 Formulações básicas	38
3.4.4 Vantagens e limitações	44
3.4.5 Aspectos teóricos.....	45
3.4.6 Aspectos computacionais	49
3.4.7 Aspectos práticos.....	50
3.5 Analytic Hierarchy Process - AHP.....	54
3.5.1 Princípios.....	54
3.5.2 Axiomas.....	55
3.5.3 Estruturação.....	56
3.5.4 Julgamento.....	59
3.5.5 Síntese dos julgamentos	65
3.6 Benchmarking.....	68
3.6.1 Conceito.....	68
3.6.2 Tipos de Benchmarking.....	69
3.6.3 Processo.....	70
3.7 Conclusões do capítulo.....	71
4 METODOLOGIA.....	73
4.1 Introdução.....	73
4.2 Apresentação da metodologia de desenvolvimento.....	74
4.3 Etapas do Método DEA.....	76
4.3.1 Seleção de DMUs	76
4.3.2 Definição do papel e do objetivo das DMUs.....	77
4.3.3 Aplicação piloto.....	77
4.3.4 Escolha das variáveis.....	78
4.3.5 Seleção do modelo DEA	80
4.3.6 Resolução do modelo DEA	83

4.3.7 Interpretação dos Resultados.....	83
4.4 Etapas do método AHP	87
4.5 Uso integrado dos métodos DEA e AHP	89
4.6 Aspectos computacionais.	93
4.7 Testes e Validação	94
4.8 Conclusões do capítulo.....	95
5 ESTUDO DE CASO	97
5.1 Introdução.....	97
5.2 Análise DEA.....	98
5.2.1 Seleção de indicadores e DMUs.....	98
5.2.2 Seleção do modelo DEA	102
5.2.3 Resolução do modelo DEA	108
5.2.4 Composição de Inputs e Outputs.....	109
5.3 Análise AHP.....	111
5.3.1 Estruturação AHP	111
5.3.2 Planejamento da entrevista.....	113
5.3.3 Resultados da entrevista	113
5.3.4 Fase de síntese do método AHP	117
5.4 Correlação entre DEA e AHP.....	119
5.5 Conclusões do capítulo.....	121
6 CONCLUSÃO.....	123
6.1 Conclusões da pesquisa	123
6.2 Conclusões das análises.....	125
6.2.1 Benchmarking Competitivo.....	125
6.2.2 Benchmarking Nacional	126
6.2.3 Integração DEA e AHP	128
6.3 Recomendações	129
Anexo - Questionário para aplicação do método AHP.....	133
Referências bibliográficas	165
Abstract.....	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura lógica de indicadores ferroviários	18
Figura 2 – Métodos disponíveis para avaliação.....	23
Figura 3 – Representação gráfica da fronteira de produção	28
Figura 4 – Modelo organizacional.....	30
Figura 5 – Estrutura lógica de indicadores	33
Figura 6 – Exemplo de ambigüidade.....	42
Figura 7 – Campos de aplicação do método DEA	53
Figura 8 – Processo de decisão.....	58
Figura 9 – Estrutura hierárquica genérica.....	58
Figura 10 – Estrutura do método absoluto	67
Figura 11 – Esquema metodológico	74
Figura 12 – Fluxograma de aplicação do método DEA	76
Figura 13 – Critério de seleção do modelo DEA.....	81
Figura 14 – Evolução do grupo de benchmarking.....	86
Figura 15 – Estrutura hierárquica para diferentes agentes deliberantes	88
Figura 16 – Relação entre variáveis de Input e Output	102
Figura 17 – Prioridade dos indicadores de desempenho	106
Figura 18 – Estrutura para avaliação da produção de transporte.....	112
Figura 19 – Estrutura para avaliação de recursos	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores ferroviários	16
Tabela 2 – Dados ferroviários	27
Tabela 3 – Formulações básicas	39
Tabela 4 – Parâmetros de retorno de escala	43
Tabela 5 – Aplicações do método DEA	52
Tabela 6 – Aplicações do método DEA em transportes	54
Tabela 7 – Exemplo de matriz de comparações paritárias	55
Tabela 8 – A escala fundamental.....	60
Tabela 9 – Processo de avaliação de desempenho	61
Tabela 10 – Teste de Correlação	75
Tabela 11 – Comparação entre EXCEL e EMS	79
Tabela 12 – Indicadores do Banco Mundial.....	94
Tabela 13 – Matriz de correlação linear	100
Tabela 14 – Resumo estatístico	101
Tabela 15 – Aplicação piloto.....	104
Tabela 16 – Análise estatística dos pesos calculados pelo modelo CCR-IN.....	105
Tabela 17 – Conjunto sintético de indicadores.....	106
Tabela 18 – Multiplicativo VRS.....	109
Tabela 19 – Benchmarks para o Brasil.....	109
Tabela 20 – Combinação de insumos.....	110
Tabela 21 – Combinação de produção	111
Tabela 22 – Pesos dos indicadores da estrutura de benchmarking interno	114
Tabela 23 – Pesos dos indicadores da estrutura de benchmarking competitivo.....	117

Tabela 24 – Classificação AHP	118
Tabela 25 – Correlação ordinal dos rankings DEA (radiais) e o AHP	119
Tabela 26 – Correlação ordinal dos rankings DEA (não radiais) e AHP	120
Tabela 27 – Correlação ordinal dos rankings DEA e AHP	120
Tabela 28 – Comparação entre DEA e AHP	124

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL^S
SEÇÃO CIRCULANT^S

SIGLAS E ABREVIACÕES

ADDc: Modelo Aditivo - CRS

ADDv: Modelo Aditivo - VRS

AHP : Analytic Hierarchy Process

AMPL: A Mathematical Programming Language

ANP : Analytic Network Process

AR : Assurance Region

BCC : Banker, Charnes e Cooper

BNDES : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CCGSS : Charnes, Cooper, Golany, Seiford e Stutz

CCR : Charnes, Cooper e Rhodes

CCSS : Charnes, Cooper, Seiford e Stutz

COFER : Comissão Federal de Transportes Ferroviários

COSIPA : Companhia Siderúrgica Paulista

CRS : constant-returns-to-scale

CSN : Companhia Siderúrgica Nacional.

DEA : Data Envelopment Analysis

DEAP : Data Envelopment Analysis Program

DMU : Decision Making Unit

EMS : Efficiency Measurement System

FCA : Ferrovia Centro Atlântica

FDH : Free Disposal Hull

FERROPAR : Ferrovia do Paraná

FGV : Fundação Getúlio Vargas

FSA : Ferrovia Sul Atlântica

FTC : Ferrovia Tereza Cristina

GAMS : General Algebraic Modeling System

IC : Índice de Consistência

IPEM : Irvine Performance Evaluation Method

IR : Índice de consistência randômico

LPT-EPUSP : Laboratório de Planejamento e Operação de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MACBETH : Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation

MINOS: Modular In-Core Non Linear Optimization System

MS : Microsoft

MULTv: Modelo Multiplicativo - VRS

NAFTA : North American Free Trade Agreement

OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development

PDCA : Plan Do Check Act

RC : Grau de consistência

RFFSA : Rede Ferroviária Federal S/A

SDEA : Stochastic Data Envelopment Analysis

SEDES-MT : Secretaria de Desenvolvimento do Ministério dos Transportes

SR : Superintendências Regionais

TFP : Total Factor Productivity

TKB : Toneladas quilômetro bruto

TKU : Tonelada quilômetro útil

TU : Toneladas úteis

VRS : variable-returns-to-scale

Resumo

Paiva Junior, Humberto de. **Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/AHP**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000. p.178. Mestrado.

A avaliação de desempenho sempre foi um assunto de interesse para o planejamento e operação de transportes. Mas, atualmente, com as privatizações e o acirramento da competição, conhecer o desempenho tornou-se crucial para os agentes deliberantes. O processo de reestruturação do transporte ferroviário demanda um sistema de monitoração do desempenho das concessões ferroviárias que permita ao poder concedente acompanhar e, se necessário, intervir nas concessionárias para garantir a qualidade dos serviços ferroviários. Tal sistema de monitoração deve considerar múltiplos fatores devido às características dos serviços de transporte.

Neste trabalho, duas técnicas muito difundidas são comparadas como ferramentas de benchmarking. Os métodos DEA e AHP, apesar de terem origens diferentes, apresentam certas semelhanças que podem ser exploradas para uma aplicação integrada de ambos, a fim de aumentar o espectro das análises. Este trabalho também apresenta um breve relato do processo de reestruturação ferroviário e uma análise, usando o método AHP, do sistema de monitoração de indicadores proposto para o Ministério dos Transportes.

Duas estruturas hierárquicas de avaliação de desempenho foram elaboradas para a comparação dos métodos, baseadas num conjunto de indicadores ferroviários de sessenta e três ferrovias de diversos países, mensurados pelo Banco Mundial. Estas estruturas hierárquicas foram julgadas por um grupo de especialistas do Ministério dos Transportes e de modo semelhante à análise de Custo/Benefício AHP foi feito um ranking de ferrovias conforme seu

desempenho. Paralelamente, as diferentes formulações DEA - CCR, BCC, Aditiva e Multiplicativa - foram aplicadas para o mesmo conjunto de dados e ferrovias.

O ranking AHP, ao ser comparado com os resultados obtidos com os modelos DEA, apresentou uma alta correlação ordinal com os modelos Radiais. Também observou-se que, através da orientação das formulações DEA para as variáveis de maior peso das estruturas hierárquicas AHP, a correlação ordinal dos métodos pode ser aumentada, indicando a possibilidade de considerar a experiência dos agentes deliberantes na modelagem DEA, sem a necessidade de criar novas restrições.

Palavras-Chave: DEA, AHP, benchmarking, indicadores, desempenho, ferrovias.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

1 INTRODUÇÃO

Devido ao seu caráter estratégico, à visão de monopólio natural e à crença em um mercado cativo, as ferrovias sempre foram tratadas como responsabilidade dos governos. Isso motivou as intervenções do Estado em épocas passadas, durante o período de expansão ferroviária em todo o mundo. Mas a partir do início deste século, o transporte ferroviário entra em declínio, devido à concorrência com outros modais e às mudanças nas características do mercado.

Como consequência da reformulação do papel do Estado no mundo e da transformação do mercado de transportes, tem-se a atual reestruturação dos serviços ferroviários que procura reverter este declínio. Mesmo com essas mudanças, as responsabilidades da gestão deste meio de transporte permanecem com o governo. Neste contexto, torna-se essencial monitorar o desempenho das novas empresas ferroviárias para avaliar os resultados obtidos com a reestruturação e privatização dos sistemas.

Verifica-se, hoje, que a origem dos problemas ferroviários está na falta de compreensão, tanto da estrutura interna do serviço ferroviário como de suas relações com o meio externo (Kessides e Willig, 1995). Uma abordagem para esse problema é o estudo comparativo do desempenho das empresas ferroviárias a fim de identificar as empresas líderes de mercado, as melhores práticas gerenciais e os pontos fortes e fracos do setor ferroviário, estabelecendo um conjunto de indicadores e metas de desempenho relevantes e realistas.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é explorar o potencial da aplicação do método *Data Envelopment Analysis* – DEA, para a avaliação do desempenho de empresas prestadoras de serviços de transporte ferroviário, em um estudo de *benchmarking*.

Neste estudo de benchmarking é realizada uma comparação do método DEA com outra metodologia de avaliação de desempenho e benchmarking, o *Analytic Hierarchy Process* – AHP, a fim de identificar a potencialidade dos dois métodos e explorar possíveis complementaridades.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho além do capítulo introdutório apresenta mais cinco capítulos: Colocação do Problema, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Estudo de Caso e Conclusão.

No capítulo 2 é apresentado o cenário da reestruturação do transporte ferroviário no mundo através do relato das experiências de alguns países que concederam a operação dos serviços ferroviários à iniciativa privada. Quanto ao caso nacional além do processo de concessões é feita a descrição do sistema de avaliação das concessionárias ferroviárias inicialmente proposto para o Ministério dos Transportes.

O capítulo 3 contém a revisão bibliográfica sobre indicadores de desempenho, métodos de avaliação de desempenho e as técnicas *Data Envelopment Analysis*, *Analytic Hierarchy Process* e *benchmarking*.

A metodologia de desenvolvimento de uma avaliação de desempenho através da aplicação das técnicas DEA e AHP assim como as formas de comparação e integração dessas técnicas são apresentadas no capítulo 4. O objetivo deste capítulo é esclarecer o processo de análise com as técnicas estudadas, sem se restringir ao transporte ferroviário.

No capítulo 5 é feita uma aplicação parcial da metodologia para o caso do transporte ferroviário. O principal objetivo desta aplicação é a comparação dos métodos DEA e AHP através da correlação ordinal dos *rankings* de desempenho obtidos com estes métodos.

Finalmente no capítulo 6 são apresentadas as conclusões sobre o assunto pesquisado e os resultados obtidos com a comparação dos dois métodos. Além disso, são apontadas algumas possibilidades de pesquisa através da continuação do estudo em ferrovias e extensão para outros meios de transportes.

2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

2.1 Introdução

Neste capítulo é abordado o assunto da reestruturação do transporte ferroviário no mundo. As principais estratégias adotadas para a reorganização das ferrovias são identificadas juntamente com um relato de algumas experiências desenvolvidas em outros países.

Quanto ao Brasil, é apresentado um panorama geral do processo de concessões ferroviárias e uma descrição do sistema de indicadores de avaliação de desempenho de concessionárias ferroviárias adotado pela Secretaria de Desenvolvimento do Ministério dos Transportes em 1997.

2.2 Reestruturação do transporte ferroviário.

Os objetivos da reestruturação do transporte ferroviário que vem ocorrendo mundialmente são conferir maior agilidade, competitividade e viabilidade às empresas ferroviárias. Isso tem sido feito através da adaptação dos serviços de transporte às condições específicas das áreas de atuação de cada empresa. Para possibilitar essa adaptação, as ferrovias estão sendo submetidas a um processo de reformulação organizacional.

Segundo Kopicki e Thompson (1995), a reestruturação de uma organização do porte das ferrovias apresenta cinco dimensões:

- *patrimonial*, que é a reforma ou reposição do patrimônio das companhias e sua reorganização, divisão e também a venda de patrimônios supérfluos em relação aos novos objetivos das ferrovias;
- *financeira*, que representa o esforço dos gestores para recuperar a viabilidade e eliminar o endividamento;
- *trabalhista*, a qual trata uma das questões mais polêmicas da reestruturação, e de qualquer processo de privatização que se depara com um quadro excessivo de empregados, que algumas vezes estão desempenhando funções redundantes;
- *administrativa*, que lida com o problema de realocação ou substituição das antigas equipes conforme a sua capacidade; e
- *estratégica*, fundamental para a escolha do caminho a ser seguido para todo o processo de reestruturação, é neste ponto que devem ser definidos os objetivos e competências da nova companhia.

Destas dimensões a questão patrimonial e estratégica são destacadas por serem os elementos que mais distinguem as abordagens adotadas para a reestruturação ferroviária no mundo. A questão patrimonial tem sido resolvida através da aplicação de mecanismos específicos conforme a situação encontrada. Os leilões, por exemplo, têm sido amplamente aplicados por serem muito simples e apresentarem bons resultados. Já a venda para compradores estratégicos tem sido uma opção quando os patrimônios são pequenos e necessitam de injeção urgente de capital. Por outro lado, quando há um patrimônio grande demais para ser adquirido, por um único comprador estratégico, adota-se a venda de ações que facilita a transferência de propriedade.

Quanto à dimensão estratégica, a competência das ferrovias foi definida segundo a distinção geográfica dos mercados, a divisão em linhas de negócios e a natureza ou tipo de mercadoria transportada.

Diferenças funcionais na estrutura da empresa ferroviária também foram consideradas, tais como operação do material rodante, manutenção de via permanente, manutenção de equipamentos e função comercial. Outro critério usado para reestruturação foi a divisão das

linhas ferroviárias em linhas de alta densidade e baixa densidade, para facilitar a desativação das linhas não viáveis.

Em linhas gerais, como a maioria das empresas ferroviárias encontrava-se sob a responsabilidade do Estado, o caminho seguido na maioria dos casos foi a desestatização que tem sido feita através da adoção de uma das estratégias abaixo ou combinações delas:

- concessão, que é a transferência das responsabilidades sem a perda dos direitos de propriedade, para uma concessionária, que adquire o direito de utilizar o patrimônio público com um pequeno investimento inicial. Ela se compromete em aumentar a rentabilidade da empresa e reinvestir na ferrovia;
- *franchising*, na qual a empresa contratada tem apenas a função de operar o patrimônio público e prestar um serviço. Esse sistema difere da concessão porque não exige que a empresa reinvesta seu capital ou expanda o patrimônio.
- *leasing* e operação, sistema utilizado em pequenas ferrovias e que envolve o financiamento de uma terceira parte; e
- fusão ou união de patrimônios, que consiste na transferência do patrimônio estatal para um grupo de empresas conveniadas. Este sistema tem como consequência, dificultar os contratos de concessão, franquia ou venda devido ao envolvimento de terceiros, sendo possível que haja a necessidade de intervenção do governo.

A principal mudança na estratégia de organização e prestação de serviços ferroviários foi a divisão do serviço em operação do material rodante e administração da via permanente. Essa estratégia foi adotada apenas nos países onde o transporte de passageiros representava uma linha de negócios tão importante quanto o transporte de carga, demandando concessões específicas para cada serviço e gerando a necessidade de duas ou mais empresas diferentes trafegando na mesma via.

Com a finalidade de administrar o processo de reestruturação, foram concebidos mecanismos institucionais intermediários ou instituições que trabalham para facilitar e completar a transição das ferrovias, arbitrando interesses e conflitos entre operadores e clientes. Essas instituições definem regras e responsabilidades entre os participantes, apontando metas de desempenho. Contando com o auxílio de especialistas ou consultores, realizam a fiscalização e

análise das reformas tomando como base os diversos modelos de reestruturação e os aspectos estratégicos.

Quanto à estrutura das ferrovias, são citados cinco sistemas não excludentes que definem as formas de organização da administração, sistemas de operação, relacionamento entre as empresas e relações com o mercado (Kessides e Willig, 1995).

O primeiro destes sistemas é a estrutura monolítica, sistema adotado desde o início do transporte ferroviário, onde todos os seus elementos são mantidos sob o controle de uma única administração, seja ela privada ou estatal.

O modelo mais inovador adotado é a divisão em linhas de negócios, que difere completamente do conceito de “monopólio natural”, e baseia-se nos diferentes aspectos da indústria ferroviária para dividir a estrutura monolítica com a finalidade de criar entidades menores e mais sensíveis às características de cada mercado.

O acesso competitivo, não é uma forma de organização, mas um mecanismo de incentivo à competição, através da abertura ao tráfego do material rodante de uma empresa, em uma determinada malha operada por uma concorrente. Esse sistema exige uma cuidadosa fiscalização dos órgãos institucionais criados pela entidade gestora.

Uma variação do sistema de linhas de negócios é o chamado *wholesaler*. Nesse sistema existe uma entidade ferroviária, pertencente ao estado, que é responsável pela operação e manutenção da infra-estrutura fixa da malha ferroviária (*wholesaler*) e outra entidade que fica com a operação do material rodante (*retailers*). Esse método tem sido bem sucedido no que se refere ao incentivo do transporte intermodal através dos operadores.

O quinto sistema de reestruturação, chamado *toll rail* também utiliza o princípio da divisão entre infra-estrutura e operação do material rodante. Nesse sistema existe um conjunto de usuários autorizados a usar a infra-estrutura, que tem um único proprietário, perante pagamento de uma taxa ferroviária. Esse sistema é muito parecido com o acesso competitivo porque

diferentes operadoras podem utilizar a mesma malha, mas difere quanto à forma de administração da malha, como foi dito anteriormente.

2.2.1 Experiências internacionais

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

2.2.1.1 Grã-Bretanha

Na Grã-Bretanha, o modelo de desestatização adotado foi o sistema de franquias, com um período de 5 a 10 anos e em alguns casos excepcionais 15 anos, negociado caso a caso onde o governo se manteria aberto a propostas da iniciativa privada.

A proposta do governo britânico foi separar a malha em infra-estrutura e operação, estabelecendo o sistema *toll rail*, no qual a empresa encarregada da manutenção, segurança, expansão e investimento de toda a infra-estrutura é a RailTrack. A operação ficou sob responsabilidade de várias empresas privadas chamadas de *Train Operating Companies* (TOC) que assumiram diferentes trechos da BritishRail, chamados de *Train Operating Units* (TOU), divididos em regiões geográficas e setores segundo um critério que visa minimizar a perturbação da estrutura que antes era responsabilidade da BritishRail, conforme o sistema de “linhas de negócio”.

Para alcançar maior competitividade entre as suas franquias, o governo britânico criou um sistema de distribuição de subsídios proporcional ao desempenho. Esse sistema é coordenado pelo *Franchising Authority* que monitora o desempenho das franquias e compara com os padrões de desempenho estipulados em contratos cuidadosamente elaborados. Outra função do *Franchising Authority* é garantir o tratamento igual para todas as operadoras no que diz respeito à utilização da infra-estrutura (acesso competitivo ou *open access*).

Segundo Salmon (1996), o sistema utiliza uma pesquisa de *benchmarking* que reúne as franquias e entrega a cada uma delas o subsídio correspondente ao seu desempenho, porém o governo reconhece que em uma rede viária administrada por tantas empresas que se inter-

relacionam, o desempenho de cada uma delas está vinculado ao do conjunto e, portanto são aplicados mecanismos para desconsiderar as influências externas.

2.2.1.2 Alemanha

A reestruturação das ferrovias alemãs foi parte de um conjunto muito maior de mudanças ocorridas na cultura e organização do país. Por este motivo o modelo de desestatização alemão está fundamentado em um conjunto de sugestões, de uma comissão especial indicada pelo Governo Federal, incorporadas na Lei de 1993.

Em linhas gerais, as ferrovias foram divididas segundo o modelo vigente na Europa, no qual as operações ferroviárias ficaram sob o controle privado, mas o planejamento e financiamento permanecem como funções do Estado.

Como nos demais casos foi criado um órgão regulador, para administrar a reestruturação e garantir o incentivo à competição através do *open access*, seguindo a diretriz do Mercado Comum Europeu, que solicita acesso para os grupos ferroviários estrangeiros. As mesmas regras foram aplicadas para as empresas nacionais. Outra função do órgão regulador é fiscalizar o padrão de serviços e cobrar uma taxa das operadoras pela utilização da infra-estrutura (*toll rail*).

Por fim, foi definido que durante o processo de reestruturação, as dívidas da antiga empresa ferroviária ou seriam anistiadas ou ficariam sob responsabilidade do Estado que também se comprometeu a destinar recursos para as linhas de baixa densidade até o ano 2002. Sendo responsabilidade dele, também, a absorção do excesso de empregados e assumir os danos ambientais causados pela antiga empresa.

2.2.1.3 México

Como no caso dos países europeus, o México está interessado em modernizar sua rede ferroviária para melhor integrar-se aos seus vizinhos, (neste caso aos EUA e ao NAFTA). O

México criou um programa de concessões próprio que procura impedir que as ferrovias passem de um sistema de monopólio estatal para um privado.

A malha foi dividida de forma diferente das outras experiências mundiais. No México, a divisão foi feita por regiões ao invés de basear-se no tipo de transporte, o que é justificável, porque o transporte de passageiros por ferrovias no México tem uma expressão pequena.

O controle da infra-estrutura e do direito de acesso permaneceram nas mãos do governo, como na Alemanha, e a operação do material rodante foi concedida ao setor privado por um período de 50 anos que pode ser renovado por mais 50.

O governo também assumiu todos os encargos sociais com relação à redução do número de empregados e a responsabilidade por danos causados ao meio ambiente pela empresa ferroviária anteriores à concessão.

2.2.1.4 Argentina

Diferente do modelo europeu, a Argentina optou por evitar a segregação vertical entre a infra-estrutura e a operação, diminuindo assim as incertezas enfrentadas pelos administradores na tomada de decisões. Por este motivo, o sistema de linhas de negócios não pode ser totalmente caracterizado apesar da malha viária ter sido dividida segundo o tipo de transporte (carga, passageiros e tráfego local).

Para monitorar as concessões, foi criada uma instituição reguladora que estipula as tarifas e padrões mínimos de serviço. Essa instituição só permite o reajuste das tarifas caso a empresa concessionária consiga atingir suas metas e melhorar a qualidade de seus serviços.

As malhas argentinas foram concedidas por períodos de 30 anos com opção de renovação por mais 10 anos e com direitos exclusivos sobre a malha concedida.

O processo de reestruturação argentino basicamente enfrentou os mesmos problemas com déficits, deterioração de serviços e do patrimônio, existentes em outros países em desenvolvimento. Kopicki e Thompson (1995) destacam a reestruturação argentina devido à rapidez com que esses problemas foram enfrentados.

Um dos arquitetos da desestatização argentina, Jorge Kogan (Jackson, 1996), aponta o interesse político como um dos principais fatores dessa rapidez. De qualquer forma, a Argentina é apontada como uma das provas da viabilidade da reforma do transporte ferroviário.

2.2.2 Experiências nacionais

O Brasil, através do Programa Nacional de Desestatização criado pela Lei 8.031 de 12/4/90 e da Lei de Concessão de Serviços Públicos tratada no Art. 175 da Constituição Federal apud (Marques, 1996), seguindo a tendência mundial de recuperar o transporte ferroviário, dá início em 1996 ao processo de desestatização da Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA).

O modelo de desestatização adotado no Brasil é o de concessão dos serviços ferroviários sem separação da operação do material rodante e da infra-estrutura, para grupos de empresas privadas por um período de 30 anos, sendo que a RFFSA permanece proprietária do patrimônio.

A regulamentação, controle e fiscalização ficam como responsabilidade do Ministério dos Transportes, que patrocinou um projeto neste sentido (LPT-EPUSP, 1997). Enquanto que a administração dos conflitos de interesse entre operadoras, usuários e o poder concedente, ficam como responsabilidade do COFER - Comissão Federal de Transportes Ferroviários.

Segundo um estudo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 1995) apud (Marques, 1996), a malha ferroviária federal foi dividida da seguinte forma:

- Malha Nordeste (SR-1, 11 e 12), correspondente ao corredor Leste-Oeste, que interliga o Nordeste Ocidental ao Nordeste Oriental e o Norte-Sul, que liga o Rio Grande do

Norte à Alagoas, com uma movimentação atual predominante de derivados de petróleo e álcool;

- Ferrovia Centro Atlântica S/A (FCA), ex-malha Centro-Leste (SR-2, 7 e 8), predominando o transporte de calcário, clínquer e escória para as indústrias siderúrgicas e o transporte de cimento;
- MRS Logística S/A, antiga malha Sudeste (SR-3 e 4), é uma grande transportadora de cimento, carvão, grãos, farelo, calcário, clínquer, escória e principalmente minério de ferro do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais, para a CSN, terminal de Guaíba e COSIPA;
- Ferroviária Novoeste S/A, antiga malha Oeste (SR-10), ligando os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, transporta derivados de petróleo, produtos agrícolas e minérios de ferro e manganês;
- Ferrovia Tereza Cristina S/A (FTC), antiga SR-9, que transporta apenas o carvão vapor para o consumo da Usina Termoelétrica de Jorge Lacerda em Capivari-SC;
- Ferrovia Sul Atlântico S/A (FSA), ex-malha Sul (SR-5 e 6) que liga as regiões agrícolas do norte do Paraná e do oeste gaúcho aos portos de Paranaguá e Rio Grande, integrando também a região metropolitana de São Paulo aos estados do Sul e aos parceiros do Mercosul; e
- Ferrovia do Paraná - FERROPAR S/A, antiga Ferroeste pertencente ao estado do Paraná, atualmente privatizada. A Ferroeste foi construída para escoar a produção agrícola e industrial do oeste do Paraná até o porto de Paranaguá. Devido à sua possibilidade de integração com a malha ferroviária argentina e chilena, chegando ao porto de Antofagasta através da malha paraguaia, esta ferrovia terá em conjunto com a FSA, um papel importante no comércio do Mercosul possibilitando a interligação dos oceanos Atlântico e Pacífico.

2.3 Projeto SEDES-MT

No Brasil, o Ministério dos Transportes assumiu a tarefa de fiscalização no processo de desestatização nacional, baseando-se nos Artigos 3º e 30º da Lei n.º 8.987, de 13 de fevereiro de 1995 apud (Marques, 1996), que regulamenta a concessão de serviços públicos.

Para desempenhar essa tarefa, o Departamento de Avaliação de Qualidade da Secretaria de Desenvolvimento do Ministério dos Transportes (SEDES-MT), contratou o Laboratório de Planejamento e Operação de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LPT-EPUSP) e a Fundação Getúlio Vargas do Rio de Janeiro (FGV) para o desenvolvimento de um sistema para a monitoração de indicadores de desempenho das concessionárias ferroviárias, com colaboração da RFFSA e da UNICAMP.

O trabalho do LPT-EPUSP (1997) foi a elaboração de uma estrutura de indicadores técnicos relativos ao desempenho operacional das ferrovias e um conjunto de indicadores qualitativos que medem a satisfação dos clientes das concessionárias. Para sistematizar o processo de monitoração foram desenvolvidos dois sistemas computacionais para o armazenamento e manipulação dos indicadores propostos e uma *home page* para a divulgação das informações mais relevantes.

A FGV, desenvolveu um sistema para a análise dos aspectos financeiros das empresas ferroviárias concedidas. Apesar das equipes da FGV, LPT-EPUSP terem trabalhado a maior parte do tempo separadas e em assuntos diferentes, foi feita uma ponte entre ambos os sistemas para permitir que um determinado conjunto de indicadores financeiros, considerados mais relevantes, definidos pela FGV, fossem inseridos na estrutura do sistema elaborado pelo LPT-EPUSP, facilitando assim as análises comparativas dos indicadores operacionais e financeiros.

O sistema de avaliação proposto para a SEDES, é fundamentado num conjunto de indicadores parciais de produtividade. Os níveis alcançados nesses indicadores são comparados com metas estabelecidas para um horizonte de cinco anos. Apesar de haver um conjunto grande de indicadores, apenas os índices Toneladas Quilômetro Útil (TKU) e Segurança apresentam tais

metas. Os demais indicadores são utilizados para acompanhar a evolução das concessionárias e auxiliar as análises dos especialistas do Ministério dos Transportes.

2.3.1 Estrutura de indicadores ferroviários do Ministério dos Transportes.

Antes das concessões, o Ministério dos Transportes já dispunha de um sistema de informações gerenciais que monitorava um determinado conjunto de indicadores operacionais. Sistema este administrado pela RFFSA. Com a reestruturação e adaptação da RFFSA para as concessões, o BNDES, responsável pelos editais de concessão, propôs um novo conjunto de indicadores de desempenho. Em virtude disto, decidiu-se que o sistema existente de monitorização de indicadores precisaria ser atualizado e o melhor caminho para isso seria a substituição deste por um novo sistema, que atendesse tanto aos indicadores já empregados como aos novos exigidos pelo Anexo II do Contrato de Concessão apud LPT-EPUSP (1997) (Tabela 1).

Esses indicadores, a partir do início das concessões, foram fornecidos pelas empresas ferroviárias à RFFSA. Essa tinha a incumbência de elaborar os relatórios de acompanhamento mensal de desempenho de cada empresa ferroviária, bem como um resumo global dos resultados das concessões e verificar o cumprimento das metas estabelecidas pela cláusula quinta do contrato de concessão (LPT-EPUSP, 1997).

Tais metas foram calculadas pelo BNDES estabelecendo, para cada concessionária, os níveis mínimos de produção em TKU e de redução percentual do número de acidentes medidos em acidentes por milhão de trens×km.

Estes relatórios produzidos pela RFFSA posteriormente serviram para compor os anuários estatísticos publicados pelo Ministério dos Transportes, através do Departamento de Transportes Ferroviários da Secretaria de Transportes Terrestres, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT).

O novo sistema de monitoração proposto inclui os indicadores listados na Tabela 1 e mais alguns indicadores sugeridos durante a elaboração do projeto em virtude do modelo organizacional proposto por Sink (1983).

Tabela 1 - Indicadores Ferroviários.

RFFSA	Contrato de Concessão
produção	TU, (toneladas úteis)
produção das principais mercadorias	
tração utilizada por malha	TKU, (toneladas úteis * quilometragem transportada) TKB, (toneladas brutas * quilometragem percorrida)
utilização de vagões por malha	Milhares de TKU/Vagão Carregamento médio de vagões
consumo de combustível	Consumo de Combustível (total, Litros/1.000TKB e Litros/1.000 TKU)
quantidade de acidentes	Número de Acidentes total Número de acidentes classificados por causa, tais como: falha humana, via permanente, material rodante, sinalização, telecomunicações e eletrotécnica Acidentes/1.000.000 trem.km
trens formados por malha	Número de locomotivas em tráfego e vagões
horas disponíveis utilizadas por malhas	Taxa de utilização da disponibilidade de locomotivas
horas de circulações dos trens	Taxa de imobilização de locomotivas e vagões
percurso médio de material de tração	Percurso médio mensal de locomotivas e vagões
percurso de vagões por malha	
trem km	
	Receita Total
	Receita Operacional
	Receita Total/Empregado
	Despesa Total
	Despesa Operacional
	Despesa Total/Empregado
	Milhares de TKU/HP (locomotivas em tráfego)
	Milhares de TKU/km (densidade de carga)
	Milhares de TKU/Empregado
	Velocidade média comercial
	Velocidade média de percurso

(LPT-EPUSP, 1997)

O projeto dos indicadores de desempenho dos serviços ferroviários tomou como diretriz uma estrutura lógica para a classificação dos indicadores empregados, conforme sua relação com as dimensões de desempenho e com os objetivos das análises que deverão ser realizadas. Esta

estrutura, apresentada na Figura 1, foi adaptada do modelo proposto pelo Banco Mundial (World Bank, 1996).

A composição desta estrutura está baseada nas dimensões de desempenho financeiro, operacional e na satisfação dos clientes. Enquanto a estruturação das duas primeiras é desenvolvida em sua maior parte tomando por base nos indicadores tradicionalmente usados, a dimensão satisfação dos clientes adota os indicadores propostos por Lima Júnior (1995) para o método TRANSQUAL.

A figura 1 baseia-se numa estrutura lógica que procura estabelecer relações de causa e consequência entre seus elementos. A estrutura possui um elemento central que representa o objetivo a ser alcançado. Abaixo do objetivo estão encadeadas todas as questões diretamente relacionadas com o sistema analisado e que contribuem para a realização do objetivo. Acima surgem questões mais amplas que são influenciados pela eficácia na realização do objetivo do sistema analisado.

Como objetivo da estrutura lógica de indicadores tem-se a qualidade do serviço ferroviário prestado pelas concessionárias. Para alcançar este objetivo é necessária a obtenção de bons resultados operacionais, financeiros e a satisfação dos clientes. Em consequência desses resultados e da qualidade do serviço ferroviário, podem ser percebidas certas melhorias no desenvolvimento de comunidades locais e de forma mais ampla de todo o país, como o bem-estar social, o desenvolvimento econômico, a qualidade ambiental, a integração modal e etc. Tais condições são influenciadas por vários fatores, sendo um deles a qualidade do serviço ferroviário.

Na estrutura da figura 1 são apresentados apenas os grupos de indicadores afins mensurados. Os indicadores pertencentes a cada grupo são apresentados nas figuras 2 a 6 no documento anexo a dissertação.

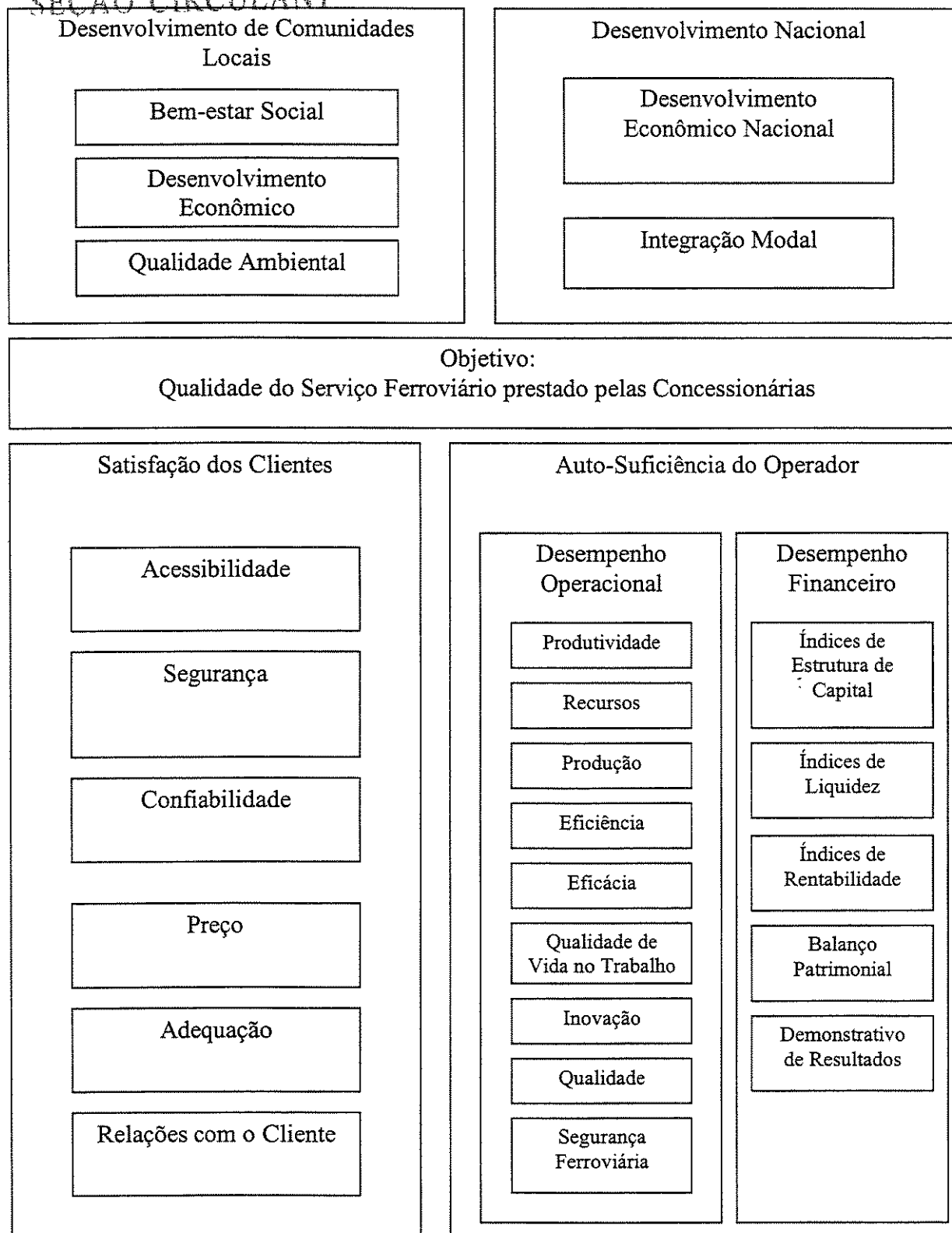


Figura 1 – Estrutura Lógica de Indicadores Ferroviários.

2.4 Conclusões do capítulo

Em geral a estratégia adotada para a reestruturação das empresas ferroviárias é a fragmentação das malhas para possibilitar uma administração mais sensível às particularidades de cada região e conceder a operação dos serviços à iniciativa privada para obter novos investimentos e incentivar a competitividade do modal ferroviário.

Em virtude do sistema de concessões, o governo passa a exercer o papel de fiscalização da qualidade e produtividade dos serviços prestados pelas concessionárias. No Brasil, para cumprir esta tarefa, a Secretaria de Desenvolvimento do Ministério dos Transportes desenvolveu o projeto de um sistema de avaliação de indicadores de desempenho ferroviários.

Esse sistema de avaliação de desempenho considera os indicadores tradicionais de operação de transportes e desempenho financeiro: como quantidade de carga transportada, imobilização da frota, segurança ferroviária, receita etc. Além disso, um sistema de indicadores de satisfação dos clientes das concessionárias, baseado no método TRANSQUAL (Lima Júnior, 1995), também é utilizado.

O sistema desenvolvido é uma ferramenta útil para subsidiar uma análise sistemática e objetiva dos numerosos fatores que influem no desempenho do transporte ferroviário. Porém o sistema carece de uma estratégia de síntese das informações organizadas e analisadas através da Estrutura Lógica de Indicadores Ferroviários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Neste capítulo, devido à constatação da necessidade de considerar múltiplos fatores na avaliação de desempenho de transportes, são identificadas e escolhidas as técnicas de avaliação de desempenho utilizando os critérios propostos por McLaughlin e Coffey (1990). Sendo, também, analisados os diversos tipos de indicadores de desempenho e seu papel em um sistema organizacional.

Para a avaliação de desempenho são escolhidas duas técnicas, o *Data Envelopment Analysis* (DEA) e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Sobre o DEA são levantados os principais conceitos, formulações e aplicações, sendo identificados alguns trabalhos que empregam esta técnica em questões de transportes.

Em relação ao AHP são discutidas a sua base conceitual e os processos de estruturação, julgamento e síntese utilizados no método. Desta forma é desenvolvida a base teórica para a sua aplicação.

Por último, é definido o termo *benchmarking*, descrito o conceito desta filosofia gerencial, os tipos de *benchmarking* e seu processo.

3.2 Métodos de avaliação de desempenho

A escolha do método de avaliação de desempenho de serviços é baseada no trabalho de McLaughlin e Coffey (1990). Os autores fazem uma revisão de alguns métodos existentes e propõem um conjunto de critérios, para determinar quais são os métodos mais adequados para cada tipo de problema. Os critérios são: o grau de complexidade dos serviços, a variabilidade dos processos e o nível de agregação das análises (Figura 2).

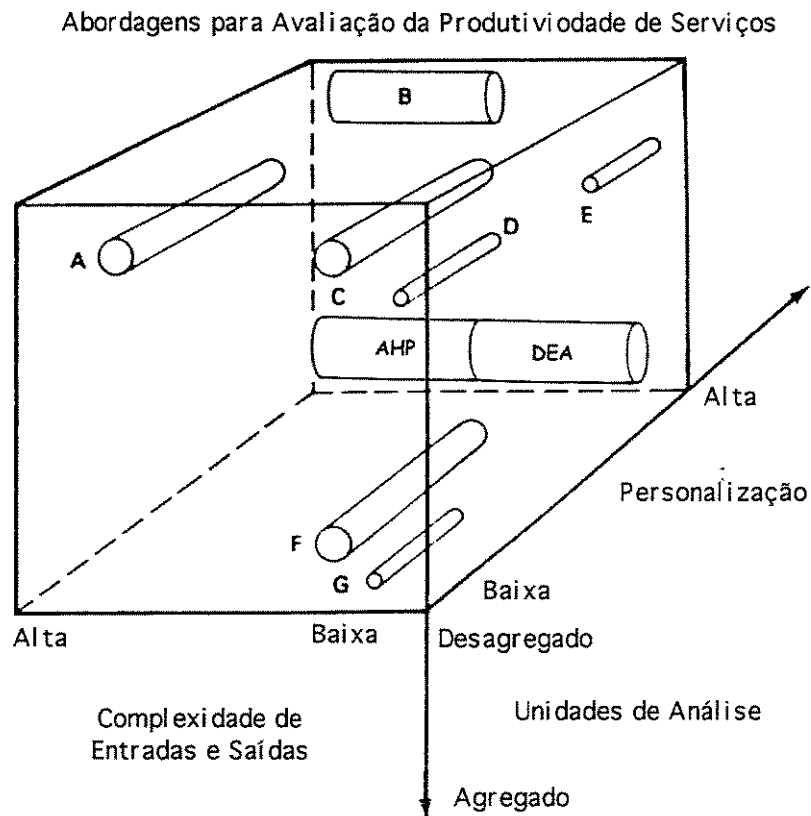
Por complexidade do serviço, entende-se a multiplicidade de entradas e saídas existentes em um processo produtivo. Segundo Lima Júnior e Scatena Júnior (1994), os transportes apresentam esta multiplicidade de variáveis, representadas por fatores internos e externos ao processo.

Para a realização do transporte, seja de passageiros ou carga, uma empresa ferroviária pode adotar diferentes estratégias e combinações de tecnologia, capital e trabalho, conforme as necessidades de cada caso que são determinadas pela origem, destino, nível de demanda, especificações e elementos transportados. Logo, o transporte ferroviário, devido às suas características, pode ser considerado como um serviço de alta complexidade.

A variação dos processos é definida pelo grau de personalização dos serviços devido à influência ou participação que os clientes têm na concepção ou realização dos produtos e serviços. Segundo Lima Júnior e Scatena Júnior (1994), a heterogeneidade e a baixa repetitividade são características dos serviços de transporte, serviços esses que são personalizados ou ajustados conforme as necessidades dos clientes.

O último critério depende da unidade de análise ou grau de detalhamento que se quer obter das análises. Conforme a situação, é possível avaliar o desempenho agregado de uma empresa ou unidade deliberante e obter uma visão estratégica, conhecendo apenas superficialmente as áreas de ineficiência.

Existem situações nas quais uma análise mais profunda é desejada. Nesse caso, deve-se desagregar e dividir um sistema em seus processos e produtos, medindo a sua produtividade e buscando as fontes de ineficiência, descendo ao nível operacional, a fim de controlá-las. Para isso são utilizados os métodos: *Quality Plus* (A), Estudo da Variação de Práticas (B), Taxas Parciais de Produtividade Desagregada (C), Estudo de Tempos e Movimentos (D) e *Work Sampling* (E), representados na parte superior da Figura 2 proposta por Mclaughlin e Coffey (1990).



- A – Quality Plus
- B – Estudo de Variação de Práticas
- C – Taxas Parciais de Produtividade Desagregada
- D – Estudo de Tempos e Movimentos
- E – Work Sampling
- F – Funções de Fronteiras Estatísticas
- G – Taxas Parciais de Produtividade Agregada
- H – Data Envelopment Analysis

Figura 2 - Abordagens para avaliação da produtividade de serviços, (Mclaughlin e Coffey, 1990).

Como somos observadores externos do processo, e estamos estudando um conjunto de sistemas ferroviários considerando diversos aspectos, podemos assumir que o problema em questão é uma avaliação de desempenho agregado.

Conforme apresentado por McLaughlin e Coffey (1990), na Figura 2, os métodos de avaliação por Taxas Parciais de Produtividade Agregada (G), Funções de Fronteiras Estatísticas (F) e o *Data Envelopment Analysis* (H), são os mais adequados para a análise de questões estratégicas. Sendo os métodos (F) e (G) empregados em problemas com uma complexidade baixa e específica e um grau de personalização variando entre baixo e médio. E o DEA é indicado para um alto nível de personalização dos serviços, sendo capaz de tolerar uma ampla variação do número de insumos e produtos.

As Taxas de Produtividade Parciais são indicadas para medir o fator de trabalho, o fator de capital e a racionalização de insumos em problemas com poucas variáveis, onde é mais fácil estabelecer as relações entre as entradas e saídas. Porém, quando a complexidade do tipo de serviço aumenta, uma correta avaliação só é possível se for mantida uma visão sistêmica do problema, o que não é possível apenas com medidas parciais, (Lima Júnior e Scatena Júnior, 1994).

Segundo Windle e Dresner (1992), as medidas parciais de produtividade apresentam quatro problemas básicos. O primeiro é que elas não consideram as relações de substituição das entradas do sistema. Em segundo lugar, em transportes, os fatores de trabalho e capital apresentam diversas categorias e isto leva à imprecisão de medidas agregadas. Outro fator que influi na precisão das medições, principalmente do fator trabalho, é a variação da composição da produção total, por exemplo: a razão entre transporte de carga e passageiros em uma ferrovia. Finalmente o último problema é a base conceitual dos indicadores que podem levar à conclusões erradas, se não for feita a distinção entre as avaliações do custo eficiência e do custo eficácia.

As Funções de Fronteiras Estatísticas, também não são boas para lidar com problemas muito complexos, mas têm uma tolerância maior a variações de processos que os indicadores parciais. Segundo Schmidt P. (1986), geralmente as funções de fronteiras estatísticas, lidam com

apenas uma variável de saída, mas esse autor defende a idéia de sua aplicação com múltiplas saídas.

Normalmente, para o cálculo da fronteira estatística adota-se uma função do tipo Cobb-Douglas (1). Em transportes a função mais empregada, desta família, é a *Translog* (2).

$$Y = A \cdot L^\alpha K^\beta \quad (1)$$

$$\ln Y = a + \alpha \cdot \ln L + \beta \cdot \ln K + \gamma \cdot \ln L \cdot \ln K + \delta \cdot (\ln L)^2 + \varepsilon \cdot (\ln K)^2 \quad (2)$$

A, a, α , β , γ , δ , ε → parâmetros da equação

L → fator trabalho (input)

K → fator capital (input)

Y → produção (output)

A função *Translog* genérica ou *Transcendental logarithmic* (3) é uma generalização da função de produção Cobb-Douglas, muito difundida devido a sua flexibilidade em relação às outras formulações da mesma família, (Christensen et al., 1973) e (Intriligator, 1978).

$$\ln y = a + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \ln x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \cdot \ln x_i \cdot \ln x_j \quad (3)$$

a, α_i , γ_{ij} → parâmetros da equação

x_j → *input*

x_i → *input*

y → *output*

Em transportes podemos citar como exemplo de aplicação do *Translog* em transportes o trabalho de Caves et al. (1980) que estima a produtividade, a elasticidade de custos e as ponderações das entradas e saídas de um conjunto de empresas ferroviárias. Outro exemplo é dado por Friedlaender e Spay (1980) os quais deduzem uma função de demanda de carga a partir da função custo.

Outras aplicações do *Translog* têm sido no auxílio ao cálculo do índice *Total Factor Productivity* (TFP) como fizeram Windle e Dresner (1992), que calcularam o índice usando o procedimento proposto por Caves et al. (1982).

O TFP pode ser definido, de maneira geral, como a razão da produção total pelos insumos totais consumidos. Como existem diferentes tipos de TFP e abordagens de cálculo que variam conforme o objetivo da análise, é preciso ter cautela ao comparar trabalhos que não sigam rigorosamente a mesma metodologia. Apesar disto, Oum et al. (1992) aponta o TFP como uma medida adequada de produtividade, porque permite avaliações comparativas e análises ao longo do tempo. Segundo Obeng et al. (1992), o TFP é uma boa alternativa para transpor as limitações das medidas parciais de produtividade.

As dificuldades dessa técnica de avaliação de produtividade surgem em alguns casos porque os indicadores de insumos ou produção, necessários para o cálculo do TFP, podem ser difíceis de serem obtidos devido à indisponibilidade ou à complexidade dos indicadores.

Segundo Windle e Dresner (1992), essa e outras dificuldades podem ser contornadas através da agregação de indicadores para reduzir a heterogeneidade de entradas e saídas, mas isso demandará um considerável esforço e os resultados poderão não ser satisfatórios. Lima Júnior e Scatena Júnior (1994), explicam que a razão dos problemas do TFP em transportes é a inexistência de uma abordagem adequada para a avaliação tanto das diferentes categorias de trabalho como dos diferentes tipos de capital e suas variações de produtividade ao longo do tempo.

Mesmo considerando a observação acima, ainda existirão diferenças na produtividade total, entre empresas do mesmo ramo, que podem ser atribuídas a diferenças nas características dos produtos e não à ineficiência. Como foi observado por Windle e Dresner (1992), existem fatores particulares dos serviços prestados que diferem de uma empresa para outra, influenciando na composição de insumos consumidos. Além disso, o TFP não leva em consideração diferenças de mercado ou políticas públicas.

Para entender a última afirmação observe o gráfico da Figura 3, gerado a partir dos dados da Tabela 2, no qual cada ponto é determinado pela razão entre a quantidade de insumos consumidos por uma empresa e o produto gerado com esses insumos. Esse gráfico mostra as diferentes combinações dos dois tipos de insumos utilizados para produzir um determinado produto. As empresas adotam diferentes combinações de insumos para atingir um mesmo nível de produção.

Tabela 2 – Dados Ferroviários

N.º	País	Outputs		Inputs	
	Dados de 1994	Unidades de Tráfego (UT)	Empregados	Locomotivas	P-km c/% UT
1	RFFSA	30193	44646	1324	0
2	Jordânia	701	1223	21	0
3	Conrail (EUA)	138203	24091	2094	0
4	Via Rail (Canadá)	1341	3718	84	100
5	Amtrak (EUA)	9444	24991	360	100
6	FEPASA	7609	16999	481	15
7	Peru	739	3337	60	32
8	África do Sul	102606	64682	3547	9
9	Egito	50468	88120	836	92
10	Reino Unido	40948	106748	1881	70
11	Japão	268474	193145	1668	91
12	França	106628	185690	5056	55
13	Índia	571776	1623158	7458	56
14	China	1605883	3396000	14397	23
15	Rússia	1422575	1694400	9143	16

Unidades de Tráfego (milhões) – (Rail Business Report 1997 e 98)

Voltando para a Figura 2, vemos que o método DEA é a solução mais adequada para problemas de avaliação estratégica de sistemas, com alta variação de processos e uma complexidade moderada. Mas em problemas com muitas variáveis, nem mesmo o método DEA é capaz de atender a todos os aspectos satisfatoriamente, porque em situações nas quais os serviços são extremamente complexos, a precisão do método DEA diminui, como será explicado mais tarde.

Logo, para lidar com essas situações extremas, é necessária uma estratégia complementar de análise. Reforçando esse ponto, temos Lima Júnior e Scatena Júnior (1994) e Lima Júnior, (1995), que defendem a importância da consideração de fatores subjetivos, como a percepção da qualidade, em análises de desempenho.

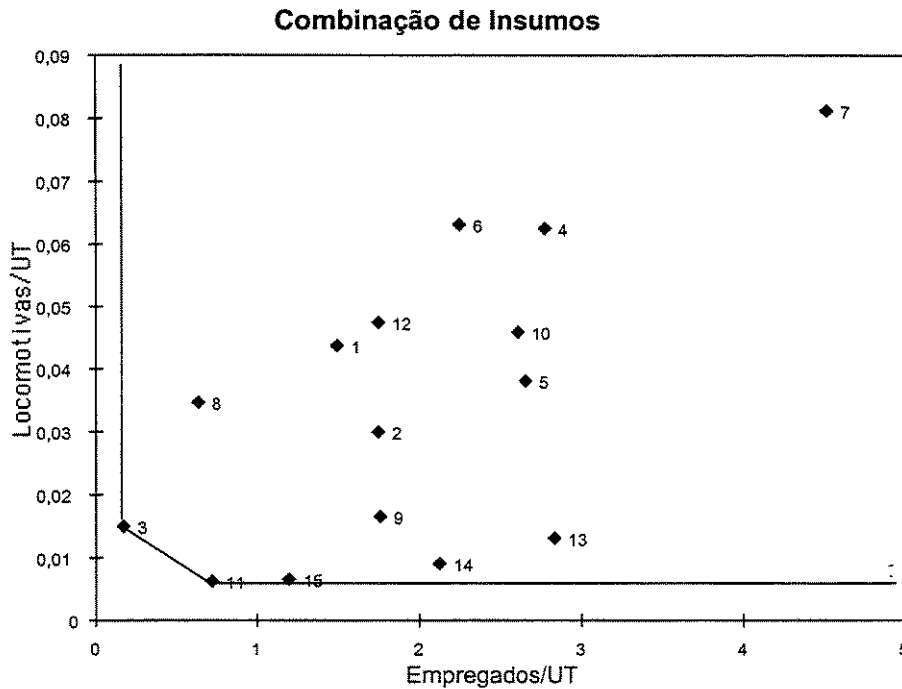


Figura 3 - Representação gráfica da fronteira de produção.

Uma estratégia de análise que parece capaz de preencher a lacuna existente no diagrama de Mclaughlin e Coffey (1990), para a avaliação estratégica de serviços com numerosas variáveis de entrada e saída, e grande variação dos processos produtivos, é a avaliação baseada nos métodos multicriteriais de auxílio à decisão, devido à forma de estruturação e conciliação de múltiplos fatores objetivos e subjetivos (Figura 2).

Para este trabalho, escolhemos como estratégia de análise complementar ao DEA, o método multicriterial AHP, com base nos argumentos apresentados por Tone (1989). Esse autor, que aponta as semelhanças estruturais entre os dois métodos, propõe a utilização do DEA como forma de tornar o AHP mais objetivo e o uso deste, como meio para introduzir julgamentos subjetivos na análise DEA.

3.3 Indicadores

Como se sabe, os indicadores devem transmitir o estado ou evolução de um sistema para os agentes deliberantes que estão relacionados com esse sistema, a fim de possibilitar e indicar ações corretivas ou preventivas.

Porém, não é possível representar um sistema tão complexo como o serviço de transporte sem considerar os múltiplos aspectos existentes que influem, em muitos casos de maneira inversa, sobre os indicadores de desempenho. Daí a necessidade de se determinar quais são os aspectos ou dimensões do desempenho relevantes, quais os indicadores que medem estas dimensões, como mensurá-los e interpretá-los.

Segundo Fortuin (1988), os indicadores de desempenho são ferramentas que informam ao administrador ou agente deliberante a eficácia e/ou eficiência do sistema em relação a um dado padrão, meta ou plano, medindo a extensão de qualquer desvio.

No estudo de indicadores de desempenho, foi realizado um levantamento preliminar dos indicadores mais utilizados e das metodologias de classificação e aplicação desses em transportes. O objetivo foi determinar a abrangência dos indicadores de desempenho sobre a estrutura de uma organização de transportes e a sua disponibilidade.

Neste estudo, é verificado que existem diversos trabalhos nos quais os autores apresentam critérios de classificação e definições conflitantes sobre os tipos de indicadores (Dajani e Gilbert, 1978), (Waisman, 1985), (Fielding, 1992). Por esse motivo, é adotado como base para análise, o sistema de classificação ou organizacional sugerido por Sink (1983), que apresenta uma abrangência e clareza suficiente para a classificação dos indicadores estudados. São considerados também os aspectos ambientais que não são tratados nessa obra, mas destacados em outras, (Dajani e Gilbert, 1978), (Hensher, 1992) e (World Bank, 1996).

3.3.1 Sistema organizacional

O modelo proposto por Sink (1983), representado na Figura 4, divide um sistema organizacional em cinco partes: "Sistema de Montante", Entrada, Processo de Transformação ou Atividades Organizacionais, Saída e "Sistema de Jusante".

O "Sistema de Montante" reúne todos os agentes envolvidos nas atividades que geram os insumos, representados pelos *inputs*, os quais alimentam as atividades da organização, que por sua vez gera um determinado produto (*output*) para o "Sistema de Jusante" o qual representa os clientes ou consumidores dos serviços e produtos gerados pela atividade organizacional.

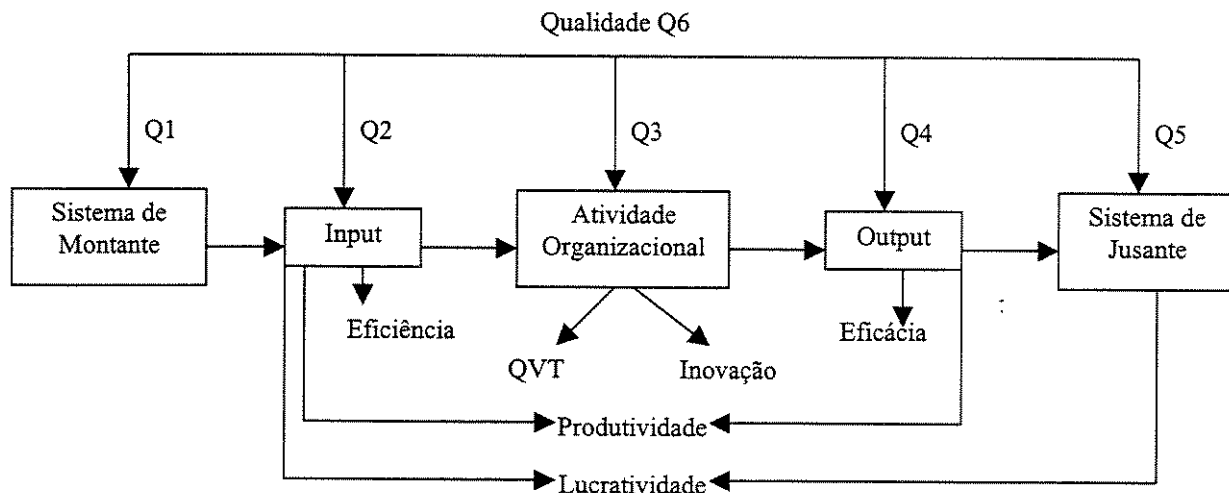


Figura 4 - Modelo Organizacional (Sink, 1983).

Para a estrutura acima descrita, Sink (1983) identificou sete tipos de indicadores:

- a eficiência, definida como a relação entre o consumo efetivo de insumos e o consumo planejado de insumos;
- a eficácia, que mede a relação entre os resultados obtidos e os resultados planejados;
- a produtividade, que avalia a produção por insumos consumidos ($Output/Input$);
- a qualidade de vida no trabalho;
- a inovação, que avalia a evolução e renovação do sistema e está relacionada com as atividades da organização;
- a lucratividade, que relaciona receita e custo, ligando os insumos ao sistema de jusante; e,

- a mais complexa de todas, a qualidade.

A qualidade é descrita por Sink (1983) como difusa e dependente de todas as partes do sistema. Para analisá-la ele aponta seis pontos de verificação da qualidade em um sistema organizacional (Q1 à Q6).

O primeiro (Q1), verifica, no sistema de montante, o processo responsável pela produção dos insumos. O segundo (Q2), verifica a qualidade desses insumos.

O indicador seguinte (Q3) avalia a qualidade dos processos e atividades organizacionais que resultam no produto final. Na saída desse sistema, deve-se realizar a verificação da qualidade do produto (Q4).

Para o Sistema de Jusante, no qual está o cliente (interno ou externo), é feita a verificação de sua resposta em relação ao produto e identificação da satisfação de seus desejos e padrões de qualidade (Q5).

O sexto ponto de verificação (Q6) localiza-se na inter-relação Montante e Jusante, fazendo parte do elo que existe entre esses dois sistemas. Esse último ponto de verificação avalia o gerenciamento da qualidade em todos os outros pontos.

Com base nos conceitos acima discutidos, é feito um estudo exploratório de diversos trabalhos e verificado que existe grande disponibilidade de indicadores nos campos da eficiência, eficácia, produtividade e qualidade. Poucos indicadores são encontrados nos campos de qualidade de vida no trabalho (QVT) e inovação.

Porém, especificamente para a qualidade, é verificado que o foco dos trabalhos na literatura tem sido a qualidade do produto ou serviço (Q4) e uma certa preocupação com a qualidade dos insumos (Q1 e Q2) que cresceu muito nos últimos anos. Poucos trabalhos focam a satisfação do cliente ou o “Sistema a Jusante” (Q5) e o gerenciamento de qualidade associado ao ponto Q6 na Figura 4.

Por outro lado, o modelo proposto por Sink (1983) também não é inteiramente completo, uma vez que publicações mais recentes apresentam indicadores para a avaliação de impactos ambientais, os quais não são considerados nesse modelo.

3.3.2 Estrutura de indicadores

Adquirida a visão do universo de indicadores existentes, a área coberta por eles e suas deficiências passou-se a selecionar os indicadores mais úteis, organizando-os para a montagem de um sistema de avaliação de desempenho.

Segundo as recomendações dos autores Dajani e Gilbert (1978) e Fielding (1992), é necessário criar uma estrutura lógica que relacione todos os aspectos do desempenho de um sistema. Com esse fim, foi seguida a metodologia aplicada pelo World Bank (1996) para a elaboração de uma estrutura de indicadores para avaliar o desempenho de seus projetos, conforme exemplificado na Figura 5.

O objetivo dessa metodologia é construir uma estrutura lógica que estabeleça uma relação de causa e consequência entre os objetivos do projeto e as etapas intermediárias de sua implementação. Cria-se assim uma estrutura que se desenvolve a partir de um objetivo ou hipótese inicial ampla, a qual é ramificada e detalhada, permitindo uma visão de todo o sistema e indicando critérios para avaliá-lo.

O trabalho desenvolvido pelo LPT-EPUSP (1997) para o Ministério dos Transportes toma como diretriz, para a concepção do sistema computacional de monitoração e análise, uma estrutura semelhante à representada na Figura 5, com adaptações para os indicadores de desempenho propostos.

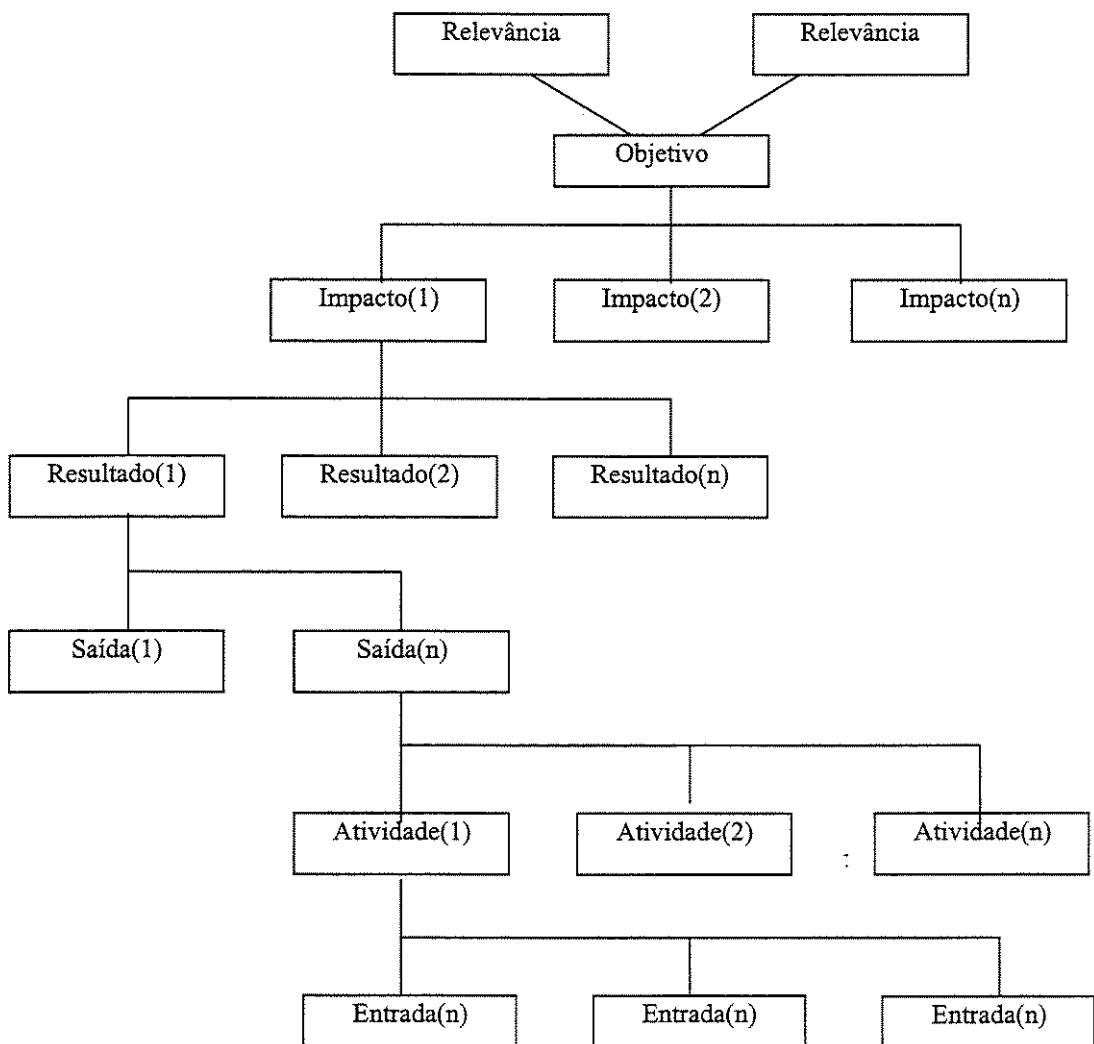


Figura 5 - Estrutura lógica de indicadores, adaptada de World Bank (1996).

3.4 Data Envelopment Analysis – DEA

3.4.1 Definição

Para avaliar o desempenho de organizações sem fins lucrativos, observou-se a necessidade de considerar os múltiplos aspectos que estão envolvidos nas diversas atividades desempenhadas por tais organizações e comparar esse desempenho com outras entidades

semelhantes que compartilham o mesmo conjunto de variáveis a fim de identificar algum padrão. (Norman e Stoker, 1991).

Inicialmente, o termo *Decision Making Unit* ou simplesmente DMU foi empregado apenas para divisões ou unidades administrativas relacionadas com os serviços públicos. Mais tarde, o termo DMU foi estendido às empresas privadas e atualmente o termo é flexível o suficiente para englobar qualquer sistema que apresente um conjunto de entradas e saídas mensuráveis, independentes de serem quantitativas ou qualitativas.

O trabalho de Charnes et al. (1978) ao reunir conceitos de econometria e pesquisa operacional (eficiência alocativa, eficiência técnica, função de produção, função custo) desenvolveram uma nova técnica de estimação da função de produção e um novo conceito de eficiência relativa.

O *Data Envelopment Analysis* é um modelo de programação matemática fracionária, proposto, por Charnes et al. (1978) como uma nova abordagem não-paramétrica para medir a eficiência de DMUs através da resolução do modelo (1).

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1)$$

s.a.:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m.$$

Sendo:

x_{ij} , y_{rj} são respectivamente as entradas e saídas dos processos. Esses valores são considerados todos positivos;

v_i , u_r são as ponderações das variáveis de entrada e saída procuradas; e

n , s e m são respectivamente o número de DMUs, Outputs e Inputs.

Para a resolução do modelo de programação fracionária Charnes et al. (1978) transforma modelo (1) em um problema de programação linear representado pelo modelo (2).

$$\max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (2)$$

s.a.:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0;$$

Segundo Lewin e Seiford (1997), o DEA procura identificar quais, dentre um conjunto de n unidades deliberantes (DMUs), determinam uma envoltória ou fronteira determinística de produção. As DMUs que estão na superfície da envoltória são consideradas eficientes enquanto as demais, no interior da envoltória são consideradas ineficientes. Para cada uma delas, o método DEA calcula o grau de sua ineficiência ou distância da envoltória e indica o grupo de DMUs que combinadas formam a respectiva DMU fictícia eficiente.

Em resumo, o DEA identifica a envoltória formada pelas DMUs mais eficientes em relação a um grupo de DMUs com as mesmas variáveis de entrada e saída e que tenham como objetivo a maximização de suas taxas de eficiência.

Para o método, a eficiência é representada pela razão entre a soma ponderada de todos os produtos e saídas de um sistema e a soma ponderada de todos os insumos e entradas desse sistema. Ao definir a envoltória, o método fornece um índice de eficiência para as DMUs do conjunto analisado. Esse índice representa a distância da DMU ineficiente à face da envoltória formada pelos respectivos *benchmarks*.

3.4.2 Componentes essenciais

Segundo Ali et al. (1995), para o estudo do método DEA, é necessário considerar três componentes essenciais que influenciam no desenvolvimento e no sucesso de toda a sua análise. Esses componentes são as restrições inferiores impostas às ponderações, a orientação do modelo e a forma da superfície da envoltória de eficiência. Essas três questões servem de base para a discussão de todos os problemas envolvidos na avaliação de eficiência através do método em estudo.

A importância das restrições dos pesos ou fatores de multiplicação se deve à sua influência na projeção dos pontos das DMU ineficientes sobre a envoltória. Os pesos refletem o valor marginal das variáveis de desempenho e são influenciados pelas escalas das medidas de desempenho e por diferentes composições de inputs e outputs resultantes das diferenças tecnológicas e mercadológicas.

Outro fator que influi na projeção das DMUs sobre a envoltória é a orientação do modelo. Em algumas situações, pode ser interessante a maximização da produção para um consumo de insumos constante e em outros casos, a minimização dos insumos para um mesmo nível de produção. Ambas as estratégias levam à maximização da produtividade ou eficiência. O que define uma estratégia ou outra é o controle que as DMUs têm sobre as variáveis de entrada e saída.

A orientação influi na formulação do modelo DEA adotado. Como veremos mais adiante, isso levou ao surgimento de três grupos de extensões do modelo DEA: os *output orientados*, os *input orientados* e os modelos independentes da orientação.

Finalmente, o terceiro componente essencial da metodologia DEA é a forma da superfície da envoltória. Assim como a orientação do modelo, a envoltória serve como critério para a classificação de um outro conjunto de extensões do modelo DEA que será apresentado mais tarde.

Existem dois tipos básicos de envoltórias: a linear e a log-linear ou Cobb-Douglas. Ali et al. (1995) apresentam um estudo dos dois grupos de modelos que empregam a envoltória linear: o *constant-returns-to-scale* ou CRS e o *variable-returns-to-scale* conhecido por VRS. A distinção entre esses dois modelos é a hipótese de rendimento de escala adotada e a presença das restrições de convexidade na formulação do VRS.

Além desses três componentes de caráter mais teórico, há ainda a questão da estratégia de modelagem. Essa questão, apesar de sua relevância prática, não é tratada de forma explícita na literatura, salvo nos trabalhos de Golany e Roll (1989) e Smith, P. (1997).

No trabalho de Golany e Roll (1989) encontramos um guia genérico para a aplicação prática do método e uma comparação entre as diversas formulações. Os autores dividiram o problema de modelagem em três partes: a seleção das DMUs, a escolha dos fatores de entrada e saída, aplicação e análise dos modelos.

Já Smith, P. (1997) preocupou-se em analisar as falhas e erros que podem estar contidos nos resultados do método DEA, se a modelagem for pouco criteriosa na escolha dos indicadores, das DMUs e da hipótese de rendimentos de escala. Esse trabalho é um aviso para observarmos com cuidado os resultados do método DEA.

Segundo Smith, P. (1997) o primeiro erro pode ocorrer logo no início com a escolha dos indicadores de entrada e saída, porque poderão ser omitidas variáveis importantes do sistema ou introduzidas variáveis estranhas ao processo. Em seu trabalho, o autor conclui que a omissão geralmente é mais grave, sendo melhor pecar pelo excesso. Quanto maior o número de variáveis consideradas, menor é o efeito da introdução de variáveis estranhas ou de omissões.

Quanto maior o número de variáveis, mais complexo o modelo e o processo em estudo. Um conjunto grande de variáveis, por uma questão dimensional, demanda um conjunto igualmente grande de DMUs para formar a envoltória de eficiência. Por razões práticas, o número de DMUs deve ser muito superior ao conjunto de variáveis consideradas para evitar que todos os elementos analisados, devido à abundância de critérios, se tornem singulares e sejam

considerados eficientes. Segundo Smith, P. (1997), mesmo respeitando a condição acima a imprecisão do método aumenta com o número de variáveis.

Por fim, a hipótese de retorno de escala também influi na validade dos resultados obtidos. Se tivermos um processo que apresenta um retorno de escala constante e aplicarmos uma formulação DEA para retornos de escala variáveis, podemos estar superestimando o desempenho de algumas DMUs. Para minimizar esse problema, com base em suas simulações, Smith, P. (1997) sugere o uso de grandes amostras, porque elas provavelmente teriam diversos grupos de DMUs com escalas de produção diversificadas.

A partir das questões apresentadas acima, podemos dar o próximo passo na análise da metodologia DEA, e conhecer as diversas formulações que surgiram a partir do modelo DEA proposto por Charnes et al. (1978) para avaliação de desempenho.

3.4.3 Formulações básicas

A partir do trabalho de Charnes et al. (1978) no qual foi apresentado o modelo DEA-CCR (sigla correspondente ao nome dos autores: Charnes, Cooper e Rhodes), surgiram diversas questões teóricas relativas às aplicações da metodologia. Essas questões levaram a proposição de algumas modificações no modelo original. As novas formulações podem ser classificadas conforme os critérios apresentados por Ali et al., (1995) separando os modelos em famílias ou formulações básicas.

A forma usual de classificação dos modelos DEA consiste em primeiro separá-los em dois grupos, conforme a hipótese de retorno de escala e em seguida, subdividi-los segundo a orientação dos modelos. Finalmente, em cada subgrupo, defini-se duas formulações fundamentais conhecidas como o “problema da envoltória” e o “problema dos multiplicadores” (Seiford e Thrall, 1990).

Segundo Lewin e Seiford (1997), tradicionalmente, o problema da envoltória, por ser mais conveniente para a computação, é apresentado como a forma primal na literatura. Já o

problema dos multiplicadores, apesar de mais intuitivo e geralmente mais destacado por sua didática, é apresentado como a forma dual. Porém, há certos trabalhos importantes que adotaram a notação contrária como Golany e Roll (1989) e Norman e Stoker (1991). Nesse trabalho, seguimos a convenção de Lewin e Seiford (1997).

Com base na Tabela 3, fazemos uma comparação entre os modelos, discutindo suas diferenças em relação ao modelo CCR e as principais questões teóricas e práticas.

Tabela 3 - Formulações Básicas

Input Orientado CCR Primal	Input Orientado CCR Dual
$\min_{\theta, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \theta - \varepsilon \cdot \bar{1}s^+ - \varepsilon \cdot \bar{1}s^-$	$\max_{\mu, \nu} w_0 = \mu^T Y_0$
s.a. $Y\lambda - s^+ = Y_0$	s.a. $\nu^T X_0 = 1$
$\theta X_0 - X\lambda - s^- = 0$	$\mu^T Y - \nu^T X \leq 0$
$\lambda, s^+, s^- \geq 0$	$-\mu^T \leq -\varepsilon \cdot \bar{1}$
	$-\nu^T \leq -\varepsilon \cdot \bar{1}$
Output Orientado CCR Primal	Output Orientado CCR Dual
$\max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \phi + \varepsilon \cdot \bar{1}s^+ + \varepsilon \cdot \bar{1}s^-$	$\min_{\mu, \nu} q_0 = \nu^T X_0$
s.a. $X\lambda + s^- = X_0$	s.a. $\mu^T Y_0 = 1$
$\phi Y_0 - Y\lambda + s^+ = 0$	$-\mu^T Y + \nu^T X \geq 0$
$\lambda, s^+, s^- \geq 0$	$\mu^T \geq \varepsilon \cdot \bar{1}$
	$\nu^T \geq \varepsilon \cdot \bar{1}$

(Continua)

Input Orientado BCC Primal

$$\min_{\theta, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \theta - \varepsilon \cdot \bar{1}s^+ - \varepsilon \cdot \bar{1}s^-$$

$$\text{s.a.} \quad Y\lambda - s^+ = Y_0$$

$$\theta X_0 - X\lambda - s^- = 0$$

$$\bar{1}\lambda = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Output Orientado BCC Primal

$$\max_{\phi, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \phi + \varepsilon \cdot \bar{1}s^+ + \varepsilon \cdot \bar{1}s^-$$

$$\text{s.a.} \quad X\lambda + s^- = X_0$$

$$\phi Y_0 - Y\lambda + s^+ = 0$$

$$\bar{1}\lambda = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Aditivo (VRS) Primal

$$\min_{\lambda, s^+, s^-} z_0 = -\bar{1}s^+ - \bar{1}s^-$$

$$\text{s.a.} \quad Y\lambda - s^+ = Y_0$$

$$-X\lambda - s^- = -X_0$$

$$\bar{1}\lambda = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Aditivo (CRS) Primal

$$\min_{\lambda, s^+, s^-} z_0 = -\bar{1}s^+ - \bar{1}s^-$$

$$\text{s.a.} \quad Y\lambda - s^+ = Y_0$$

$$-X\lambda - s^- = -X_0$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Input Orientado BCC Dual

$$\max_{\mu, v} w_0 = \mu^T Y_0 + u_0$$

$$\text{s.a.} \quad v^T X_0 = 1$$

$$\mu^T Y - v^T X + u_0 \bar{1} \leq 0$$

$$-\mu^T \leq -\varepsilon \cdot \bar{1}$$

$$-v^T \leq -\varepsilon \cdot \bar{1}$$

$$u_0 \text{ livre}$$

Output Orientado BCC Dual

$$\min_{\mu, v} q_0 = v^T X_0 + v_0$$

$$\text{s.a.} \quad \mu^T Y_0 = 1$$

$$-\mu^T Y + v^T X + v_0 \bar{1} \geq 0$$

$$\mu^T \geq \varepsilon \cdot \bar{1}$$

$$v^T \geq \varepsilon \cdot \bar{1}$$

$$v_0 \text{ livre}$$

Aditivo (VRS) Dual

$$\max_{\mu, v, u_0} w_0 = \mu^T Y_0 - v^T X_0 + u_0$$

$$\text{s.a.} \quad \mu^T Y - v^T X + u_0 \bar{1} \leq 0$$

$$-\mu^T \leq -\bar{1}$$

$$-v^T \leq -\bar{1}$$

Aditivo (CRS) Dual

$$\max_{\mu, v, u_0} w_0 = \mu^T Y_0 - v^T X_0$$

$$\text{s.a.} \quad \mu^T Y - v^T X \leq 0$$

$$-\mu^T \leq -\bar{1}$$

$$-v^T \leq -\bar{1}$$

Multiplicativo Primal

$$\begin{aligned} \min_{\lambda, s^+, s^-} h_0 &= -\bar{1}s^+ - \bar{1}s^- \\ \text{s.a. } \log(Y)\lambda - s^+ &= \log(Y_0) \\ -\log(X)\lambda - s^- &= -\log(X_0) \\ \bar{1}\lambda &= 1 \\ \lambda, s^+, s^- &\geq 0 \end{aligned}$$

Multiplicativo Dual

$$\begin{aligned} \max_{\mu, \nu, u_0} g_0 &= \mu^T \log Y_0 - \nu^T \log X_0 + u_0 \\ \text{s.a. } \mu^T \log Y - \nu^T \log X + u_0 \bar{1} &\leq 0 \\ -\mu^T &\leq -\bar{1} \\ -\nu^T &\leq -\bar{1} \end{aligned}$$

sendo:

θ - taxa de redução de insumos

ε - número não arquimediano

s^+ -variável de excesso

s^- -variável de folga

λ -variável que indica a combinação convexa das DMUs

Y-outputs ou indicadores de produção

X-inputs ou indicadores de insumos

ϕ -taxa de acréscimo da produção

μ -ponderação dos outputs

ν -ponderação dos inputs

u_0, ν_0 -parâmetros de retorno de escala

adaptado de Lewin e Seiford (1997)

Começando pela formulação CCR, observa-se de imediato uma diferença em relação aos modelos (1) e (2), inicialmente apresentados, e as formulações da Tabela 3. A razão desta variação é o problema da ambigüidade dos resultados DEA quando há uma situação semelhante à representada na Figura 6. Em tais casos não há uma convergência das respostas porque uma determinada DMU pode estar na envoltória e ao mesmo tempo ser dominada por outra DMU.

Para resolver esse problema Charnes et al. (1978) introduziram na formulação do modelo (2), as variáveis de folga e excesso, e o número *não arquimediano* ε . Dessa forma surge a

formulação CCR apresentada na Tabela 3 que presume ganhos de escala constantes (CRS), e constrói uma envoltória do tipo linear. As variáveis de folga e excesso são colocadas na função objetivo para permitir um ajuste fino da projeção das DMUs na fronteira e a função do número ϵ é garantir que a prioridade da função objetivo seja minimizar primeiro θ e depois as variáveis de folga e excesso.

A segunda formulação é o modelo CCSS ou Multiplicativo, apresentado por Charnes et al. (1983). Nesse modelo os valores de eficiência são independentes de mudanças nas unidades de medida das variáveis de entrada e saída, e da translação da nuvem de DMUs (Ali e Seiford, 1990).

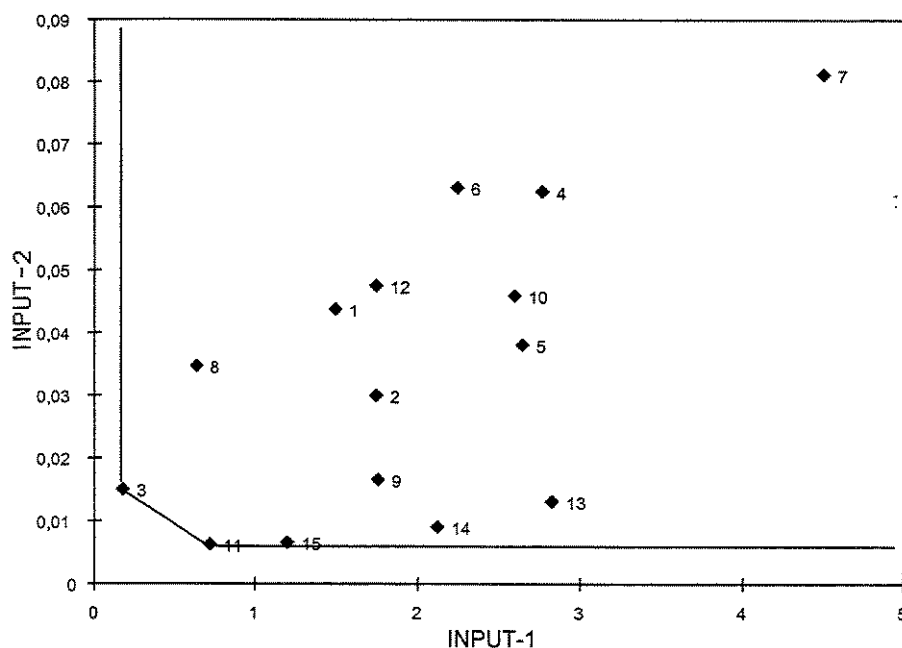


Figura 6 – Exemplo de ambigüidade, adaptado de Charnes et al. (1978) e Norman e Stoker (1991).

Duas grandes diferenças podem ser vistas logo de início entre o CCR e o modelo Multiplicativo (Tabela 3). A primeira é que o CCR usa uma envoltória linear e o modelo Multiplicativo (CCSS) emprega uma envoltória log-linear associada à função de produção Cobb-Douglas. A segunda é a ausência dos índices de eficiência θ e ϕ na função de produção que

determinam a razão de decréscimo e aumento dos inputs e outputs, o que demonstra que esse modelo não tem orientação.

Esse modelo se distingue também por ter sido o primeiro a usar a restrição de convexidade $\sum\lambda=1$ na formulação primal.

A terceira formulação básica é o modelo BCC que foi criado por Banker, et al. (1984) para estimar a eficiência técnica e de escala de uma DMU em relação à fronteira de produção.

Esse modelo difere do CCR pela presença da restrição de convexidade nas formulações primais e das variáveis u_0 e v_0 que indicam o retorno de escala nas formulações duais (Tabela 4). O efeito desses elementos na formação da fronteira de produção é melhor explicado por Seiford e Thrall (1990).

Tabela 4 - Parâmetros de retorno de escala

$u_0 < 0 \quad v_0 > 0 \rightarrow$	perda de escala
$u_0 > 0 \quad v_0 < 0 \rightarrow$	ganho de escala
$u_0 = v_0 = 0 \rightarrow$	retorno de escala constante
$1\lambda \leq 1 \rightarrow$	restrição ao ganho de escala
$1\lambda \geq 1 \rightarrow$	restrição a perda de escala
$1\lambda = 1 \rightarrow$	nenhuma restrição à variação de escala

adaptado de Seiford e Thrall (1990) e Norman e Stoker (1991).

Finalmente, a quarta formulação é o modelo Aditivo ou CCGSS (Tabela 3), proposto por Charnes et al. (1985). Através desse modelo, é possível verificar se uma determinada DMU otimiza o uso de seus recursos, segundo o conceito “Pareto-Optimal”, tornando nula a sua função objetivo, ou seja, eliminando suas folgas e excessos. Como na função objetivo temos apenas as variáveis de folga esse modelo também é considerado sem orientação.

O modelo Aditivo adota praticamente o mesmo formato do modelo Multiplicativo, exceto pelo tipo de envoltória que é linear e pela presença da restrição de convexidade que pode ocorrer ou não. Quando há a restrição $\sum\lambda=1$, temos o modelo Aditivo-VRS, próprio para problemas com retornos de escala variáveis. Se a restrição for omitida, temos o modelo Aditivo-

CRS que lida com retornos de escala constantes. Para o modelo Multiplicativo não foi encontrada na literatura uma aplicação para a formulação sem restrição de convexidade.

O modelo Aditivo-VRS também é insensível a translação da nuvem de DMUs, mas como sua envoltória é linear o modelo é influenciado pela variação das unidades dos indicadores.

Os modelos da Tabela 3 representam as quatro famílias de formulações do método DEA existentes. Porém, segundo Golany e Roll (1989), novas formulações podem ser obtidas através do acréscimo de restrições que impõem ordens de importância entre as variáveis qualitativas ou relações de substituição entre as variáveis de entrada ou saída.

3.4.4 Vantagens e limitações

Segundo Seiford e Thrall (1990) o método DEA apresenta as seguintes vantagens:

- permitir uma estimativa robusta da fronteira de eficiência;
- analisar cada DMU separadamente;
- medir a eficiência relativa ao conjunto de DMUs;
- não necessitar da especificação prévia da forma da função de produção;
- permitir a inclusão de atributos ambientais ou do processo de produção que não sejam nem recursos econômicos ou produtos;
- possibilitar a introdução de julgamentos; e
- disponibilizar o recurso de interpretação das variáveis duais e análise de sensibilidade, por utilizar a técnica de programação matemática.

Por outro lado o DEA está sujeito às seguintes limitações:

- ser mais sensível a erros nos dados, uma vez que requer apenas uma observação;
- reduzir a habilidade de discriminação com o aumento do número de variáveis; e
- ser muito sensível à especificação das variáveis, porque o método é baseado em pontos extremos (também há uma discussão quanto à sensibilidade ao modelo adotado e à agregação das variáveis, Seiford e Thrall (1990)).

3.4.5 Aspectos teóricos

No campo teórico, o método DEA tem fomentado discussões relativas ao conceito, à forma de avaliação e à eficácia do conhecimento do desempenho para o planejamento de ações futuras.

As frentes de pesquisas são orientadas segundo os elementos fundamentais citados anteriormente, como a forma da envoltória, a orientação e as hipóteses de economia de escala, motivando o desenvolvimento de novas formulações. Outras questões como a restrição das ponderações e a estratégia de modelagem, motivam pesquisas sobre a metodologia de aplicação e interpretação do método DEA.

A primeira questão a ser discutida, portanto é a do conceito de desempenho, que se baseia no princípio de Ferrell (1957) apud (Schmidt P., 1986), que distingue a eficiência técnica, alocativa e geral. Esse princípio é a base tanto do método DEA, como da maioria dos métodos paramétricos empregados na econometria.

Segundo Seiford e Thrall (1990), o modelo CCR avalia a eficiência geral e o modelo BCC a eficiência técnica e de escala.

Um algoritmo para medir a eficiência técnica, alocativa e geral usando DEA, foi desenvolvido por Sueyoshi (1992). Mais tarde, o mesmo autor ampliou a base teórica do método DEA, para medir oito conceitos de eficiência e economias de escala (Sueyoshi, 1997) e discutiu os conceitos econômicos aplicados ao DEA (Sueyoshi et al., 1998).

Com relação à forma de avaliação de desempenho, surgem diversas discussões tais como: a metodologia de aplicação, inter-relação dos modelos, introdução de variáveis qualitativas, indicadores ordinais, critérios de julgamento e a associação do método DEA com métodos multicritério e multiobjetivo.

Dessas questões, como já foi mencionado, a metodologia foi negligenciada durante um certo tempo, até ser tratada por Golany e Roll (1989), que propôs um algoritmo envolvendo desde

a seleção das variáveis até a análise final. Outro trabalho importante é o de Smith, P. (1997). Nele o autor se preocupa com os erros de especificação dos modelos, também já mencionados.

O modelo matemático DEA, durante o processo de cálculo dos índices de eficiência e dos pesos dos inputs e outputs, apresenta uma flexibilidade muito importante para a identificação das DMUs ineficientes. Porém, muitas vezes isso leva a conclusões inconsistentes.

Segundo Lewin e Seiford (1997), o assunto que tem se desenvolvido mais rapidamente é a restrição de pesos para incorporação de critérios de julgamento de especialistas, como podemos ver em Wong e Beasley (1990), Roll et al. (1991), Roll e Golany (1993), Allen et al. (1997) e Thanassoulis e Allen. (1998).

A revisão completa a respeito desse assunto é feita em Allen et al. (1997). Os autores apresentam as razões do uso de restrições e as diferentes estratégias desenvolvidas, discutindo suas aplicações e conseqüências sob a interpretação dos resultados. Uma dessas conseqüências é o uso do método DEA no auxílio da análise de decisão, (Green e Doyle, 1995).

A associação com métodos multicritério e multiobjetivo tornou-se uma prática comum, graças à afinidade entre as áreas de avaliação de desempenho e análise de decisão. Por exemplo:

- Golany (1988) alia um modelo de programação linear multiobjetivo ao DEA para auxiliar agentes deliberantes na determinação de metas;
- Tone (1989) compara as formulações DEA e AHP;
- Stewart (1996) compara os conceitos de eficiência do método DEA e da análise multicritério;
- Miettinen e Hämäläinen (1997) em um estudo sobre benefícios de abordagens de análise de decisão, para o planejamento do ciclo de vida ambiental de produtos e serviços, sugerem o uso do método DEA como ferramenta; e
- Seiford e Zhu (1998) definem os pesos do modelo DEA empregado em seu trabalho, baseando-se nas opiniões de especialistas, obtidas através das técnicas *Delphi*, *Assurance Region* (AR) e *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Finalmente a última questão relacionada à forma de avaliação de desempenho é a utilização de variáveis ordinais e qualitativas. Nesta área apontamos como importantes exponenciais os professores Wade D. Cook e Moshe Kress que desenvolveram uma série de trabalhos neste campo, tais como:

- Cook e Kress (1991) que desenvolveram um modelo baseado no DEA que considera dados ordinais para determinar a importância de atributos;
- Cook et al. (1993) que apresentam um método para considerar dados expressos em uma escala ordinal;
- Cook e Kress (1994) onde é proposto um modelo baseado na estrutura do método DEA, para lidar com critérios qualitativos e quantitativos; e
- Cook et al. (1996) que incorporam dados ordinais no modelo padrão DEA.

O terceiro tema de motivação à pesquisa sobre o DEA, é a eficácia do conhecimento do desempenho para o planejamento de ações futuras. Por eficácia, nesse caso, entendemos a validade da abordagem adotada, a abrangência, a profundidade de análise e a sua utilidade na solução de problemas práticos.

Segundo Schmidt, P. (1986) é fundamental para qualquer empresa ou DMU, conhecer a eficiência alocativa. Dentro dessa ótica, a fronteira de produção torna-se muito importante, porque enquanto outros métodos medem apenas o comportamento médio, as funções de fronteira de produção visam as melhores práticas.

Os métodos para estimativa da fronteira de produção dividem-se em duas famílias principais: os métodos paramétricos e os não-paramétricos.

Os primeiros pressupõem que a fronteira de produção tem a forma de uma função específica, geralmente do tipo Cobb-Douglas, e os parâmetros dessas funções podem ser determinados tanto por métodos estatísticos, como por métodos não estatísticos.

Segundo Schmidt, P. (1986), do ponto de vista da econometria, os métodos paramétricos baseados em princípios estatísticos são mais adequados para a estimação de fronteiras de produção.

Apesar dos métodos não-paramétricos não terem o risco de distorcer os resultados, com a escolha da forma errada da função de produção, para Schmidt, P. (1986) não há virtude alguma nos métodos determinísticos, porque eles não avaliam o erro existente nos dados.

Essa é a principal crítica ao método DEA, porque uma forma de verificar a validade do modelo adotado, é através da avaliação de seu erro.

Como isso não é possível, a pesquisa sobre DEA busca a validação através da comparação com outros métodos, que gozam de maior confiabilidade e aceitação. Como é o caso de alguns estudos, liderados pelo professor Rajiv D. Banker, que fazem comparações entre DEA e a função *Translog* (Banker e Maindiratta, 1986), (Banker et al., 1986a) e (Banker et al., 1986b). Em Banker et al. (1986a) os autores concluem que o método DEA apresenta um desempenho melhor que o *Translog* quando usada a envoltória log-linear.

Mais tarde Oum e Yu (1994), retomando o trabalho de Banker, ao estudar a eficiência de ferrovias usando DEA e *Translog*, aponta o primeiro método como o mais flexível e interessante, mas sugere que novos estudos sejam feitos.

Em Novaes (1996) o DEA e *Translog* são aplicados na avaliação de metrô, e em seqüência à esse trabalho, Novaes (1997) discute uma estratégia de benchmarking e avaliação da função de produção analisando o mesmo caso.

Buscando uma solução para verificar a validade do modelo adotado e mitigar a incerteza das fronteiras determinísticas, temos vários trabalhos que procuraram fornecer uma base estatística ao DEA como: Banker (1993), Löthgren e Tambour (1996 a, b), Cooper e Tone (1997) e Premachandra et al. (1998).

Finalmente, reforçando a importância do método DEA, temos a sua potencialidade de análise, graças ao recurso da avaliação de sensibilidade inerente à programação matemática.

Interpretando as soluções dos modelos DEA, podemos identificar para cada DMU quais são os seus *benchmarks*, estimar as taxas de redução ou crescimento de seus inputs e outputs para

melhorar o desempenho, ou avaliar a correlação deste com a variação dos indicadores de desempenho, como fez Chilingerian (1995).

Também é possível, ao realizar um benchmarking, criar DMUs fictícias com base nas melhores práticas identificadas e simular novas estratégias, ou ainda, empregar o DEA na análise de painéis de dados para avaliar o desempenho ao longo do tempo (Grifell-Tatjé e Lovell, 1997).

3.4.6 Aspectos computacionais

Devido à suas características, o modelo DEA é um problema de programação matemática que requer alguns cuidados no momento de sua resolução.

O primeiro desses cuidados é no dimensionamento do número *não-arquimediano* ϵ . Segundo Ali e Seiford (1993), a escolha errada desse número construtivo levará a erros nos resultados, por razões inerentes ao método DEA e à precisão do método Simplex.

A função do número ϵ , no problema dos multiplicadores, é evitar que as variáveis de entrada e saída sejam anuladas e excluídas das análises conforme a conveniência de uma ou outra DMU. Essa exclusão é favorecida, quando a faixa de variação dos indicadores for muito larga devido à diferença de grandeza das unidades dos indicadores ou à diferença de porte entre as DMUs.

Observando o comportamento dos modelos CCR e BCC Ali e Seiford (1993), demonstram que ϵ é dependente da faixa de variação dos indicadores.

Se ϵ for grande demais o problema torna-se irrestrito, mas se o valor de ϵ for reduzido e ficar muito próximo à tolerância do software empregado na resolução do modelo matemático, a solução ótima pode não ser alcançada, prejudicando a precisão do modelo, ou até invalidando toda a análise.

O DEA é um modelo de programação linear que apresenta uma matriz 100% densa com alto grau de degeneração e sujeita a ciclagem (Ali et al. 1995).

Por todos esses problemas, alguns esforços têm sido aplicados, no desenvolvimento de melhores algoritmos e programas.

Segundo Green (1996) os *solvers* MINOS e CPLEX usados pelo programa de modelagem AMPL são ideais para o método DEA, porque são capazes de trabalhar com programação fracionária.

Para lidar com problemas de grande porte Barr e Durchhalz (1997), propõem um novo código que explora o processamento paralelo.

Alguns *softwares* prontos para a aplicação do método DEA podem ser encontrados com certa facilidade hoje em dia, como o *Frontier Analyst*, criado por Banxia Software (1998), o Warwick DEA – Software, desenvolvido na Universidade de Warwick, (Emrouznejad e Thanassoulis, 1997), o DEAP – *Data Envelopment Analysis Program* criado por Coelli (1998) da Universidade de New England e o EMS – *Efficiency Measurement System* desenvolvido por Scheel (1998) da Universidade Dortmund.

Outra opção para modelagem do DEA é a planilha MS-Excel que também trabalha com programação não linear. Como exemplo temos Premachandra, et al. (1998) que fizeram uma aplicação do modelo SDEA.

3.4.7 Aspectos práticos

Devido à importância da avaliação de desempenho em todos os setores de produção e serviços (públicos ou estatais) e à flexibilidade do método DEA em associar-se a outros métodos, modelos e conceitos, houve um grande esforço de pesquisa que desenvolveu e expandiu o conceito DEA de avaliação de indicadores de desempenho para as questões econômicas e administrativas da engenharia, saúde, educação, sociologia, meio-ambiente, etc.

Resultante desse esforço existe um número considerável de trabalhos, aplicando o método DEA na avaliação de indicadores de desempenho, seja com o objetivo usual de determinar a eficiência ou no intuito de auxiliar agentes deliberantes na escolha de alternativas de ações.

Os principais usuários do método DEA são organizações ou entidades (privadas ou estatais) que prestam serviços com alto grau de personalização e necessitam de abordagens inovadoras, tais como: universidades, repartições públicas, hospitais, clínicas, empresas de fornecimento de água, energia, telecomunicações, transportes, etc.

Existem ainda outros usuários, como bancos, cadeias de restaurantes, supermercados ou outros tipos de cadeias comerciais que prestam serviços personalizados menos complexos, mas são muito mais sensíveis a inovações, demandando análises rápidas de benchmarking a fim de identificar as melhores práticas e DMUs. Geralmente para esses grupos, as análises dispõem de amostras grandes e homogêneas como é caso de cadeias de lanchonetes, agências de correio e agências bancárias.

O interesse desse trabalho é analisar os serviços de transporte, que são personalizados e sujeitos a um conjunto grande de variáveis externas e incontroláveis, bem com as características do ambiente em que cada DMU está inserida, constituindo assim grupos pouco homogêneos e complexos.

Os serviços de transporte representam um campo de aplicação relativamente antigo do método DEA. Em Bowlim (1987), encontramos um dos primeiros trabalhos sobre DEA que relacionam elementos de transporte e logística. Nele é feito um estudo do potencial do método DEA para avaliação do desempenho de unidades de força aérea dos EUA.

Mais tarde Chu e Fielding (1992), propõem a utilização do método DEA em substituição ao método IPEM (*Irvine Performance Evaluation Method*), na avaliação de empresas de transporte metropolitano. No ano seguinte foi a vez de Roll e Hayuth (1993) que aplicaram o DEA na avaliação de um grupo de 20 portos.

A motivação dessa dissertação surgiu com Oum e Yu (1994), que mediram a produtividade das ferrovias de 19 países membros da OECD. Nesse trabalho os autores compararam o método DEA com a função *Translog* confirmando trabalhos anteriores similares e concluíram que o DEA é o método mais flexível de cálculo da fronteira de produção. Além disso, foi demonstrada a potencialidade do método em avaliar os elementos que influenciam na eficiência de empresas ferroviárias.

Retomando o transporte aéreo, temos o estudo de desempenho das maiores empresas aéreas européias e americanas, entre 1976 e 1986, apresentado por Good et al. (1995) e um outro trabalho realizado por Gillen e Lall (1997) que apresenta um conjunto de indicadores de desempenho e discute as principais questões a respeito da administração da infra-estrutura aeroviária.

No Brasil, a pesquisa sobre DEA em transportes iniciou-se com o professor Antônio Galvão Novaes, que discute uma estratégia de benchmarking em transportes comparando DEA e *Translog*, usando como exemplo a avaliação de sistemas metroviários, (Novaes, 1996 e 1997).

Ainda existem várias outras aplicações do método DEA em transportes e principalmente em outras áreas, de pesquisadores nacionais e internacionais. A fim de não estender excessivamente este assunto são listados na Tabela 5 e 6 alguns trabalhos práticos e suas áreas de aplicação, que puderam ser reunidos ao longo desta pesquisa e mais adiante na Figura 7 é representado alguns campos de aplicação do método.

Tabela 5: Demais aplicações do método DEA.

Autor	Ano	Area de pesquisa
Charnes et al.	1981	Teoria dos Jogos
Wei et al.	1985	Recursos Humanos
Thompson et al.	1986	Locação de Instalações
Bannister e Stolp	1995	Esportes
Chilingerian	1995	Serviços de Saúde
Day et al.	1995	Industria de Manufatura
Dusansky e Wilson	1995	Serviços de Saúde
Lopes et al.	1995	Universidades
Moita	1995	Escolas Municipais

(Continua)

Ray e Kim	1995	Industria de Manufatura
Thanassoulis et al.	1995	Serviços de Saúde
Aderson e Sharp	1997	Esportes
Chilingerian e Shermam	1997	Serviços de Saúde
Golany e Thore	1997	Desempenho de Países
Paradi et al.	1997	Projetos/Bancos
Rousseau e Semple	1997	Teoria dos Jogos
Smith, C. et al.	1997	Serviços de Saúde
Sueyoshi et al.	1997	Telecomunicações
Wang et al.	1997	Tecnologia de Informação
Ward et al.	1997	Recursos Humanos
Chang	1998	Serviços de Saúde
Goto e Tsutsui	1998	Industria de Manufatura
Kosmetsky e Yue	1998	Industria de Manufatura
Seifor e Zhu	1998	Industria de Manufatura
Sueyoshi et al.	1998	Agricultura

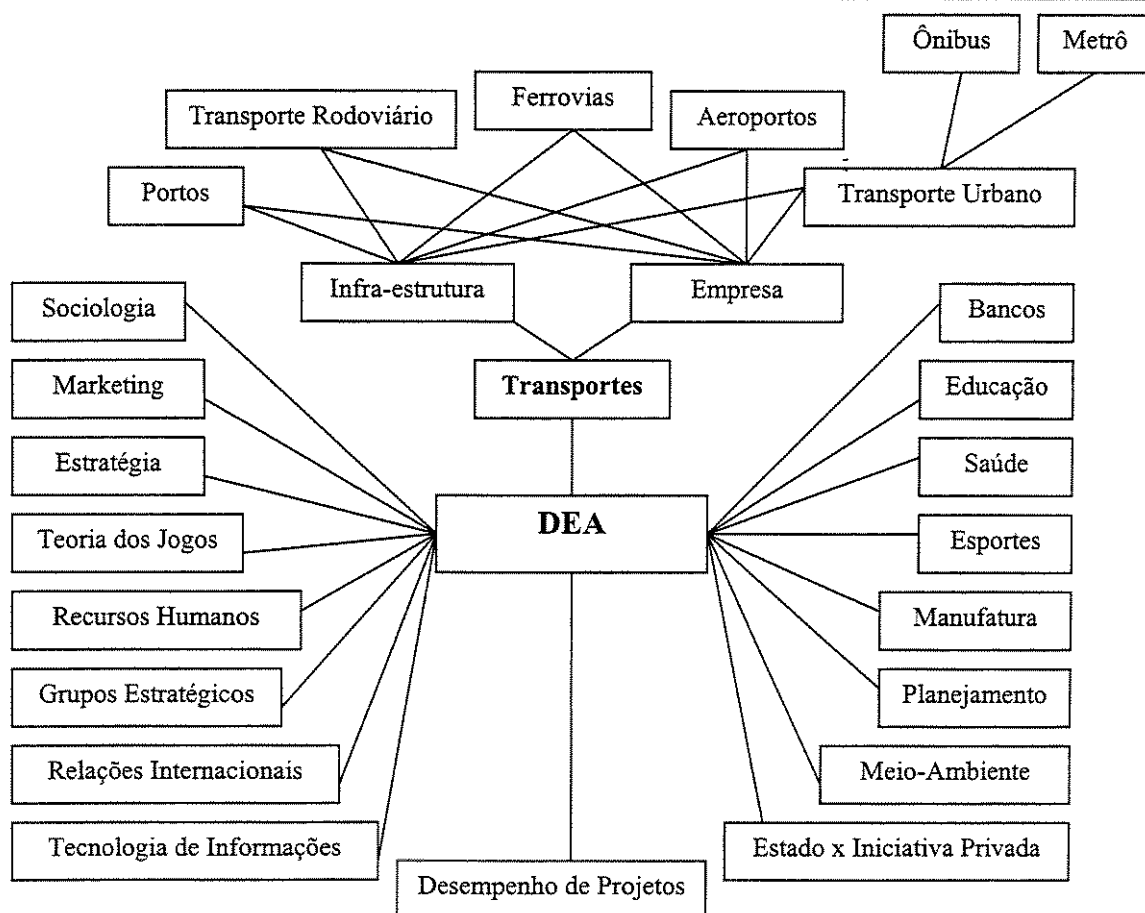


Figura 7 – Campos de aplicação do método DEA

Tabela 6 - Aplicações do método DEA em Transportes.

Autor	Ano	Area de Pesquisa
Bowlin	1987	Transporte Aéreo
Chu e Fielding	1992	Transporte Público
Roll e Hayuth	1993	Portos
Oum e Yu	1994	Transporte Ferroviário
Good et al	1995	Transporte Aéreo
Kerstens	1996	Transporte Público
Mansson	1996	Companhias de Táxi
Novaes	1996	Metrôs
Costa e Markellos	1997	Transporte Público
Gillen e Lall	1997	Aeroportos
Novaes	1997	Metrôs

3.5 Analytic Hierarchy Process – AHP

3.5.1 Princípios

A metodologia de análise multicritério conhecida por *Analytic Hierarchy Process* ou AHP, desenvolvida por Thomas L. Saaty em 1977 procura validar uma avaliação comparativa de elementos, baseada na percepção de analistas que considerando e distinguindo diversos critérios ou objetivos, conforme o seu valor, julgam os elementos avaliados segundo esses critérios.

Este método identifica um conjunto de critérios comuns na avaliação de um conjunto de elementos, orienta a construção de uma estrutura de dependência hierárquica entre os critérios e através de um processo simples de comparação par-a-par, atribui a cada elemento da estrutura um peso.

O conjunto de pesos atribuídos, no processo de análise sob os diversos critérios de avaliação é sintetizado empregando-se um procedimento numérico, a fim de estabelecer uma classificação dos elementos avaliados.

Segundo Saaty (1991) o AHP simula a forma como a mente humana lida com problemas complexos, considerando elementos tangíveis e intangíveis, julgando-os segundo uma escala de valores própria. Esse método é baseado no princípio de que a experiência e percepção do analista são tão validas quanto dados exatos obtidos diretamente do mundo real. O AHP é um método lógico e intuitivo (Schmidt, A. 1995).

A primeira vez que o método foi apresentado foi no trabalho intitulado “*A scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*”. (Saaty, 1977a). No Brasil o método foi empregado pela primeira vez em planejamento de transportes por Gomes (1989). Outros trabalhos consultados que aplicaram a técnica AHP em questões de transportes foram Mouette (1993), Mouette e Fernandes (1996), Morita (1998) e Figueiredo (1999). Na Tabela 7 são apresentados alguns trabalhos que empregaram o AHP em transportes.

Tabela 7 – Aplicações do método AHP em transportes

Autor	Ano	Area de Pesquisa
Saaty	1977b	Planejamento
Saaty	1977c	Planejamento
Gomes	1989	Transporte Urbano
Mouette	1993	Impactos Ambientais
Saaty	1995	Planejamento
Mouette e Fernandes	1996	Impactos Ambientais
Rabani e Rabani	1996	Planejamento
Figueiredo	1999	Gerenciamento

3.5.2 Axiomas

Conforme apresentado nas obras de Vargas (1990), Saaty (1995) e Schmidt, A. (1995), os axiomas do método AHP são os seguintes:

Axioma 1: *Comparação recíproca*. O deliberante deve ser capaz de fazer comparações e expressar a força de suas preferências. A intensidade dessas preferências deve satisfazer a condição de reciprocidade. Se A é x vezes mais preferível que B, então B é $\frac{1}{x}$ vezes mais preferível que A. A reciprocidade garante a clareza dos julgamentos nas comparações paritárias.

Axioma 2: Homogeneidade. As preferências são representadas por meio de uma escala finita. A homogeneidade significa que a comparação só tem sentido entre elementos que apresentam a mesma magnitude e respeitam os limites da escala de comparação, caso isso não ocorra é necessário agrupar os elementos semelhantes segundo um certo atributo para analisá-los (*clustering*).

Axioma 3: Independência. Quando expressamos as preferências, os critérios são considerados independentes das propriedades das alternativas. Esse axioma exige que os pesos dos critérios não sejam influenciados pelas alternativas, ou seja, os elementos de um nível superior da hierarquia não devem ser dependentes dos elementos do nível inferior. Caso essa condição seja violada recaímos em uma generalização do AHP chamada *Analytic Network Process* (ANP) (Saaty, 1995).

Axioma 4: Expectativa. Para o propósito de tomar uma decisão, a estrutura hierárquica é considerada como completa. Quando a estrutura hierárquica é incompleta, o analista não está considerando todos os critérios ou alternativas disponíveis para atender as expectativas racionais da análise e, portanto a decisão é incompleta.

3.5.3 Estruturação

A estruturação é um processo de aprendizagem e interpretação, necessários para a construção de um modelo que represente o sistema das ações de forma clara para o sistema deliberante através da identificação, organização, validação e modificação de valores de julgamento. Portanto, em um processo de decisão como apresentado na Figura 8 é necessário o estudo de dois sistemas inter-relacionados: o sistema deliberante e o sistema das ações (Schmidt, A., 1995).

O sistema deliberante é formado tanto por agentes deliberantes que decidem e praticam as ações, como por agentes influenciados que apenas participam, direta ou indiretamente dos acontecimentos. Por sistema deliberante deve-se entender todos os envolvidos e interessados nos

impactos das decisões. Ambos os deliberantes (ativos e passivos) e influenciados (ativos e passivos) participam do processo de decisão, expressando seu conjunto de valores.

O sistema das ações, em um problema de tomada de decisão, é o conjunto de ações possíveis ou cenários prováveis.

Segundo Bana (1993) apud (Schmidt, A., 1995) “Um processo de decisão é um sistema que relaciona os elementos de natureza objetiva próprios às ações e elementos de natureza subjetiva próprios aos sistemas de valores dos deliberantes, tal sistema é indivisível e, portanto não pode ser negligenciado. Os objetivos e características unem-se no que se chama ponto de vista”.

Os objetivos e os critérios são o reflexo do sistema de valores que os deliberantes defendem e as características das ações são os elementos mensuráveis tais como indicadores, atributos, qualidades ou desempenho. Como os valores dos deliberantes são baseados em seus conhecimentos, experiências e principalmente em sua percepção da realidade, eles têm um caráter subjetivo. Por outro lado as características das ações são observações concretas da realidade.

Confrontando esses elementos subjetivos e objetivos, o analista estrutura, em níveis hierárquicos, um sistema de valores ou critérios de avaliação que fornecem as regras e padrões que irão orientar a decisão e correspondem ao conceito de ponto de vista citado por Bana (1993) apud (Schmidt, A., 1995).

Os elementos de cada nível da estrutura hierárquica, exemplificada na Figura 9, dominam todos ou apenas parte dos elementos no nível inferior, estabelecendo ligações de causa e consequência entre critérios e sub-critérios. Na base da estrutura encontramos as alternativas que em uma estrutura completa devem estar ligadas a todos os sub-critérios do penúltimo nível.

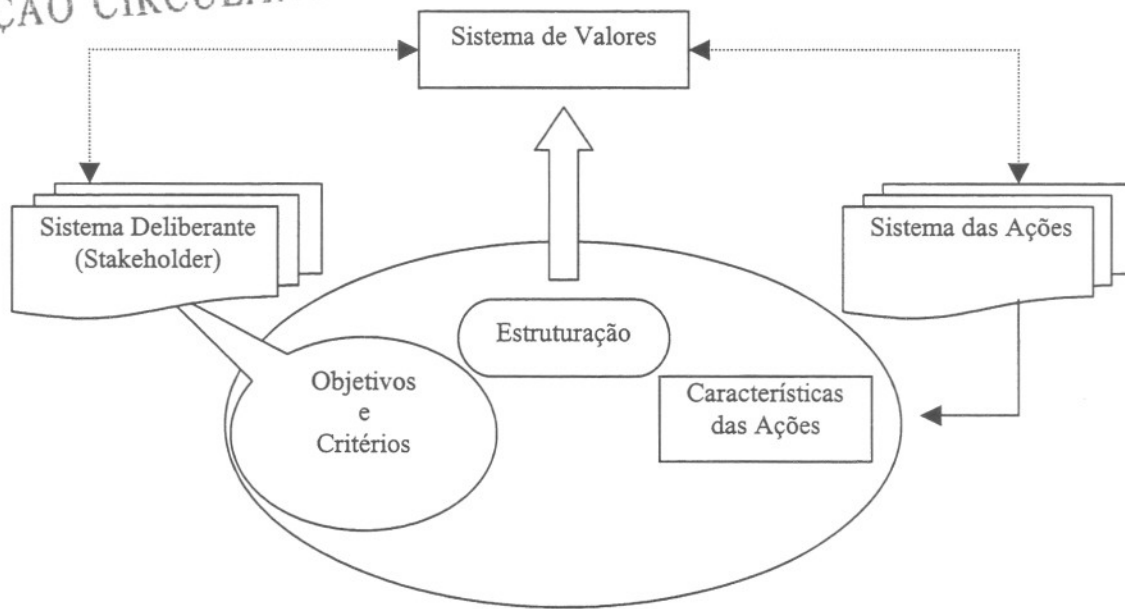


Figura 8 - Processo de decisão.

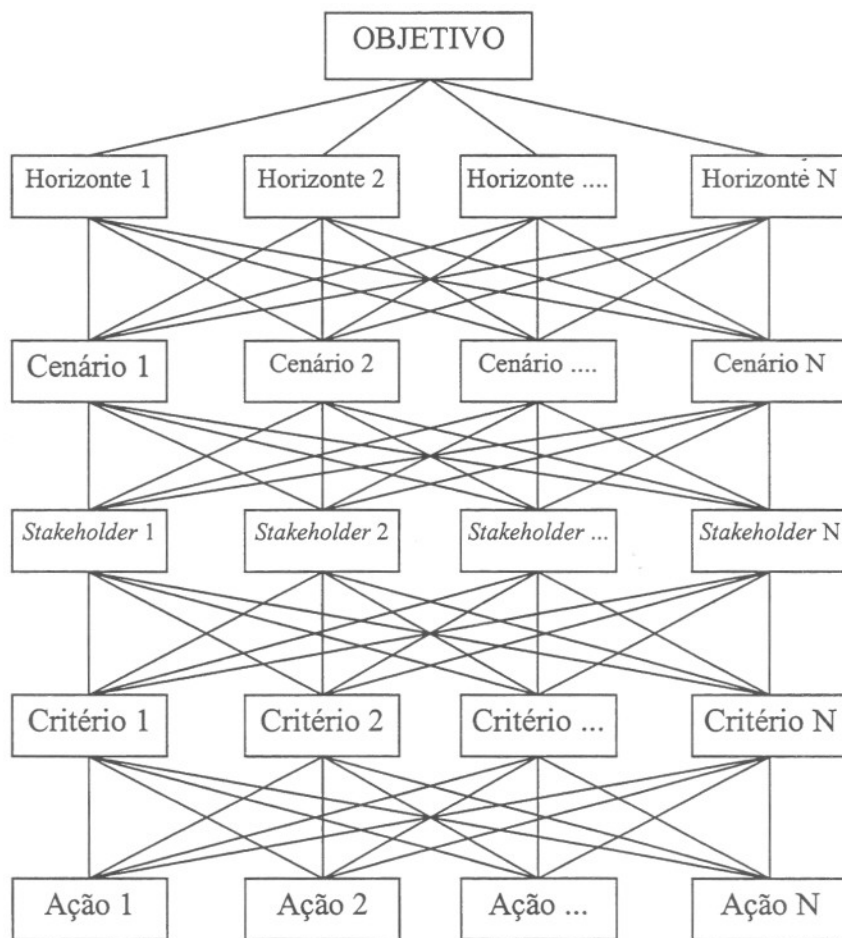


Figura 9 - Estrutura hierárquica genérica

A estrutura hierárquica genérica representada na Figura 9 exemplifica um problema extremo onde a decisão a ser tomada depende do grau em que cada alternativa possível satisfaz os critérios de avaliação dos *stakeholders*, da importância de cada *stakeholder* para os cenários previstos, da probabilidade de ocorrência de cada cenário para os diferentes horizontes projetados e do tipo de estratégia de planejamento adotado para atingir o objetivo alvejado.

Com a estrutura hierárquica podemos reduzir a complexidade do problema de decisão através da visualização de seus elementos constituintes a fim de facilitar o passo seguinte da decisão que é determinar a importância das questões consideradas.

3.5.4 Julgamento

O julgamento no método AHP baseia-se na comparação par-a-par dos elementos da estrutura e na atribuição de pesos a esses elementos segundo uma escala absoluta ou relativa de valores. Portanto para compreender o processo de julgamento do método AHP é necessário entender as matrizes de comparação paritárias e os tipos de escala de comparação.

Cada nível x da hierarquia com n elementos, demanda até m matrizes $n \times n$, onde m é o número de elementos do nível $x-1$, superior ao nível x . Na matriz de comparações paritárias para cada elemento do nível x há uma linha e uma coluna.

A razão de haver até m matrizes é que os elementos da base da matriz devem ser julgados segundo cada um dos m critérios ou sub-critérios dominantes que estão no nível superior para termos uma estrutura completa. Nos demais níveis os elementos só são julgados em relação aos elementos do nível superior que os influencia.

Respeitado o axioma 1 a matriz de comparações paritárias deve ter o seguinte formato:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{12} & \vdots & \ddots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1j}} & \dots & \frac{1}{a_{ij}} & 1 & \dots & \vdots \\ a_{1j} & \vdots & a_{ij} & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{in}} & \dots & \frac{1}{a_{in}} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

E seus elementos atendem às seguintes condições:

$$a_{ij} > 0 \quad (1)$$

$$a_{ij} = 1 \quad \therefore \quad i = j \quad (2)$$

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3)$$

$$a_{jk} = \frac{a_{ik}}{a_{ij}} \quad (4)$$

Dado um conjunto de elementos comparáveis A_1, \dots, A_n , de um determinado nível da estrutura hierárquica, monta-se uma matriz de comparação como exemplificado na Tabela 8.

Tabela 8 - Exemplo de matriz de comparações paritárias

Critério M	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
A1	1,00	3	3	3	5	5	2	3	1
A2	0,33	1,00	1	1	3	2	0,50	1	0,33
A3	0,33	1,00	1,00	0,20	5	1	0,50	3	0,20
A4	0,33	1,00	5,00	1,00	5	3	1	2	0,33
A5	0,20	0,33	0,20	0,20	1,00	0,50	0,20	0,33	0,20
A6	0,20	0,50	1,00	0,33	2,00	1,00	0,33	0,33	0,20
A7	0,50	2,00	2,00	1,00	5,00	3,00	1,00	2	0,33
A8	0,33	1,00	0,33	0,50	3,00	3,00	0,50	1,00	0,25
A9	1,00	3,00	5,00	3,00	5,00	5,00	3,00	4,00	1,00

Nesse exemplo são apresentados apenas nove elementos, porque matrizes maiores são mais sensíveis aos problemas de inconsistência e ultrapassam os limites psicológicos da mente humana. Para lidar com problemas muito complexos, que envolvem muitos critérios e sub-critérios, o procedimento é criar subgrupos homogêneos com até nove elementos para realizar as comparações (Saaty, 1990).

Através de um processo interativo entre Analista e Deliberantes, cada elemento a_{ij} da matriz é preenchido conforme o grau de preferência do elemento A_i sobre o elemento A_j declarado pelo agente deliberante. Esta preferência é expressa através de uma escala de valores relativos, presente na Tabela 9, ou por valores absolutos que representam as características observadas diretamente do sistema de ações. Os valores da matriz de comparações paritárias subentendem os pesos w_i e w_j dos elementos A_i e A_j através da relação $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$. Quando w for estimado com precisão a matriz de comparações é consistente.

Tabela 9 - A escala fundamental

Intensidade ou importância em escala absoluta	Definições	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
5	Forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extrema importância	O evidente favorecimento de uma atividade em relação à outra é a mais alta ordem de afirmação possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos adjacentes	
Recíprocos	Se a atividade i assumir um dos valores acima apresentados quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando for comparado com a atividade i	
Racionais	Taxas resultantes da escala	Se a consistência precisar ser forçada pela obtenção de n valores numéricos distribuídos na matriz

Extraído de Saaty (1990)

Observando as propriedades (2) e (3) da matriz de comparações paritárias, vemos que o número de julgamentos necessários para preencher uma matriz $n \times n$ é igual a $n(n-1)/2$. Por outro lado, pode-se concluir a partir da propriedade (4) que ao estabelecermos os primeiros $n-1$ julgamentos da primeira linha da matriz podemos deduzir todos os demais de maneira exata e consistente.

No entanto o AHP é um método de análise que considera e julga múltiplos critérios baseando-se na ótica subjetiva e naturalmente inconsistente de seres humanos, e em dados concretos obtidos do mundo real através de medições inexatas.

Voltando para o exemplo, vemos que os agentes deliberantes julgam, na primeira linha da matriz, que A_1 tem uma forte importância sobre A_3 e A_4 . Mais tarde os mesmos deliberantes declaram que A_4 tem uma forte importância sobre A_3 , o que segundo a propriedade (4) é ilógico.

O poder do método está em simplificar o trabalho da mente, através da ponderação de pares de elementos (Saaty,1990).

Mas ao julgarmos dois elementos apenas, através de uma escala limitada a 9 graus de conceitos subjetivos de importância, preferência ou probabilidade, estreitamos nossa visão da realidade e nos concentramos em uma fração do problema, desconsiderando a influência do conjunto.

Esta é a característica mais interessante do método porque ele reconhece, ao longo do processo, os erros da análise específica e aprende com eles. Ao estabelecermos a importância dos elementos A_2 à A_9 em relação a A_1 na primeira linha da matriz, estaremos fazendo apenas uma primeira abordagem do problema, uma espécie de reconhecimento.

É com o preenchimento dos demais campos da matriz de comparações paritárias que os deliberantes são convidados a reavaliar suas posições, ampliando sua visão do problema e compreendendo-o melhor.

A presença de inconsistência nos julgamentos não significa uma falha do método, pelo contrário, ela é perfeitamente normal e útil, contanto que esteja sob controle.

Examinando melhor a questão da inconsistência, baseado na teoria de autovalores e autovetores a matriz de comparações paritárias pode ser expressa da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & & w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & \dots & w_n \\ w_1 & & w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

A solução do problema acima ($A \cdot w = n \cdot w$) é chamada de autovetor principal direito, onde w é o autovetor que procura representar, na medida do possível, a opinião dos deliberantes e n é o autovalor principal quando a matriz A for consistente.

Mas como sabemos A não é consistente e neste caso recaímos no problema $A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$ onde λ_{\max} é o autovalor principal da matriz inconsistente segundo a teoria da perturbação (Wilkinson, 1965).

Como foi demonstrado por Saaty (1990), os desvios dos julgamentos dos deliberantes podem ser mensurados através da diferença entre λ_{\max} e n .

O controle da inconsistência é feito através do grau de consistência (RC) que é a razão entre o índice de consistência (IC) obtido pela equação (5) e o índice de consistência randômico (IR) que emprega a mesma equação.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

O índice de consistência randômico (IR) é a média dos ICs calculados para um conjunto grande de matrizes, semelhantes às matrizes de comparações paritárias, preenchidas aleatoriamente com os valores da Tabela 9.

Cada vez que a matriz de comparações paritárias for preenchida após a interação entre analista e deliberante em cada nível da estrutura hierárquica, calcula-se o grau de consistência (RC). Se RC for menor ou igual a 10% considera-se a inconsistência aceitável. Este limite foi estabelecido por Vargas (1982) apud (Saaty, 1990), através de um estudo sobre coeficientes aleatórios em matrizes.

Caso o grau de consistência seja superior ao aceitável, a matriz deve ser verificada pelos analistas e deliberantes a fim de reduzir a inconsistência através da discussão e reavaliação.

Quando dispomos de indicadores quantitativos, podemos deduzir o vetor w de uma forma mais direta, como foi feito por Bard (1986). Nesse trabalho como o problema possui um conjunto grande de alternativas com dados quantitativos, a estrutura hierárquica é alimentada automaticamente com estes dados, dispensando o uso da matriz de comparações paritárias para definir o vetor de prioridades neste caso.

Assim como Bard (1986) simplificou o trabalho computacional do método AHP através da utilização de dados quantitativos, Lopes et al. (1998) e Monlevecchi et al. (1998) também usaram esse recurso.

Apesar de não demonstrar como os dados são aplicados, Monlevecchi et al. (1998) menciona que a conversão dos valores numéricos para a escala discreta do método AHP não é necessariamente proporcional.

O programa *Expert Choice Professional 9.0* (Expert Choice, 1998) aceita dados quantitativos como elementos de distinção das alternativas, mas também não explica a forma de conversão adotada. As realizações de alguns testes mostram que aparentemente o programa simplesmente normaliza os dados numéricos, obtidos sob um critério quantitativo, para estabelecer a ordem de classificação das alternativas (vetor w). Mas como já foi dito, talvez este não seja o melhor procedimento.

3.5.5 Síntese dos julgamentos

Concluído o processo de discussão entre analistas e deliberantes, quando todas as matrizes de comparações paritárias estão completas e razoavelmente consistentes, passa-se à etapa final do método estabelecendo a prioridade das alternativas.

Durante o julgamento, para cada nível da estrutura hierárquica, obtemos implicitamente um vetor de prioridades local. O objetivo neste momento é revelar esses vetores de prioridades locais e transmitir suas informações para os níveis mais baixos da hierarquia onde estão as alternativas e obter um vetor de prioridades global.

Segundo Saaty (1990), para evitar as dificuldades do cálculo exato através da teoria de autovetores e autovalores é usual a adoção de algumas abordagens aproximadas. Algumas dessas abordagens são apresentadas em Saaty (1991).

Todos os métodos alternativos para o cálculo dos autovetores apresentam o mesmo resultado quando há consistência na matriz. Mas quando isto não ocorre, as respostas começam a divergir a medida que a ordem das matrizes de comparações paritárias cresce.

O método das colunas normalizadas é apontado por Saaty (1991) como a aproximação mais razoável da realidade, como pode ser confirmado nos experimentos realizados por Schmidt, A. (1995).

Além dos problemas para a determinação dos pesos das alternativas devido à inconsistência de medidas e julgamentos, na fase de síntese do método AHP, deve-se levar em conta a natureza da decisão e a sua sensibilidade.

Em um processo de decisão, duas situações podem ser identificadas: a classificação e a seleção. A primeira estabelece uma ordem baseando-se em uma qualidade ou característica e a segunda destaca o grau de qualidade ou característica mais desejado.

Essas situações distintas influenciam o método AHP na fase final de síntese das prioridades globais, durante o cálculo do vetor prioridade das alternativas, que podem ser feitos segundo o método Ideal ou Distributivo (Expert Choice, 1998).

O método Ideal é aplicado quando queremos realizar uma única escolha e temos uma situação na qual é difícil distinguir a melhor alternativa dentre o conjunto de alternativas competidoras, porque existem semelhanças demais entre elas.

Para resolver essa questão o método procura aumentar o contraste entre as alternativas, cuja importância é diluída no método Distributivo. Para a definição do vetor de prioridades, segundo o método Ideal, os pesos são distribuídos da seguinte forma: a alternativa melhor avaliada recebe um peso numericamente igual ao peso do critério que está sendo considerado no momento e as demais alternativas recebem pesos proporcionais ao da melhor alternativa. Dessa forma consegue-se evidenciar as pequenas diferenças existentes entre alternativas competidoras.

Quanto ao método Distributivo, ele é aplicado em situações em que se deseja conhecer a importância relativa das alternativas na avaliação global. Os pesos dos critérios são distribuídos entre as alternativas, de forma que a soma de todos os pesos seja igual a um.

Uma questão interessante que surge no processo de síntese, quando as alternativas são interdependentes, é o efeito da reversão da classificação que ocorre ao se introduzir ou suprimir uma alternativa. Esse efeito tem sido uma das críticas ao método AHP e para lidar com esse problema a solução apresentada foi o método AHP multiplicativo (Saaty, 1990). Hoje a reversão, é considerada legítima por alguns especialistas (Expert Choice, 1998) e justificada pelos conceitos de escassez, abundância, valor e satisfação (Saaty, 1990).

A razão do efeito da reversão é que certas alternativas podem perder ou ganhar importância diante dos agentes deliberantes se as condições do problema forem alteradas com o surgimento de novas opções em sistemas fechados.

Segundo Saaty (1990) quando lidamos com medidas absolutas, “valor e necessidade são idênticos e quanto maior o valor, melhor o atendimento às necessidades”. Mas em julgamentos

relativos o valor é medido através da satisfação, e a abundância de um valor poderá ou não produzir maior satisfação.

O método Distributivo assume que novas alternativas podem afetar a classificação das antigas, devido à mudanças no número ou no peso relativo das alternativas, como ocorre no problema de alocação de recursos e planejamento.

Já o objetivo do método Ideal, segundo Saaty (1995), é a escolha da melhor opção ou alternativa ideal, não admitindo mais de uma possibilidade. Nesse método novas alternativas são comparadas, apenas com a alternativa ideal, não acarretando assim uma perturbação da classificação anterior.

Existe ainda uma terceira forma para estabelecer a hierarquia das alternativas. O método Absoluto apresentado em Saaty (1990) e Saaty (1995), difere dos métodos Ideal e Distributivo não só no cálculo dos pesos globais, mas também na forma de utilização da estrutura hierárquica.

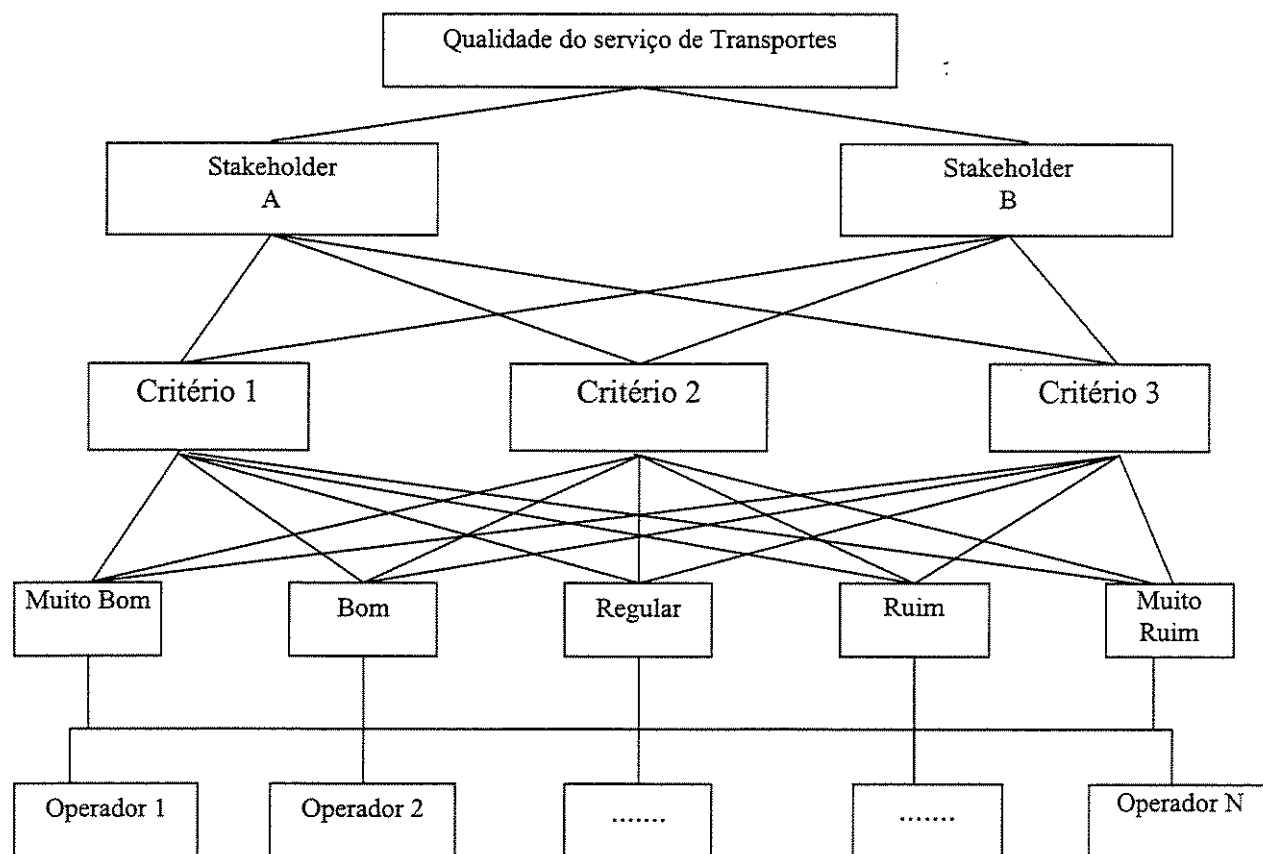


Figura 10 - Estrutura do método absoluto.

Esse método é indicado para a avaliação de numerosos elementos segundo uma escala subjetiva. Nele cada alternativa (ou elemento) é avaliada separadamente, em todos os critérios, através de uma escala de intensidade, do tipo: excelente, muito bom, bom, regular, ruim, muito ruim, péssimo, etc.

Para isto é preciso estabelecer a hierarquia dos graus dessa escala empregando uma estrutura semelhante à representada pela Figura 10, onde é incluído um nível com objetivo de representar a escala de avaliação.

Esse método é flexível o suficiente para permitir que os elementos do nível de intensidades possam variar de critério para critério, possibilitando a adoção de uma escala que tenha um significado especial para cada um deles.

3.6 Benchmarking

3.6.1 Conceito

O termo *benchmarking* define um processo contínuo e sistemático de avaliação de produtos, serviços, práticas e processos de trabalho de uma organização. Essa avaliação é feita comparando-se o desempenho de uma empresa com o de seus competidores ou empresas reconhecidas como líderes na indústria (*benchmarks*). A finalidade do *benchmarking* é melhorar a performance organizacional através de um melhor conhecimento de seu ambiente interno e externo.

Tendo em vista um mercado competitivo e que está sempre em evolução, verifica-se que o *benchmarking* deve ser contínuo. A periodicidade do benchmarking é necessária porque as diversas dimensões dos negócios tais como serviços, produtos e os processos produtivos são dependentes do desenvolvimento tecnológico e das mudanças dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado (Camp, 1989).

Como as características de uma atividade econômica podem ser quantificadas ou avaliadas qualitativamente através de indicadores, surge a necessidade da busca de um padrão de referência, o qual pode ser determinado de várias formas, segundo o objetivo e o objeto da análise.

Camp (1989) define os objetivos do benchmarking como sendo:

- busca dos padrões requeridos pelos clientes, apontando-os como metas a serem alcançadas;
- identificação das melhores práticas e processos eficazes;
- localização dos fatores responsáveis pelos maiores custos;
- realização de medidas de produtividade mais realistas;
- ajuda a definir estratégias; e
- ferramenta para o incremento de qualidade.

Ou seja, o *benchmarking* auxilia a administração do desempenho, comunicando objetivos e reconhecendo caminhos (Zairi, 1994).

3.6.2 Tipos de Benchmarking

Existem quatro tipos de benchmarking, e cada um deles é adequado para um tipo específico de situação, (Zairi, 1994).

O primeiro chamado de Competitivo, consiste na confrontação de produtos, serviços ou processos de uma empresa com seus competidores, buscando as inovações e estratégias de mercado bem sucedidas. Este tipo de avaliação é difícil devido à dificuldade de acesso às informações sobre a concorrência.

O segundo chamado de Funcional, é a avaliação de uma determinada função ou papel de uma atividade econômica usando como parâmetros as funções similares de diversas empresas líderes, não necessariamente concorrentes. Por exemplo, Zairi (1994) cita em seu livro o caso da Rank Xerox que comparou seu sistema de distribuição e funções logísticas com as empresas

Volvo, 3M, Ford, IBM e Sainsbury's. Esse sistema de avaliação comparativa supera os problemas de obtenção de informações, porque empresas não competidoras são mais receptivas às idéias de cooperação e troca de experiências.

O terceiro chamado de Interno ou Operação Interna, é utilizado em grandes organizações que possuem várias unidades similares, e que podem ser comparadas, fornecendo importantes informações sobre a operação da organização. Para a aplicação do *benchmarking* Interno deve-se estar atento a dois problemas: o primeiro é a existência de diferenças culturais quando se trata de uma empresa que possui unidades em diferentes países, e o segundo problema é que as melhores práticas identificadas dentre os processos internos de uma organização podem estar aquém dos padrões do mercado.

Finalmente o quarto modelo, denominado *benchmarking* Genérico, é semelhante ao Funcional, com a diferença de que este tipo de avaliação comparativa não se limita ao estudo de apenas uma função, mas de vários processos ou funções com características semelhantes de diversas indústrias diferentes.

3.6.3 Processo

O processo de *benchmarking* é desempenhado em dois estágios chamados de Eficiência e Competitividade. A forma de aplicação desses estágios é semelhante e baseia-se no ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), (Zairi, 1994).

O estágio "Eficiência" é uma seqüência de sete passos:

1. entender os processos internos;
2. avaliar o desempenho atual de cada processo;
3. identificar pontos críticos e áreas que podem ser melhoradas;
4. implementar melhoras;
5. acompanhar as mudanças e avaliar os resultados;
6. definir normas e padrões; e
7. administrar todos os processos utilizando a abordagem PDCA.

O estágio Competitividade é composto por nove passos:

1. seleção dos processos que são usados para o *benchmarking*;
2. escolha cuidadosa dos padrões de referência (especial atenção deve ser dada nesse item porque os parceiros de *benchmarking* são fundamentais para a obtenção de bons resultados);
3. definir a estratégia de *benchmarking*;
4. comparar os padrões;
5. analisar as diferenças;
6. implementar as práticas relevantes para melhorar o desempenho;
7. verificar os resultados;
8. repetir o processo utilizando o PDCA; e,
9. aplicar o *benchmarking* em todos os processos.

Pode-se observar que a mensuração de indicadores e o método adequado de comparação e interpretação desses, são requisitos fundamentais para o funcionamento e evolução do processo.

3.7 Conclusões do capítulo

Como principais elementos desse capítulo temos a identificação dos métodos DEA e AHP como técnicas de análise de múltiplos fatores de entrada e saída adequados à questão da avaliação de desempenho do transporte ferroviário.

Em relação a essas duas técnicas é feito um levantamento bibliográfico, o mais amplo possível, a fim de abranger as principais questões teóricas, práticas e inovadoras sobre a aplicação dos métodos DEA e AHP

Como um dos elementos mais interessantes encontrados na literatura tem-se a possibilidade de associação dos métodos DEA e AHP, identificada por Tone (1989). Ambas as técnicas apresentam diversas aplicações em inúmeras áreas, inclusive em transportes. Contudo

poucos trabalhos aplicando conjuntamente DEA e AHP são encontrados apesar da vasta bibliografia consultada sobre os dois métodos.

No capítulo seguinte são descritos os processos de avaliação DEA, AHP e as formas de aplicação conjunta desses métodos.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

4. METODOLOGIA

4.1 Introdução

Neste capítulo, é explicada a forma de aplicação e comparação das técnicas DEA e AHP. Para isso, as principais atividades envolvidas em uma avaliação de desempenho usando tais técnicas são descritas e as formas de uso integrado dessas são analisadas.

A forma de aplicação do método DEA para avaliação de desempenho de indicadores é dividida em sete etapas:

- seleção das DMUs;
- definição do papel e objetivo das DMUs;
- aplicação piloto;
- escolha das variáveis;
- seleção do modelo DEA;
- resolução do modelo DEA; e
- interpretação dos resultados.

Quanto ao método AHP, é discutida a forma de aplicação da fase de Julgamento do método. Para essa fase é elaborado um questionário para a entrevista dos agentes deliberantes, a fim de levantar os pesos dos indicadores de desempenho presentes nas estruturas hierárquicas elaboradas para o benchmarking nacional e mundial.

Finalmente para o teste, modelagem e resolução são apresentados os programas utilizados durante a pesquisa e discutidas as formas de validação das análises.

4.2 Apresentação do método de desenvolvimento

O esquema apresentado na Figura 11 representa todo o conjunto de processos do método avaliação desempenho proposto nesta pesquisa. Cada um desses processos envolve uma ou mais atividades que são listadas na Tabela 10.

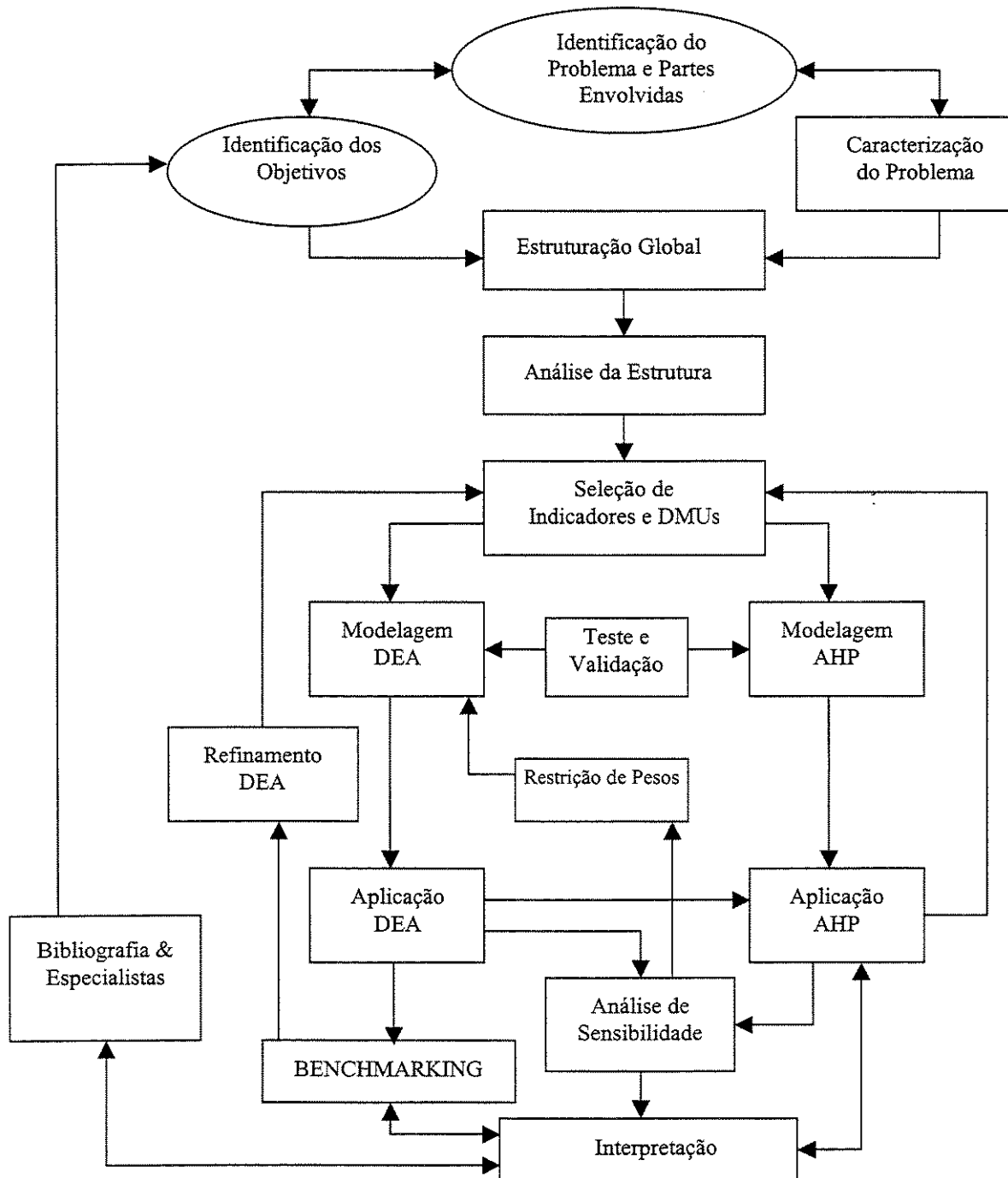


Figura 11 – Esquema metodológico

O método representado na Figura 11 inicia-se com a colocação do problema e análise de suas partes integrantes. Essas partes são os agentes deliberantes, com seus objetivos e valores e o sistema avaliado, com suas características mensuráveis. Essas partes devem ser entendidas e organizadas em uma estrutura global que estabeleça relações lógicas entre seus elementos. O objetivo da estrutura global é possibilitar a visualização da complexidade do problema adotado.

Para as etapas seguintes é necessária a seleção dos indicadores e DMUs que serão consideradas. O processo de seleção é um trabalho interativo onde a escolha de indicadores ou DMUs mais relevantes demanda o auxílio de aplicações prévias das técnicas DEA e AHP e do julgamento de alguns parâmetros estatísticos.

O processo de aplicação divide-se na execução dos métodos DEA e AHP. A partir da interpretação dos resultados obtidos com as duas técnicas, a análise de sensibilidade e a consulta a especialistas tem-se um conjunto de informações úteis para um refinamento dos modelos formulados e a avaliação de desempenho.

Tabela 10 - Processo de avaliação de desempenho

Seleção de indicadores e DMUs	Seleção de DMUs Definição do papel e objetivo das DMUs Aplicação piloto Escolha das variáveis
Modelagem DEA	Seleção do modelo DEA
Aplicação DEA	Resolução do modelo DEA
Modelagem AHP	Estruturação Planejamento da entrevista
Aplicação AHP	Entrevista Julgamento
Interpretação	Interpretação dos resultados DEA Fase de Síntese do método AHP Uso integrado DEA/AHP

4.3 Etapas do Método DEA

Na Figura 12 são representados os principais passos da aplicação do método DEA. Cada um desses passos será explicado mais adiante.

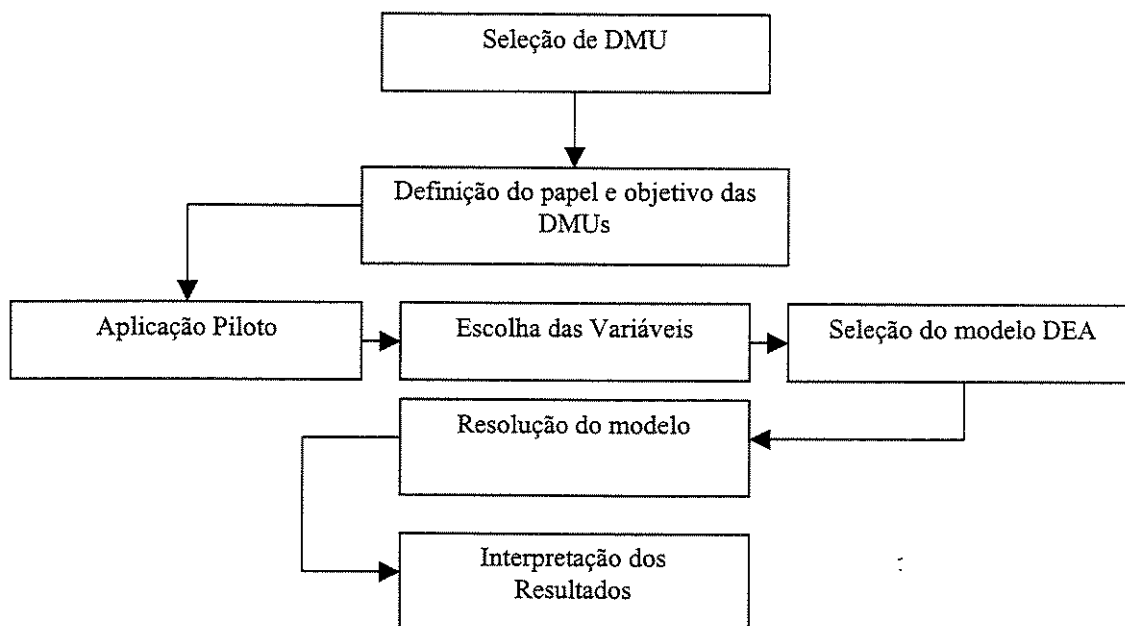


Figura 12 - Fluxograma de aplicação do método DEA

4.3.1 Seleção de DMUs

A seleção de DMUs considera três critérios: a homogeneidade, o tamanho do grupo de *benchmarking*, e as restrições que definem uma DMU.

A homogeneidade de atividades, objetivos e processos ou condições de mercado são necessárias para que as comparações tenham sentido. Em geral DMUs semelhantes apresentam o mesmo conjunto de *inputs* e *outputs*.

O tamanho do grupo de benchmarking influi de duas formas na análise DEA. Quanto maior o grupo, maior a chance de ele conter as DMUs de alto desempenho, mais nítidas são as relações entre *inputs* e *outputs* e maior é o número de fatores que podem ser considerados.

Contudo, a homogeneidade é menor e o risco da análise ser afetada por fatores exógenos irrelevantes cresce. A regra adotada na literatura é usar grupos duas ou três vezes maiores que o número de variáveis consideradas.

Quanto às restrições das DMUs é necessário considerar as restrições físicas e organizacionais que as definem. Também devem ser levadas em conta restrições temporais relacionadas com o período de mensuração dos fatores de desempenho, pois caso sejam muito longos podem encobrir variações importantes e se forem muito curtos podem ser influenciados pelas sazonalidades.

4.3.2 Definição do papel e do objetivo das DMUs

As definições dos papéis e dos objetivos das DMUs são necessárias para a escolha ou formulação dos indicadores de desempenho e posteriormente para a interpretação dos resultados da avaliação.

O papel de uma DMU é a sua função em um sistema produtivo, o que ela produz e para quem ela produz. Os objetivos das DMUs, portanto, derivam de seu papel. Com base nesses objetivos, pode-se identificar as variáveis relevantes a serem monitoradas e controladas.

4.3.3 Aplicação piloto

A fim de compreender melhor o funcionamento do método DEA em problemas com muitas DMUs é usual a realização de uma aplicação piloto que reúne uma amostra em torno de 20 unidades, que conforme a experiência de Norman e Stoker (1991) são suficientes para incluir DMUs ineficientes e eficientes e permitir a consideração de um número suficiente de fatores. Mas a definição da amostra deve ser tratada caso a caso, considerando as limitações do problema.

O método DEA é um processo iterativo que demanda várias aplicações das formulações DEA para diferentes grupos de DMUs e com diferentes combinações de variáveis a

fim de subsidiar a escolha do grupo de *benchmarking* e os indicadores de desempenho ideais para os objetivos da análise.

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL

4.3.4 Escolha das variáveis

SEÇÃO CIRCULANTE

A escolha das variáveis deve partir de uma lista ampla de todos os fatores quantitativos, qualitativos, controláveis ou não que evidenciem as relações de produção de um conjunto de DMUs. Esses fatores podem ser *outputs* que medem os resultados e os objetivos atingidos ou *inputs* que são fatores internos ou externos ao sistema que influem nos resultados obtidos.

Essa lista é reduzida ao longo de um processo de refinamento que identifica quais são os fatores que distinguem claramente o desempenho das DMUs seguindo os objetivos da análise. O processo de refinamento consiste de um exame crítico, uma análise quantitativa e uma análise DEA exploratória.

O exame crítico da lista de variáveis deve ser realizado em conjunto com um grupo de especialistas para responder as seguintes questões :

- As variáveis estão relacionadas com os objetivos da análise e das DMUs?
- As variáveis contribuem para os objetivos da análise?
- As variáveis são relevantes?
- As variáveis são redundantes?
- Os dados estão disponíveis e são confiáveis?
- As variáveis estão relacionadas?
- As variáveis são *inputs* ou *outputs*?
- São variáveis internas ou externas?
- São variáveis quantitativas ou qualitativas?
- A razão entre *outputs* e *inputs* mede custo eficiência ou custo eficácia?

Quando algumas das variáveis da lista selecionada não estiverem disponíveis para algumas DMUs, é possível agregar estas variáveis ou DMUs conforme o caso.

A análise quantitativa visa auxiliar a seleção e classificação das variáveis consideradas na avaliação de desempenho. Essa análise consiste no levantamento de parâmetros estatísticos dos dados numéricos associados a cada variável de desempenho considerada e a correlação entre elas.

O principal parâmetro medido é a correlação entre os fatores. O objetivo é classificar em *inputs* ou *outputs* e variáveis redundantes ou irrelevantes. Isto é feito através da construção e exame de uma matriz de correlação linear. Na matriz, pode-se identificar os fatores fortemente correlacionados e o tipo de correlação positiva ou negativa entre as variáveis. Esta última informação é importante porque se assume no método DEA que nenhum *output* pode ter correlação negativa com um *input*.

Para a classificação dos indicadores, é necessário escolher alguns fatores cujo papel de *input* ou *output* já foram definidos com segurança. O critério de classificação está expresso na Tabela 11.

Outros parâmetros estatísticos medidos são a média, o desvio padrão, erro padrão, moda, curtose, assimetria e nível de confiabilidade. Esses parâmetros ajudam a detectar erros no banco de dados como valores repetidos ou descontinuidades. Eles também auxiliam o controle da qualidade dos dados quando são feitas translações, mudanças de unidades, transformações de escalas ou normalizações para adequar os dados às análises.

Tabela 11 - Teste de correlação

<i>Output</i>	<i>Input</i>	Classificação provável da variável desconhecida
Forte	Fraca	<i>Input</i>
Forte	Forte	<i>Output</i> ou <i>Input</i> redundante
Fraca	Forte	<i>Output</i>
Fraca	Fraca	Fator independente

A última etapa do processo de refinamento da escolha de variáveis é a aplicação exploratória dos modelos DEA com os fatores remanescentes. O objetivo é localizar e eliminar os fatores que receberem pesos muito baixos na resolução dos modelos.

A justificativa para esse procedimento é que fatores com pesos muito baixo são irrelevantes para o desempenho das DMUs e o que se procura são fatores que permitam uma distinção clara. Para esta análise pode-se usar um dos modelos DEA, CCR ou BCC, sob a forma do problema dos multiplicadores. Como os pesos dependem da escala dos fatores é melhor normalizar os dados se houver uma diferença acentuada entre as grandezas das variáveis consideradas.

Para a aplicação do método recomenda-se a implementação do modelo em etapas seguindo a abordagem proposta por Norman e Stoker (1991), onde os indicadores são incorporados um a um, a fim de avaliar o impacto de cada um no índice de desempenho calculado através do método DEA. Mas como na aplicação piloto o objetivo é apenas analisar a variação dos pesos, pode-se resolver diretamente um modelo completo.

Não há uma regra que determina qual modelo DEA deve ser usado nesta etapa do processo, nesse trabalho são escolhidas as formulações CCR e BCC porque num estudo preliminar a precisão dos resultados não é essencial. Mas como é necessário definir qual modelo será usado nas análises posteriores, é aconselhável o desenvolvimento de todos os modelos a fim de testá-los e verificar a sua capacidade de distinguir DMUs diferentes.

4.3.5 Seleção do modelo DEA

O modelo DEA adequado ao problema tratado depende das características dos dados utilizados, da hipótese de rendimento de escala adotada, da orientação do modelo e do controle que os agentes deliberantes tem sobre as variáveis.

Entre a decisão de proceder uma análise de desempenho utilizando DEA e a efetiva aplicação de uma de suas formulações é necessário percorrer um dos caminhos ilustrados na Figura 13.

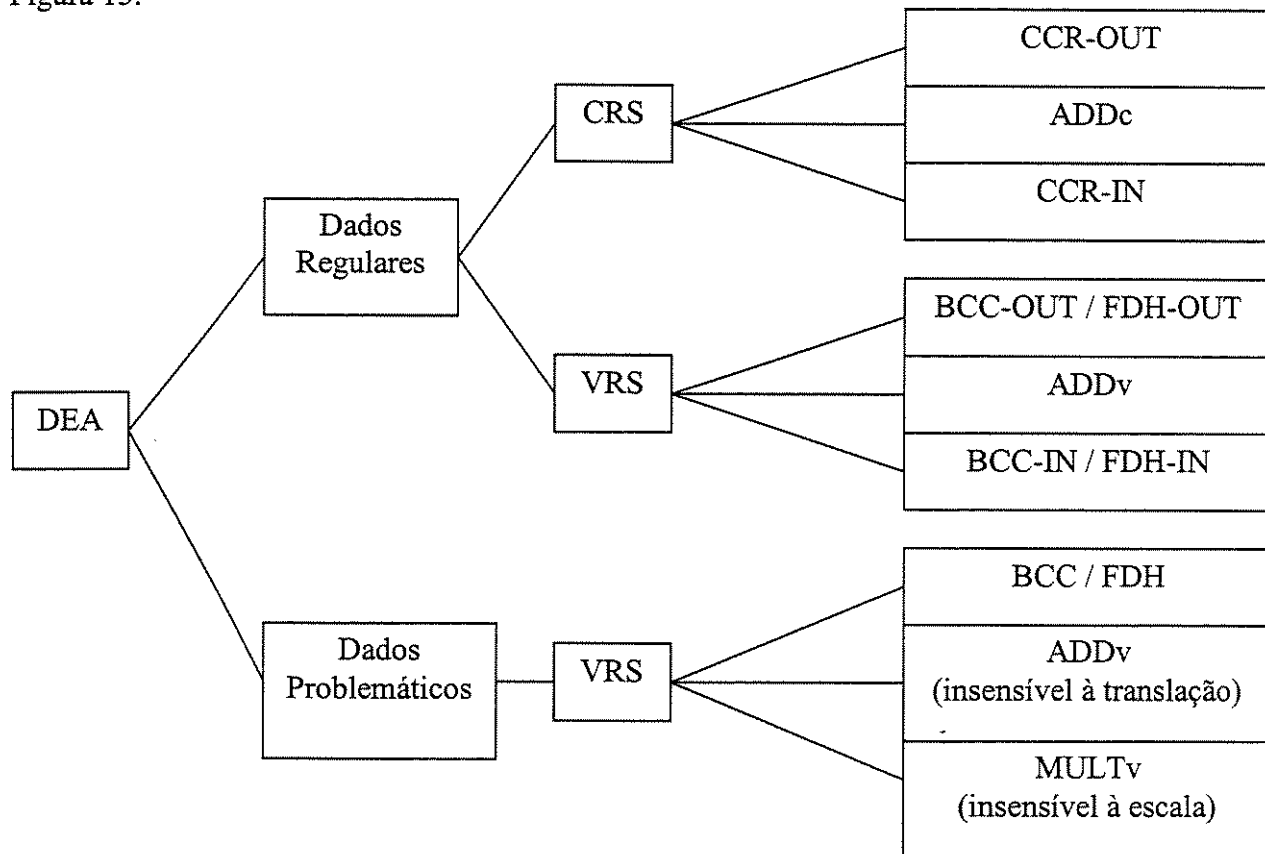


Figura 13 - Critério de seleção do modelo DEA.

Como pode ser observado na revisão bibliográfica, o DEA é um problema de programação linear cujas características podem causar uma instabilidade numérica devido às limitações computacionais. Uma das origens desse problema é a variação dos dados.

As características dos dados utilizados no método DEA são fundamentais para a escolha do modelo. Segundo essas características pode-se classificar os dados em dois tipos: dados regulares e dados problemáticos.

Os dados problemáticos são aqueles que apresentam valores negativos, nulos e uma grande variação de escala devido a diferenças das unidades de medidas das variáveis ou devido à diferença de porte entre as DMUs. Por outro lado, os dados regulares não apresentam nenhum

desses problemas, havendo um equilíbrio entre as DMUs e as variáveis, sendo todos os dados positivos e não nulos. De maneira geral, podemos dizer que DMUs homogêneas apresentam dados regulares e DMUs heterogêneas apresentam dados problemáticos.

Para lidarmos com dados negativos ou nulos é possível manipular os dados a fim de eliminar os valores nulos e negativos, sem alterar os resultados. Isto é possível porque, como foi demonstrado por Ali e Seiford (1990), o modelo Aditivo – VRS (ADDv) é indiferente à translação da fronteira de produção.

Como podemos considerar as mesmas propriedades do modelo Aditivo para o modelo Multiplicativo – VRS (MULTv) pode-se resolver o problema da amplitude das unidades das variáveis e da escala das DMUs, assim como a presença de dados negativos e nulos, através da manipulação dos valores das variáveis e suas unidades de medida. Isto é possível porque o MULTv trabalha no espaço logaritmo, o que o torna indiferente à escala das variáveis.

Conhecendo as características dos dados, o próximo passo é assumir um tipo de rendimento de escala. Esta é uma decisão do analista baseada no conhecimento do comportamento dos sistemas de produção empregados pelas DMUs analisadas. Porém se os dados disponíveis para a análise forem problemáticos, devido à necessidade de translação da fronteira a única opção é trabalhar com modelos que lidem com rendimentos de escala variáveis.

Finalmente, para a escolha do modelo DEA, resta definir qual a orientação do modelo e quais as variáveis estão sob controle dos agentes deliberantes. Estas informações são necessárias porque elas determinam qual o foco das oportunidades ou metas de desempenho apontadas pelo método DEA.

Se os agentes deliberantes derem prioridade, por exemplo, à redução de custos, os modelos *input* orientados são mais adequados. Se o enfoque for a maximização dos resultados usa-se um modelo *output* orientado. Mas se houver interesse em identificar todos as oportunidades de melhora, a escolha recai sobre os modelos Aditivos ou Multiplicativos.

As informações apresentadas até o momento são suficientes para a escolha da formulação DEA adequada para o problema em questão. Mas, para cada caso particular deverá ser ponderado o grau de controle que os agentes deliberantes possuem sobre as variáveis, a fim de proceder determinados ajustes na função objetivo e nas restrições do modelo DEA adotado, permitindo uma maior precisão dos resultados, conforme exemplificado em Charnes et al. (1994).

4.3.6 Resolução do modelo DEA

Concluída as etapas de seleção das DMUs, variáveis de entrada e saída e escolha da formulação DEA passa-se à resolução dos modelos. Recomenda-se o uso da abordagem *stepwise* proposta por Norman e Stoker (1991) que é comentada na aplicação piloto, só que desta vez é usado apenas o modelo DEA escolhido para a mostra completa de DMUs.

Enquanto a aplicação piloto procura esclarecer o comportamento geral das formulações DEA e identificar previamente todas as DMUs que atingem a fronteira de produção, a resolução do modelo DEA selecionado deve definir: o grupo de *benchmarks*, os pesos dos indicadores de desempenho e todos os demais parâmetros que servem para subsidiar as decisões no campo prático.

A resolução do modelo DEA também inclui as atividades de translação da fronteira de produção para adequar os dados e o dimensionamento do número não-arquimediano para melhorar a estabilidade numérica do modelo.

4.3.7 Interpretação dos Resultados

Para a interpretação dos resultados dos modelos DEA é preciso considerar alguns elementos. Primeiro, nem todas as DMUs que atingem a fronteira devem ser consideradas como *benchmarks*. Elas podem estar na fronteira simplesmente porque são os pontos extremos dela.

Segundo, os índices ϕ e θ são apenas uma medida grosseira de eficiência. Para avaliar o desempenho de uma DMU, deve-se levar em conta além destes fatores, as variáveis de folga e excesso e o número de vezes que a DMU é considerada *benchmark* ou seja $\lambda \neq 0$. O fator λ indica a posição na fronteira de produção da projeção da DMU ineficiente. Uma DMU que é considerada *benchmark* várias vezes pode não ser um bom *benchmark* se os valores de λ forem baixos.

Finalmente, para a análise das DMUs deve-se comparar o desempenho DEA com as estatísticas parciais ou outros métodos a fim de identificar os padrões de desempenho e as características de cada DMU e seus respectivos *benchmarks*.

Algumas análises recomendadas para a interpretação do método DEA são:

- a) Análise da variação da classificação e do índice de desempenho das DMUs ao longo do processo *stepwise*. Nessa análise, recomenda-se medir a correlação linear dos indicadores DEA com cada um dos fatores considerados na análise e com as taxas de produtividade parciais, em cada etapa do processo.
- b) Classificação das DMUs em grupos de:
 - Eficiência Robusta – que reúne DMUs eficientes que sempre aparecem na fronteira de produção;
 - Eficiência Marginal – que reúne DMUs eficientes que atingem a fronteira uma ou duas vezes e que podem tornar-se ineficientes se houver uma pequena queda em seu desempenho;
 - Ineficiência Marginal – que reúne DMUs ineficientes com índices entre 0,9 e 1,0 e que podem tornar-se eficientes se houver uma pequena melhora em seu desempenho; e
 - Ineficiência Distinta - que reúne as DMUs com índices inferiores a 0,9 e que dificilmente alcançarão a fronteira em curto prazo. Segundo Norman e Stoker (1991), DMUs com índices inferiores a 0,75 não alcançarão a fronteira a menos que haja uma mudança drástica de condições.

- c) Comparação dos resultados com outros métodos como taxas parciais de produtividade, regressão múltipla, *Translog*, AHP, etc. Essas comparações são importantes para esclarecer a mecânica do método DEA através da analogia com métodos mais intuitivos e conhecidos. As comparações devem ser representadas graficamente e medida a correlação ordinal dos resultados.
- d) Análise da composição percentual de *inputs* e *outputs*, para avaliar o equilíbrio entre diferentes insumos e produtos. Para essa análise, utiliza-se um sistema de coordenadas normalizadas para permitir, por exemplo, o cálculo da participação percentual de um insumo em relação ao total de insumos utilizados por uma determinada DMU. A representação destas informações pode ser feita graficamente ou em uma tabela. Esse tipo de análise facilita a comparação de DMUs e formação de grupos com composições de insumos e produtos parecidos.
- e) Análise particular de cada DMU comparando seus indicadores de desempenho com os seus *benchmarks* ou outras DMUs semelhantes. A forma de representação destas comparações pode ser feita por gráfico de barras.
- f) Análise da variação dos resultados DEA ao longo do tempo essa análise pode ser feita, através da comparação simples da evolução de uma única DMU, mediante seu desempenho em relação ao grupo a cada período, ou através da técnica *window analysis*, avaliando o desempenho da DMU atual em relação ao desempenho dessa em todos os períodos anteriores. Outra forma é o acompanhamento da evolução do grupo de benchmarking de um período para o outro conforme exemplificado na Figura 14. Nela são comparados os *rankings* de um grupo de DMUs em dois períodos de tempo. Os pontos que estiverem abaixo da linha pontilhada apresentam uma melhora no ranking e a linha contínua representa a evolução média do grupo de DMUs.

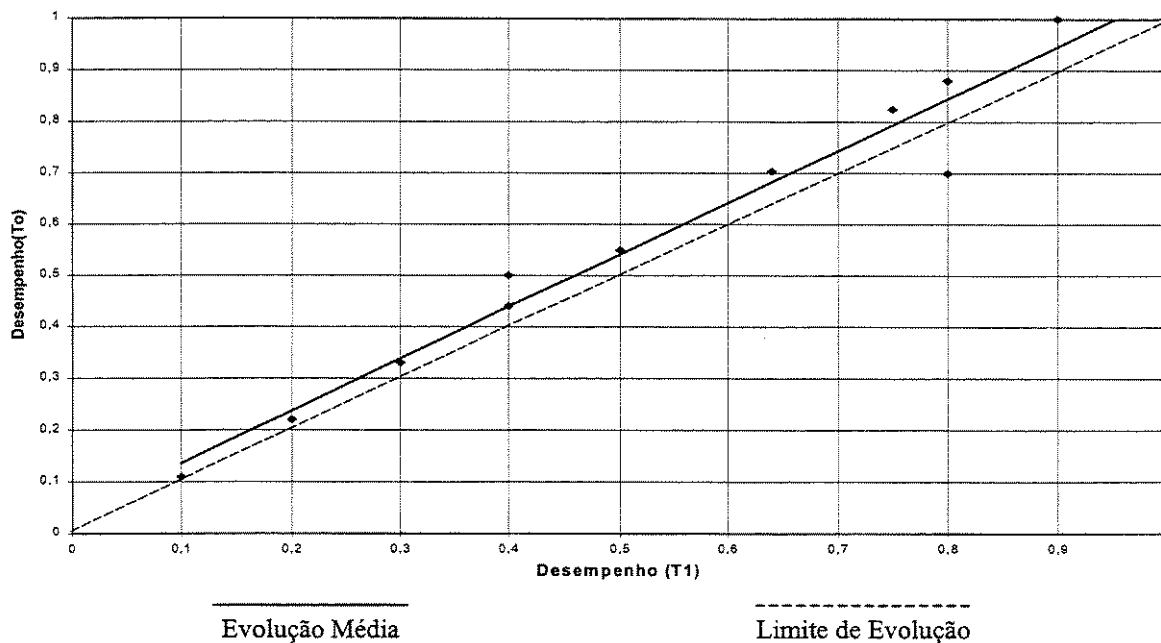


Figura 14 - Evolução do grupo de benchmarking

- g) Análise da eficiência de escala através do cálculo da razão entre os índices de eficiência CCR e BCC e posteriores correlações desses fatores com os níveis de produção. Para representar os resultados dessa análise usa-se um gráfico medindo o nível de output na abscissa e o índice de eficiência de escala na ordenada.
- h) Análise dos índices $\lambda(s)$ que indicam o grau de proximidade entre uma DMU eficiente e as projeções das DMUs ineficientes na fronteira. Essa análise pode ser auxiliada pelo cálculo do índice de participação das DMUs eficientes, como *benchmarks*. Segundo Novaes e Constantino (1999) esse índice é a soma de todos os $\lambda \neq 0$ relacionados com uma determinada DMU indicada como eficiente pelo grupo de benchmarking.

4.4 Etapas do método AHP

De maneira geral as etapas do método AHP são:

- a estruturação do problema que envolve a definição de objetivos, identificação dos elementos avaliados, definição de critérios, definição dos agentes deliberantes, cenários e horizontes de planejamentos;
- julgamento, que envolve a escolha da forma de análise (discussão em grupo ou questionário), o julgamento propriamente dito, o cálculo da consistência das respostas e a revisão dos julgamentos; e
- a fase de síntese, que após a escolha do método de síntese, passa-se à classificação dos elementos avaliados e à análise de sensibilidade.

Como toda a base conceitual necessária para a aplicação das etapas citadas é tratada na revisão bibliográfica, aqui é dada maior ênfase à metodologia de pesquisa de campo.

O objetivo da pesquisa de campo é reunir, se possível, o grupo de agentes deliberantes envolvidos no problema analisado a fim de proceder ao julgamento dos elementos constituintes da estrutura hierárquica de decisão ou avaliação. Aconselha-se que os agentes deliberantes consultados também tenham participado da fase de estruturação, mas isto não é estritamente necessário.

A melhor forma de análise e julgamento da estrutura é a discussão em grupo porque proporciona uma troca de experiências entre os agentes deliberantes, possibilitando o aprimoramento das opiniões individuais e uma análise mais ampla. Porém, discussões em grupo são mais demoradas e podem ser distorcidas caso os agentes deliberantes de personalidades mais fortes imponham suas opiniões. Para evitar esse problema é necessária uma cuidadosa mediação.

Outra forma para o desenvolvimento da análise é o emprego de questionários. Esse método dispensa a reunião dos agentes deliberantes, sendo esses entrevistados um a um, o que possibilita a livre expressão de cada um deles. O questionário ainda tem a vantagem de ser

facilmente entendido pelos entrevistados, mesmo que tenha pouca familiaridade com o método, facilitando a comunicação entre analista e agente deliberante.

A desvantagem do questionário é que não é aproveitada a capacidade de análise que só um grupo possui. Outro problema é a síntese dos questionários, que pode ser feita através da média geométrica das matrizes de comparações paritárias (Seiford e Zhu, 1998) ou através da própria estrutura hierárquica AHP.

Quando houver muitos agentes deliberantes a serem considerados e não for possível reuni-los em um grupo de discussão, a fim de obter um consenso, pode-se criar um novo nível hierárquico com os agentes deliberantes, como apresentado na Figura 15.

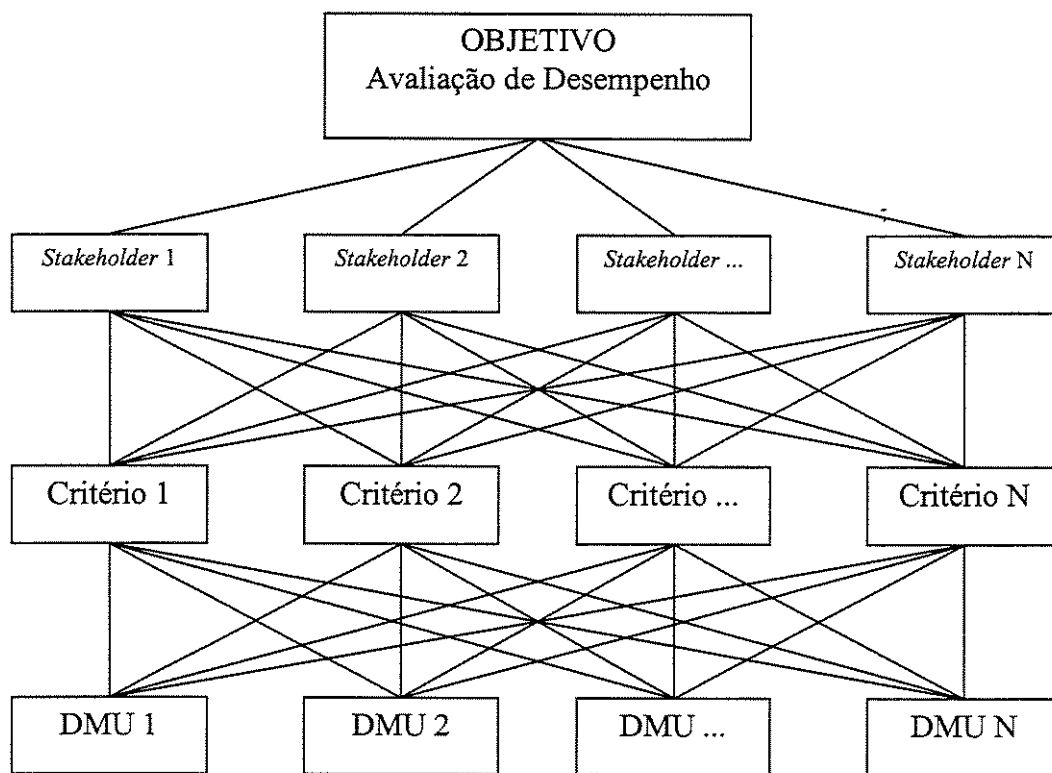


Figura 15 – Estrutura hierárquica para diferentes grupos de agentes deliberantes.

Dessa forma, os resultados dos questionários, respondidos individualmente pelos agentes deliberantes, são considerados segundo o processo normal de síntese do AHP. Nessa estrutura, os

agentes deliberantes podem ser todos distinguidos conforme a importância de suas opiniões, o que não é possível com a média geométrica.

Terminadas as atividades de discussão ou resposta dos questionários, é necessária a verificação da consistência das respostas. Para obter melhores resultados é aconselhável verificar a consistência das respostas simultaneamente às entrevistas e aproveitar a presença do grupo de discussão ou entrevistados, para solicitar a revisão das questões inconsistentes.

Essa solução somente é possível quando o cálculo do índice de consistência é feito simultaneamente com a discussão. Mas para isso é necessária a disponibilidade de um programa auxiliando o analista durante as entrevistas.

Caso não seja possível dispor de tal recurso a verificação dos resultados é postergada e caso as inconsistências estejam acima do tolerável, o analista pode efetuar certos ajustes a fim de reduzir as inconsistências das respostas, que geralmente ocorrem em virtude da limitação da escala proposta por Saaty para representar o julgamento dos agentes deliberantes e da pouca familiaridade destes com o método AHP.

Através da análise das matrizes de comparações paritárias, pode-se identificar os elementos mais inconsistentes e realizar pequenos ajustes, considerando a idéia central expressa pelos agentes deliberantes, que melhoram a consistência das respostas sem alterar significativamente os resultados globais devido à robustez do método AHP.

Concluída a fase de julgamento passa-se à síntese e classificação dos elementos avaliados conforme exemplificado na revisão bibliográfica.

4.5 Uso integrado dos métodos DEA e AHP

Nessa pesquisa são identificadas três formas de associação dos métodos DEA e AHP. Essas formas são: o uso do DEA para reduzir o número de alternativas a serem analisadas pelo método AHP; uso do DEA para o cálculo dos valores de prioridades do AHP durante o

juízo das alternativas; e uso das matrizes de comparações paritárias do método AHP para estabelecer restrições aos modelos DEA.

A primeira forma de associação nada mais é do que uma avaliação global do grupo de *benchmarking* visando identificar subgrupos de DMUs afins, para serem analisadas localmente. Essa técnica é útil quando o objetivo da avaliação é acompanhar o desempenho de determinadas DMUs mas sem restringir-se a padrões locais de desempenho que viciam as conclusões das análises. Em vista disso, a avaliação global DEA deve reunir o maior número possível de DMUs, a fim de capturar os exemplos de melhor desempenho. Infelizmente, para uma avaliação com um número grande de DMUs pode ser difícil medir todas as variáveis desejadas para uma análise ampla, sendo portanto necessário o uso de indicadores que agregam o maior número possível de informações.

Feita a avaliação global usa-se os resultados obtidos para complementar a análise local, que dessa vez pode incluir todas as informações objetivas e subjetivas que não puderam ser obtidas para todo o grupo de *benchmarking* na análise global, com o grau de detalhamento necessário.

A segunda forma de aplicação conjunta de ambas as técnicas é adequada para problemas com muitos critérios e alternativas para serem avaliadas. Normalmente quando há uma estrutura hierárquica com tais características, utiliza-se a técnica de agrupamento dos critérios em conjuntos afins (*clustering*) e o uso do método absoluto para lidar com problemas que envolvem numerosas alternativas. Mas usando a associação DEA/AHP é possível substituir o vetor de desempenho obtido através das matrizes de comparações paritárias, que é limitado a nove elementos, e aprimorar o processo de *clustering* através do uso de uma análise DEA para cada subgrupo de indicadores.

Essa forma de associação pode ser vista como o encadeamento de uma série de análises DEA que seriam organizadas em níveis hierárquicos e interpretadas conforme o método AHP.

O problema de avaliação de desempenho dessa pesquisa poderia ser um exemplo de aplicação dessa estratégia de análise porque a estrutura hierárquica concebida para o Ministério

dos Transportes, envolve um conjunto de 104 critérios, sub-critérios e fatores de desempenho idealizados para avaliar 99 ferrovias. Porém devido à dificuldade de obtenção dos dados, esse tipo de solução é infactível.

A terceira forma de associação entre DEA e AHP é o uso das matrizes de comparações paritárias para auxiliar a criação de restrições aos pesos das formulações DEA. Tais restrições são necessárias quando o excesso de liberdade para formação da fronteira de eficiência permite que certas DMUs sejam consideradas eficientes sem uma justificativa clara. A razão para o uso de restrições é o fato que tais DMUs para atingirem um alto desempenho segundo o método DEA, escolhem pesos muito altos para certos indicadores e pesos muito baixos para outros.

O uso de restrições permite ajustar o método às expectativas dos analistas à medida que seu controle sobre a formação da fronteira de produção aumenta. Além disso, as matrizes de comparações paritárias representam uma forma bastante intuitiva e prática para a definição de relações entre os pesos ou formulações de novas restrições.

Outro benefício interessante das restrições dos pesos das formulações do método DEA é a possibilidade de controlar a fronteira de produção de tal forma que uma análise DEA poderia ser desenvolvida para um número pequeno de DMUs, sem necessidade de respeitar a proporção empírica de três para um entre o número de DMUs e indicadores.

A incorporação de julgamentos de especialistas no método DEA através do AHP pode ser feita diretamente usando os pesos obtidos das matrizes de comparações paritárias para definir o grau de importância das variáveis da função objetivo como exemplificado na equação (1) ou através da definição de inequações tais como $\mu a + \nu b \leq 0$ onde a e b representam o grau de dominância de um critério sobre o outro, apresentado na matriz de comparações paritárias e fundamentado na escala de valores proposta por Saaty. O modelo DEA resultante pode ser apresentado na forma das equações (1) e (2).

BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Modelos Aditivos – VRS ponderados

$$\max W_o = \mu Y_o - \nu X_o + u_o \quad (1)$$

s.a.

$$\mu Y - \nu X + u_o \leq 0$$

$$\mu \geq w_r$$

$$\nu \geq v_s$$

$$w_r = \frac{A_r}{Y_{ro}} \quad v_s = \frac{B_s}{X_{so}} \text{ onde } A_r \text{ e } B_s \text{ são os pesos obtidos da análise AHP.}$$

$$\max W_o = \mu Y_o - \nu X_o + u_o \quad (2)$$

s.a.

$$\mu Y - \nu X + u_o \leq 0$$

$$\mu a - \nu b \leq 0$$

$$\mu \geq \bar{1}$$

$$\nu \geq \bar{1}$$

A fim de testar a relação entre DEA e AHP sugeridas por Tone (1989) também foi elaborada uma análise AHP utilizando os mesmos indicadores do método DEA. Para a comparação dos resultados foi calculada a correlação ordinal (Spiegel, 1967) entre os rankings obtidos em cada método.

Como resultado dessa análise pode-se identificar quais formulações DEA calculam *ranks* mais semelhantes aos obtidos com a técnica AHP. As informações obtidas com essa análise possibilitam uma nova forma de integração dos métodos DEA e AHP, porque através da orientação das funções objetivo das formulações DEA e a avaliação da correlação dos resultados DEA e AHP, obtém-se um meio de incorporar os julgamentos dos agentes deliberantes na modelagem DEA usando a técnica AHP sem necessidade de criar novas restrições aos pesos.

4.6 Aspectos computacionais

Para o desenvolvimento das análises dos indicadores de desempenho é necessário um sistema que permita a fácil manipulação de grandes quantidades de dados, possua algumas ferramentas estatísticas básicas, permita o desenvolvimento de operações matemáticas e seja capaz de resolver os problemas de programação matemática que estão envolvidos nos métodos de avaliação de desempenho empregados.

Para o desenvolvimento das análises DEA é empregado principalmente o programa *Efficiency Measurement System* – EMS versão 1.0.0 e 1.2.0 desenvolvido por Holger Scheel para uso acadêmico (Scheel,1998). Esse programa permite a resolução das principais formulações DEA.

Quanto à aplicação do *Analytic Hierarchy Process* é utilizado o programa *Expert Choice Professional* versão 9.0. Nele são construídas e analisadas as estruturas hierárquicas de avaliação empregadas na pesquisa.

Para o tratamento dos dados e as análises estatísticas é empregado o MS-EXCEL por apresentar ferramentas suficientes para a resolução da maioria dos problemas encontrados. Esse programa também é usado para desenvolver algumas análises DEA e obter determinadas informações que não são possíveis no programa EMS.

4.7 Testes e Validação

Na fase de teste e validação o objetivo é determinar se os modelos e métodos são desenvolvidos corretamente e se os resultados são relevantes. Na fase de testes, verifica-se a qualidade da modelagem do método DEA através da comparação dos resultados obtidos com a resolução dos problemas de programação linear DEA em diferentes “*solvers*” matemáticos (EMS e EXCEL). Na Tabela 12 é feita a comparação de alguns parâmetros calculados pelo método Multiplicativo – VRS output orientado (MULTv – OUT) através do programa EMS 1.2 e do solver matemático da planilha eletrônica EXCEL.

Tabela 12 - Comparação entre EXCEL e EMS 1.2

Excel		Valores das Variáveis de Folga			Valores das Variáveis de Excesso		
MULTv OUT	Zo	P-km	Ton	TKU	Malha	Locomotivas	Empregados
FEPASA	1,32320305	0,72454996	0,35762582	0,24102726	0,05089681	0	0
RFFSA	9,52024614	9,48056702	0,03967912	0	0,21744508	0,02364881	0
EMS 1.2		Valores das Variáveis de Folga			Valores das Variáveis de Excesso		
MULTv OUT	Zo	P-km	Ton	TKU	Malha	Locomotivas	Empregados
FEPASA	1,32320310	0,72455077	0,35762556	0,24102658	0,05089827	0,00000074	0,00000000
RFFSA	9,52024616	9,48056700	0,03967912	0,00000000	0,21744507	0,02364880	0,00000000

Para a validação do método DEA, identifica-se duas alternativas: a comparação dos resultados práticos com os obtidos por algum método tradicional equivalente ou admissão da hipótese de que o método é válido com base em outras experiências relevantes na literatura e concentração dos esforços na validação ou verificação da qualidade dos dados que alimentam o modelo e da relevância e utilidade dos resultados obtidos.

Nessa pesquisa, é adotada a segunda estratégia, porque sem o cuidado com a qualidade dos dados, os resultados obtidos com um método tradicional também podem ser inválidos e podem levar a conclusões equivocadas devido ao excesso de confiança no método. Em vista

disso, para a validação do método DEA, dá-se prioridade à consistência dos dados considerados e resultados obtidos.

Quanto ao método AHP, é utilizado o programa *Expert Choice 9.0* que se supõe testado. Como os cálculos que o método envolve são simples e as estruturas hierárquicas construídas para o problema tratado nessa pesquisa apresentam a maioria de seus critérios quantificados de forma objetiva, assumi-se que o risco de reversão ou inconsistência é reduzido.

A validade da estrutura hierárquica é garantida através da participação de especialistas do Ministério dos Transportes na fase de julgamento dos critérios.

Com o desenvolvimento dos dois métodos para a análise da mesma questão obtemos uma forma de avaliação de ambas as técnicas através da comparação de seus resultados. Essa comparação é possível porque a finalidade dos métodos é semelhante e os resultados de ambos são representados por vetores de prioridades que podem ser comparados e relacionados através de uma análise de correlação ordinal.

Dessa forma, como o AHP é baseado no conhecimento prático de especialistas, assumimos que se há uma forte correlação entre os resultados deste método e o DEA, ambos são aceitáveis na prática. O valor da contribuição do método DEA depende da qualidade do planejamento da análise e da integração dos resultados com outros elementos de informação administrativa.

4.8 Conclusões do capítulo

Nesse capítulo, uma forma de análise de desempenho empregando as técnicas DEA e AHP é proposta para a avaliação de indicadores.

Quanto ao DEA, são explicados os passos do método que envolve desde a determinação dos objetivos da análise, seleção dos fatores e DMUs considerados até a modelagem e análise dos

resultados. O principal elemento apresentado nesse capítulo é a adoção de um critério de escolha do modelo DEA baseado nas características dos dados.

Para o AHP, uma discussão é feita sobre a pesquisa de campo na qual foram empregados questionários para orientar no processo de discussão em grupo. O uso desses questionários é geralmente empregado quando não é possível reunir um grupo de agentes deliberantes para a discussão e julgamento dos critérios de decisão.

Devido à necessidade de verificação da consistência e melhor administração do processo de debate dos agentes deliberantes percebeu-se que o uso dos questionários em uma discussão em grupo possibilita aos entrevistados uma maior objetividade na discussão, tornando o processo mais rápido e fornecendo elementos suficientes ao analista, para uma posterior análise de consistência.

Quanto ao uso integrado dos métodos DEA e AHP, além da apresentação das formas de aplicação conjunta dos métodos, adotou-se a correlação ordinal dos rankings como critério para avaliação e comparação dos resultados obtidos com os métodos.

Para a aplicação dos métodos são identificados os programas *Expert Choice 9.0*, EMS e Excel. Devido à simplicidade do método AHP é assumido que o *Expert Choice 9.0* é confiável. Quanto ao DEA, os programas EMS e EXCEL são testados para os mesmos problemas e, a partir da comparação dos resultados, assumi-se que os dois programas são confiáveis porque apresentam os mesmos valores.

Quanto à validação das análises, devido à infinidade de critérios de avaliação, pontos de vista e fatores a serem considerados, nessa pesquisa parte-se do pressuposto que os métodos são válidos com base na bibliografia e que a validade dos resultados depende somente da qualidade das informações consideradas.

No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos com a aplicação dos métodos na avaliação de indicadores de desempenho ferroviário.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Introdução

Para o estudo de caso dessa pesquisa, é tomado como base um conjunto de indicadores mensurados pelo Banco Mundial (World Bank,1999) o qual reúne em um banco de dados, estatísticas sobre o transporte ferroviário de 99 países. Esses dados cobrem o período de tempo entre 1980 e 1998. Mas, para a análise DEA desenvolvida nessa pesquisa são utilizados apenas os dados de 1994 porque são os mais recentes que estão disponíveis para um maior número de países.

Seguindo o esquema de desenvolvimento das análises, proposto na metodologia (Figura 11), começamos pela seleção de indicadores e DMUs porque as atividades anteriores são explicadas na revisão bibliográfica.

Para realização do estudo de caso, segue-se as etapas da metodologia apresentadas no fluxograma da Figura 11. Contudo, para atender ao objetivo principal da pesquisa que é a comparação dos métodos DEA e AHP, são desenvolvidas apenas as atividades necessárias para a obtenção dos rankings das empresas ferroviárias.

Portanto, nesse capítulo são apresentados, para o método DEA, o processo de seleção de indicadores, seleção do modelo, resolução do modelo selecionado e a avaliação da composição dos inputs e outputs das DMUs apontadas como benchmarks para o caso nacional.

Quanto à análise AHP, são apresentadas as estruturas hierárquicas usadas para o benchmarking, o planejamento da pesquisa de campo, os resultados obtidos e a síntese do método resultando em um *ranking* “AHP” de empresas ferroviárias.

Finalmente, são apresentados os resultados da correlação dos rankings obtidos através dos dois métodos empregados.

5.2 Análise DEA

5.2.1 Seleção de indicadores e DMUs

Tomando o ano 1994 como referência, 63 DMUs são identificadas. Em sua maioria, elas representam a malha completa de um país como, por exemplo, Japão, China, Reino Unido, México, etc. Mas, em alguns casos, são consideradas duas ou mais DMUs por país devido à disponibilidade de dados desagregados em malhas nacionais para alguns casos como EUA, Brasil e Canadá.

Quanto à homogeneidade, é evidente que todas as DMUs são ferrovias, sendo o seu papel transportar passageiros e carga. Como já foi dito, o papel de uma DMU é definir quais os fatores de entrada e saída de seu processo que devem ser mensurados inicialmente.

Nem todas as ferrovias transportam carga e passageiros simultaneamente. A grande maioria das ferrovias presta os dois tipos de serviços, variando na quantidade e composição relativa da produção total de transporte. Existem ferrovias que transportam exclusivamente carga, como por exemplo a RFFSA, Jordânia, Burlington Northern, Conrail e as ferrovias americanas Classe I, assim como, também existem ferrovias que transportam unicamente passageiros como ViaRail e Amtrak. Mesmo as ferrovias que prestam os dois tipos de serviço podem apresentar grandes variações como, por exemplo, o caso do Japão, onde 91% do total de unidades de tráfego geradas são transporte de passageiros enquanto que na Suécia são apenas 24%.

Além dessas variações, há também uma grande diferença de porte, tecnologia, condições de mercado e regulamentação que não está sendo avaliada diretamente, a não ser pelos indicadores de desempenho que representam resultados agregados e globais.

Tais diferenças caracterizam o grupo de *benchmarking* de ferrovias como heterogêneo e portanto prejudicial a uma análise DEA. O fator mais crítico para a análise nessa pesquisa é a influência do transporte de carga e passageiros na avaliação de desempenho, porque esse é o fator mensurável que mais influi nas diferenças entre as ferrovias, porém sem estabelecer uma distinção clara entre grupos de transporte de carga ou de passageiros.

Os indicadores de transporte de carga e passageiros não podem ser desprezados ou analisados separadamente porque ambos estão relacionados com os indicadores de insumos consumidos como número de empregados, locomotivas e extensão da malha. Analisar apenas as ferrovias que transportam exclusivamente passageiros ou carga reduziria muito o grupo de *benchmarking* e, se for analisado apenas o desempenho das ferrovias, em relação à geração de um único tipo de transporte, estaria sendo desconsiderado um fator de grande influência nos resultados. Por isso, para esse estudo é tolerada a heterogeneidade das DMUs a fim de aplicar o DEA na análise destas diferenças.

A questão seguinte é a escolha e classificação das variáveis a serem consideradas na análise. Em virtude da discussão até o momento e das características e objetivos das ferrovias, a quantidade de transporte gerada de passageiros ou carga são fatores mensuráveis imprescindíveis. Também é evidente a classificação desses fatores como *outputs* do processo ferroviário.

A escolha das variáveis para o *benchmarking* das ferrovias mundiais fica limitada aos 37 indicadores disponibilizados pelo Banco Mundial listados na Tabela 13. Para a aplicação do DEA, adota-se, a princípio, usar apenas indicadores simples, que não são calculados a partir de outras variáveis da lista de indicadores, como taxas de produtividade, porque a variação desses indicadores já está representada pelos fatores simples. Outra resolução é a de evitar os dados sobre receita, cuja variação é bem representada pelos indicadores de produção, mas devido às diferenças entre as taxas de transporte cobradas em diferentes países, a comparação entre receitas seria distorcida.

Tabela 13 - Indicadores do Banco Mundial

Indicador	Classificação	Controle	Disponibilidade	Observação
1. Extensão da Malha	Input redundante	Controlável	Completa para 1994	Malha (km)
2. Número total de Locomotivas	Input redundante	Controlável	Completa para 1994	Locomot
3. Vagões de Passageiros	Input	Controlável	Completa para 1994	VagPass
4. Vagões de Carga	Input	Controlável	Completa para 1994	VagCarga
5. Número de empregados	Input	Controlável	Completa para 1994	Empr
6. Número de Passageiros	Output	Não controlável	Completa para 1994	Pass
7. Passageiros *km	Output	Não controlável	Completa para 1994	P-km
8. Toneladas de Carga	Output redundante	Não controlável	Completa para 1994	Ton
9. Toneladas de Carga *km	Output redundante	Não controlável	Completa para 1994	TKU
10. NG (Linha)			Incompleta	km (<1000mm)
11. MG (Linha)			Incompleta	km (1000-1067mm)
12. SG (Linha)			Incompleta	km (1435mm)
13. BG (Linha)			Incompleta	km (>1435mm)
14. Locomotivas a vapor			Incompleta	
15. Locomotivas Diesel			Incompleta	
16. Locomotivas Elétricas			Incompleta	
17. MU (Carros de passageiros)			Incompleta	
18. Receita de transportes de passageiros			Incompleta	US\$ de 1994
19. Receita de transporte de carga			Incompleta	US\$ de 1994
20. Disponibilidade de Locomotivas Diesel (%)			Incompleta	
21. Taxa de Operação com Normalização			Incompleta	
22. Taxa de Operação sem Normalização			Incompleta	
23. Transporte médio de Carga			Incompleta	(km)
24. Transporte médio de Passageiros			Incompleta	(km)
25. TKU por Vagão			Incompleta	
26. Produtividade dos empregados			Incompleta	
27. Empregados por km de linha			Incompleta	
28. Total de salários por Receita Total			Incompleta	
29. Custo do transporte de passageiros / taxas do transporte de Carga			Incompleta	
30. Densidade de Tráfego			Incompleta	Unidades de Tráfego por km
31. Produtividade dos Vagões de passageiros			Incompleta	P-km por vagões de passageiros mais MU
32. Produtividade das Locomotivas			Incompleta	TKU por locomotiva + MU/fator MU
33. Produtividade dos vagões			Incompleta	TKU por vagão
34. Recita do transporte de passageiros por P-km			Incompleta	ICP
35. Receita do transporte de carga por TKU			Incompleta	ICP
36. Receita do transporte de passageiros por P-km (US\$, 1994)			Incompleta	US\$ de 1994
37. Receita do transporte de carga por TKU (US\$ 1994)			Incompleta	US\$ de 1994

Um detalhe a ser considerado na escolha das variáveis é a disponibilidade de dados para as DMUs analisadas. Talvez algumas variáveis interessantes não possam ser usadas porque não estão disponíveis para certas DMUs cuja participação é considerada importante na análise e vice-

versa. Nessa pesquisa, a Argentina é excluída do grupo de benchmarking por não apresentar dados para o ano de 1994.

Considerando os critérios acima e conforme o exame crítico descrito na metodologia, a lista de indicadores da Tabela 13 é reduzida às nove primeiras variáveis representadas na mesma tabela.

Agora o próximo passo na escolha das variáveis é o exame quantitativo no qual é medida a correlação entre as variáveis a fim de auxiliar a classificação dos indicadores em *inputs* e *outputs* (Tabela 14).

Tabela 14 – Matriz de correlação linear

	<i>Malha</i>	<i>Locomot</i>	<i>VagPass</i>	<i>VagCarga</i>	<i>Empr</i>	<i>Pass</i>	<i>P-km</i>	<i>Ton</i>	<i>TKU</i>
<i>Malha</i>	1								
<i>Locomot</i>	0,913	1							
<i>VagPass</i>	0,373	0,597	1						
<i>VagCarga</i>	0,873	0,962	0,669	1					
<i>Empr</i>	0,371	0,597	0,873	0,661	1				
<i>Pass</i>	0,187	0,202	0,365	0,204	0,285	1			
<i>P-km</i>	0,341	0,504	0,851	0,562	0,867	0,706	1		
<i>Ton</i>	0,785	0,897	0,605	0,918	0,767	0,128	0,578	1	
<i>TKU</i>	0,874	0,892	0,386	0,877	0,573	0,060	0,402	0,944	1

Devido ao alto grau de agregação dos indicadores usados pelo Banco Mundial, visando compor uma visão macro do serviço de transporte ferroviário no mundo, e a simplicidade desses ao medir os principais insumos e produtos do transporte ferroviário, não é difícil classificá-los em *inputs* e *outputs*. A análise da matriz de correlação linear dos nove indicadores previamente selecionados não é necessária para esclarecer a natureza dos indicadores, mas para identificar quais as relações entre *inputs* e *outputs* e qual a sua intensidade.

Logo, a partir do exame da matriz podemos identificar dois grupos de *inputs* e dois grupos de *outputs* que apresentam uma forte correlação, ilustrada na Figura 16. No grupo dos *outputs* temos um subgrupo de indicadores de transporte de carga que apresentam uma forte correlação com os insumos extensão da malha, número de locomotivas e o número de vagões de carga.

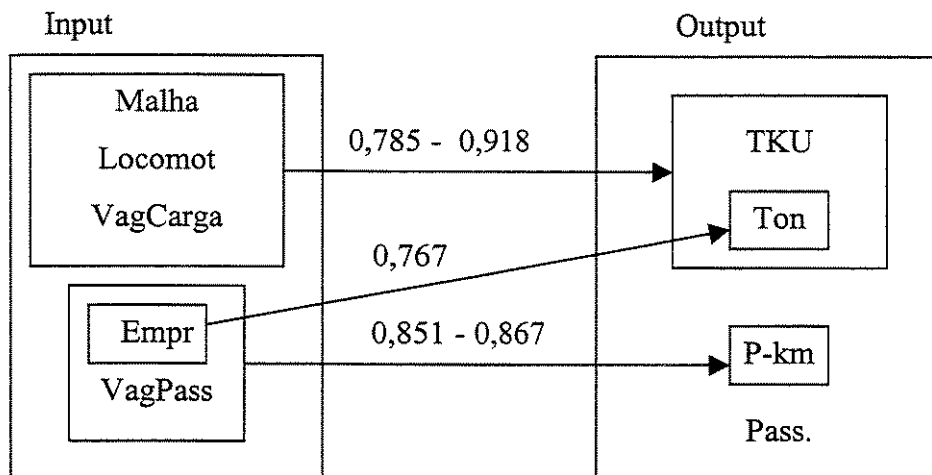


Figura 16 - Relações entre as variáveis de *Input* e *Output*

Já o P-km tem uma forte correlação com o número de empregados e vagões de passageiros. Note que não é formado um subgrupo de indicadores de transporte de passageiros porque o número de passageiros transportados apresenta uma baixa correlação linear com todos os insumos considerados, ao contrário do P-km apesar de sua correlação com esse indicador ser boa. A relação entre P-km e Pass não é suficiente para indicar redundância de informação mas indica que o número de passageiros transportados para essa amostra de dados comporta-se de forma independente.

Entre os elementos do grupo de *inputs*, os pares Malha/Locomot e VagCarga/Locomot apresentam uma forte correlação, o que indica uma possível redundância de informações (Tabela 13). Da mesma forma, no grupo de Output, o par TKU/Ton também pode ser redundante para as análises. Mas, considerando as inter-relações com as demais variáveis, talvez o único par que realmente seja redundante para essa análise seja VagCarga/Locomot e portanto pode-se excluir o número de vagões de carga da análise porque o número de Locomotivas representa bem o comportamento desta variável.

Outra observação sobre a correlação das variáveis é que, por uma questão de lógica, os insumos representados pelos indicadores analisados, como a via permanente, as locomotivas, a mão-de-obra e os vagões são claramente insumos essenciais para a geração de transportes. Mas certos insumos como vagões de passageiros, pelo menos em tese, não devem contribuir para os

resultados de transporte de carga, a mesma hipótese serve para vagões de carga e transporte de passageiros.

Uma questão que não é esclarecida na literatura é o efeito de insumos que não participam da geração de certos produtos nos resultados da avaliação de desempenho DEA. Com exceção dos demais indicadores, não há sentido em medidas de produtividade relacionando número de vagões de carga com transporte de passageiros ou vagões de passageiros e transporte de carga. Tais relações podem causar problemas na formação da fronteira de produção porque algumas DMUs, com valores nulos em certos insumos, podem privilegiar essas relações através do modelo de programação matemática, a fim de se tornarem eficientes. Logo, quando desconsiderada a variável vagões de carga, é interessante fazer o mesmo com os carros de passageiros.

Diversas análises de correlação ainda poderiam ser realizadas, como por exemplo avaliar as correlações não lineares entre as variáveis ou excluir algumas ferrovias que transportam somente carga ou passageiros. Tais análises levariam à conclusões diferentes sobre as relações entre as variáveis expressas na Figura 16.

Mas como o objetivo da análise não é definir uma equação que melhor represente a inter-relação entre as variáveis e sim identificar possíveis variáveis redundantes que poderiam ser eliminadas das análises, sem perda de informações importantes, o uso da matriz de correlação linear para o conjunto de variáveis e DMUs que são o objeto de análise da pesquisa, já é suficiente.

Além da análise de correlação são levantados outros parâmetros estatísticos (Tabela 15) a fim de caracterizar a variação dos indicadores de desempenho das DMUs e monitorar os processos de manipulação dos dados conforme a metodologia.

A principal informação obtida da análise estatística apresentada na Tabela 15 é a mensuração do grau de variação dos dados, o que confirma a heterogeneidade do grupo de *benchmarking* discutida anteriormente. Não só existe uma variação grande entre as DMUs, como por exemplo, a Jordânia que possuía, em 1994, 293 km de malha ferroviária enquanto que as

ferrovias Classe I dos Estados Unidos somavam 176.342 km aproximadamente, como também há uma grande variação entre as variáveis mensuradas de uma mesma DMU, como por exemplo no caso da Ucrânia que tinha 2.205 locomotivas e produzia 200,423 bilhões de TKUs.

Outra contribuição é obtida através da análise das versões preliminares desta tabela para os primeiros conjuntos de DMUs selecionados. Com essas análises, foi possível identificar alguns problemas no banco de dados e assim eliminar algumas DMUs que apresentavam discontinuidades.

Devido ao objetivo de proceder uma avaliação estratégica do desempenho de ferrovias, baseada em dados agregados e considerando que a composição do transporte de carga e passageiros influi no desempenho de uma ferrovia, opta-se por desenvolver uma análise de todas as ferrovias de transporte de carga ou passageiros considerando ambas as questões de transporte.

Tabela 15 - Resumo estatístico

Parâmetros	Variáveis								
	Malha (km)	Locomot	VagPass	VagCarga	Empr	Pass 10 ³	P-km 10 ⁶	Ton 10 ⁶	TKU 10 ⁶
Média	12837,32	1611,175	2755,016	49382,97	135697,9	370074,7	23892,07	103,2694	73807,99
Erro padrão	3126,952	384,6461	748,7559	12310,01	59053,33	153057,5	8448,856	34,01757	34290,76
Mediana	3945	533	768	12483	24991	50241	3037	21,3	6470,625
Modo	1907	66	0	0	N/D	0	0	21,3	0
Desvio padrão	24819,41	3053,034	5943,066	97707,64	468721,3	1214856	67060,72	270,0061	272174,5
Intervalo	176048,9	18475	31018	541193	3394777	8812752	363281	1631,4	1757363
Mínimo	293	21	0	0	1223	0	0	0	0
Máximo	176341,9	18496	31018	541193	3396000	8812752	363281	1631,4	1757363
Soma	808751,4	101504	173566	3111127	8548966	23314704	1505200	6505,97	4649903
Nível de confiança(95,0%)	6250,681	768,8958	1496,74	24607,32	118045,8	305957,2	16889	68,00007	68546,18
Contagem (*)	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Curtose (*)	30,83615	16,82205	15,37745	12,84521	40,25093	39,60302	17,2954	22,84874	29,01332
Assimetria (*)	4,998176	3,785746	3,791095	3,414261	6,131794	6,006932	4,162455	4,642663	5,290512
Variância da amostra (**)	6,16E+08	9321016	35320032	9,55E+09	2,2E+11	1,48E+12	4,5E+09	72903,28	7,41E+10

* para estes parâmetros as unidades das variáveis não são válidas.

** para este parâmetro as unidades das variáveis estão elevadas ao quadrado.

Essa decisão implica na adoção de insumos e produtos não correlacionados como vagões de passageiros e TKU em algumas análises, para verificar sua influência, considerando o que já foi discutido acima.

Antes de passarmos às etapas seguintes é necessário fazer algumas considerações quanto aos objetivos das análises.

O método AHP permite a classificação de um conjunto de DMUs conforme seu desempenho e a distinção da importância dos critérios de avaliação. O método DEA, além dessas informações, identifica oportunidades de aprimoramento do desempenho observado. Portanto, essas são as metas do estudo de benchmarking realizado. Considerando tais metas, é necessário decidir qual estratégia de aprimoramento do desempenho adotar, principalmente para o método DEA.

A última atividade da fase de escolha das variáveis é a aplicação piloto da análise DEA. Como sugerida na metodologia, uma aplicação dos modelos CCR e BCC *input* e *output* orientados é feita com as nove variáveis estudadas até o momento, para uma amostra normalizada de 63 DMUs. Os resultados parciais da aplicação piloto, apresentando apenas as DMUs classificadas em eficiência robusta e marginal, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Aplicação Piloto

Classe	CCR-IN	CCR-OUT	BCC-IN	BCC-OUT
Eficiência Robusta	Israel	Israel	Japão	Japão
	Burlington Northern	Burlington Northern	Israel	Israel
	Japão	Japão	Jordânia	Burlington Northern
	China	China	República da Coreia	Ucrânia
	República da Coreia	República da Coreia	Burlington Northern	República da Coreia
	Estônia	Estônia	China	China
	Ucrânia	Ucrânia	Estônia	Conrail
	Conrail	Conrail	Conrail	Jordânia
			Ucrânia	Estônia
			Reino Unido	
Eficiência Marginal	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	EUA (Classe I)
	Jordânia	Jordânia	Bélgica	Amtrak
	Amtrak	Amtrak	Amtrak	Bélgica
	Via Rail	Via Rail	Via Rail	Via Rail
			EUA (Classe I)	Índia
		Índia		

Para a classificação das DMUs em eficiência marginal ampliou-se o critério sugerido na metodologia de duas ocorrências na fronteira de produção para cinco, devido ao fato da amostra e o número de variáveis ser de um tamanho considerável.

Analisando a Tabela 17, verifica-se uma grande variação dos pesos definidos pelas DMUs no modelo CCR - IN. Isso caracteriza uma certa imprecisão dos resultados porque alguns fatores de desempenho estão sendo super estimados em alguns momentos e em outros completamente ignorados. Devido a essa grande variação é difícil identificar, de forma precisa, quais os fatores que afetam mais o desempenho. Uma forma grosseira para distinguir os fatores conforme sua importância é medir o número de vezes que um determinado indicador recebe um peso nulo.

Tabela 17 - Análise estatística dos pesos calculados pelo modelo CCR-IN

	<i>Malha</i>	<i>Locomot</i>	<i>VagPass</i>	<i>VagCarga</i>	<i>Empr</i>	<i>Pass</i>	<i>P-km</i>	<i>Ton</i>	<i>TKU</i>
Média	72,728	153,3054	124,4402	8941,267	84,39946	188,7615	35,99262	251,9741	19,67889
Mediana	11,82686	5,4E-07	4,3E-07	4,027557	0,048248	2E-08	5,33596	69,02567	0,000227
Moda	9E-08	0	0	0	0	0	0	0	0
Curtose	10,40208	6,328514	39,01848	62,94035	29,88689	62,99776	12,58784	26,00463	7,163427
Assimetria	2,962691	2,680074	5,830088	7,931745	5,044475	7,937046	3,136286	4,543502	2,719848
Intervalo	646,0784	1649,847	3052,087	533259,2	1709,793	11781,11	374,1764	3412,453	183,7071
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	646,0784	1649,847	3052,087	533259,2	1709,793	11781,11	374,1764	3412,453	183,7071

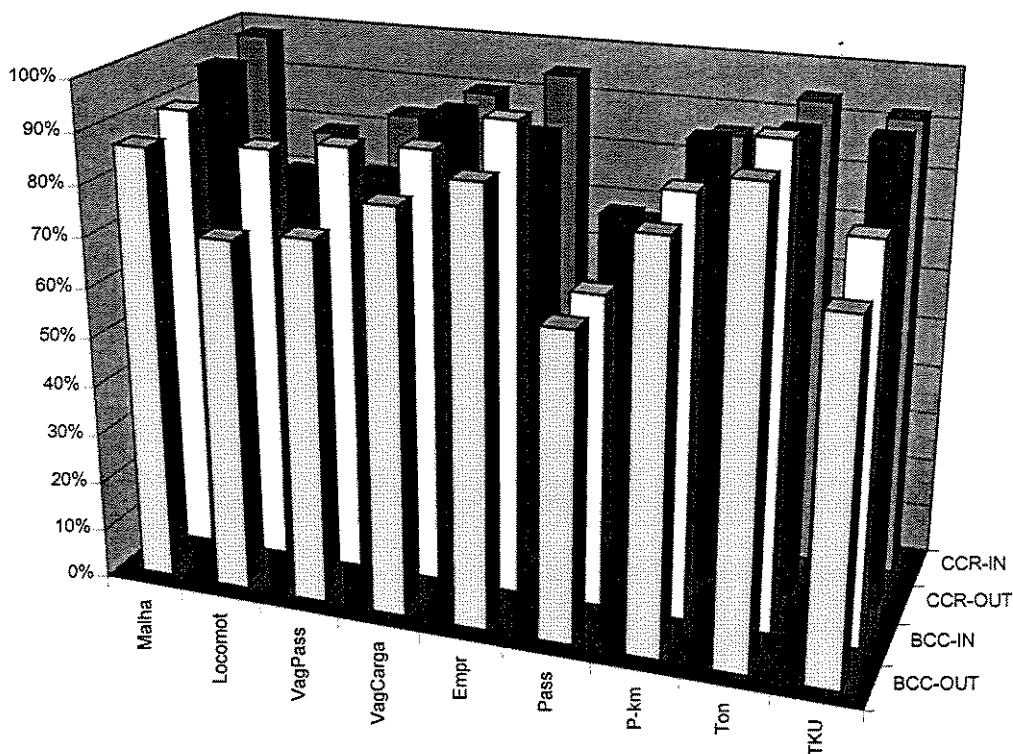


Figura 17 – Prioridade dos indicadores de desempenho.

A Figura 17 apresenta a frequência em que os pesos dos indicadores são diferentes de zero. Isso indica aproximadamente a relevância dos indicadores para a avaliação de desempenho do grupo de *benchmarking*.

Como pode ser observado na Figura 17, a variável número de passageiros transportados (Pass) apresenta a menor relevância para as análises nos quatro modelos DEA empregados. Como essa baixa relevância também é detectada na matriz de correlação linear podemos considerar essa variável como a menos importante para a análise de desempenho desenvolvida neste trabalho.

5.2.2 Seleção do modelo DEA

Como é discutido na fase de seleção de DMUs e indicadores, a avaliação de desempenho de serviços ferroviários envolve a análise de DMUs heterogêneas cujos dados podem ser considerados problemáticos. Essa afirmação baseia-se nos critérios propostos na metodologia e nos parâmetros estatísticos reunidos na Tabela 15, os quais indicam uma grande variação de escala entre os indicadores e diferença de porte entre as DMUs.

Constatado este fato e devido à presença de valores nulos, além do processo de normalização dos dados e da mudança de escala, é necessária também a translação da nuvem de pontos para melhorar a estabilidade do método DEA. Com base nestes argumentos, a formulação básica indicada para o problema de avaliação de indicadores de desempenho de serviços ferroviários, no grau de agregação das variáveis, tratado nesta pesquisa é o modelo Multiplicativo – VRS (Equação 1). Mas como o objetivo da pesquisa é avaliar a relação entre AHP e DEA, as demais formulações também são aplicadas.

$$\min z = -\sum_{i=1}^3 s_i^- - \sum_{r=1}^3 s_r^+ \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n \log(y_{rj}) \lambda_j - s_r^+ = \log(y_{ro}) \quad r = \{1,2,3\}$$

$$-\sum_{j=1}^n \log(x_{ij}) \lambda_j - s_i^- = \log(x_{io}) \quad i = \{1,2,3\}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad n = \{1, \dots, 63\}$$

$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0$$

5.2.3 Resolução do modelo DEA

Para a resolução do modelo Multiplicativo-VRS são consideradas as variáveis P-km, Ton, TKU, Malha, Locomot e Empr. Nenhuma restrição é feita quanto ao controle das variáveis, a fim de identificar a projeção ótima das DMUs na fronteira, através da melhoria de todos os fatores.

Na Tabela 18 tem-se o resultado do modelo Multiplicativo - VRS. As empresas são classificadas em eficiência robusta e marginal conforme os parâmetros dominância e $\sum \lambda$. O primeiro indica o número de empresas que elegeram como seu *benchmark* as ferrovias listadas. O segundo parâmetro mede a proximidade entre as projeções das DMUs ineficientes e os benchmarks. Por exemplo se a República da Coréia fosse o único benchmark das ferrovias "dominadas" por ela o parâmetro $\sum \lambda$ seria igual a 44 porque estas ferrovias estariam se projetando diretamente sobre a Coréia.

Na Tabela 19 são apresentados os *benchmarks* para as malhas nacionais e as respectivas metas de redução de insumos e aumento de produção para que essas malhas alcancem a fronteira de produção e tornem-se *benchmarks*. Como pode ser observado tais metas são ineficazes a curto

prazo e segundo os critérios propostos na metodologia, essas DMUs classificam-se como ineficientes distintas sob as condições consideradas nessa pesquisa.

Tabela 18 – Multiplicativo-VRS (MULT_v).

Classe	Benchmarks	Dominância	$\sum\lambda$
Eficiência Robusta	República da Coréia	44	25,73
	Israel	28	14,79
	China	14	2,93
	Ucrânia	7	1,33
Eficiência Marginal	Suécia	2	1,14
	Estônia	1	0,41
	Japão	1	0,24
	Sri Lanka	2	0,14
	Burlington Northern	2	0,08
	Jordânia	1	-
	África do Sul	1	-
	Egito	1	-
	Via Rail	1	-
	Conrail	1	-
	Tailândia	1	-
	Classe I (EUA)	1	-

Tabela 19 – Benchmarks para o Brasil

Malha	DMU ideal	Benchmarks	λ
FEPASA	42,57% da extensão da malha	República da Coréia	0,764
	68,72% do número de locomotivas	Israel	0,236
	mesmo número de empregados		0,015
	815,53% do P-km		
	201,79% do total de toneladas transportadas		
	124,77% do TKU		
RFFSA	58,92% da extensão da malha	Ucrânia	0,232
	82,81% do número de locomotivas	Suécia	0,704
	mesmo número de empregados	Burlington Northern	0,064
	sem sentido para a RFFSA		
	115,22% do total de toneladas transportadas		
	mesmo TKU		

5.2.4 Composição de *Inputs* e *Outputs*

A composição de inputs e outputs (ou insumos e produção) fornece mais alguns dados sobre os *benchmarks* identificados. As Tabelas 20 e 21 são calculadas através da equação (2) que normaliza os dados do grupo de benchmarking. As taxas apresentadas na tabela indicam a participação relativa de cada insumo ou produto no total de insumos ou produtos de cada DMU. A utilidade dessas informações é distinguir os perfis de transporte das ferrovias analisadas.

$$C_{ij} = \frac{\frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}}}{\sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^n X_{ij}}} \quad (2)$$

i → tipo de insumo

j → empresa

n → número de empresas

m → número de insumos

X_{ij} → insumo I da empresa j

C_{ij} → proporção relativa de uso do insumo i pela empresa j

Tabela 20 – Combinação de insumos

DMUs	Malha	Locomotivas	Empregados
FEPASA	47,553%	36,944%	15,502%
RFFSA	59,513%	28,912%	11,575%
Israel	52,284%	36,346%	11,370%
Ucrânia	27,904%	21,726%	50,370%
Burlington Northern	61,995%	32,973%	5,033%
República da Coréia	27,499%	41,404%	31,097%
Suécia	53,110%	35,523%	11,367%
Japão	39,515%	24,839%	35,646%

Como pode ser observado para o caso da RFFSA, o modelo MULTv conseguiu identificar como *benchmark* mais relevante a empresa ferroviária que apresenta uma combinação semelhante tanto de insumos como produtos. Porém no caso da FEPASA, o modelo não é bem sucedido na identificação de *benchmarks* com um perfil semelhante. Além disso, as metas calculadas são ineficazes, porque a RFFSA e a FEPASA encontram-se na região de ineficiência distinta.

Para as DMUs que estiverem nessa região, as metas de desempenho podem ser ineficazes porque as DMUs estão distantes da fronteira de produção.

Quanto à semelhança de combinação de insumos e produtos, ela é afetada pela orientação da projeção e a posição da DMU, que se estiver muito afastada da fronteira de produção, devido à liberdade de orientação da projeção, essa poderá, incidir próxima a qualquer *benchmark* da fronteira, inclusive aqueles com combinações diferentes da DMU analisada.

Tabela 21 – Combinação de produção

DMUs	P-km	Ton	TKU
FEPASA	15,188%	56,865%	27,947%
RFFSA	-	61,231%	38,769%
Israel	8,983%	77,713%	13,305%
Ucrânia	28,882%	44,683%	26,435%
Burlington Northern	-	35,839%	64,161%
República da Coréia	61,264%	28,420%	10,315%
Suécia	24,188%	51,166%	24,647%
Japão	92,372%	4,679%	2,949%

5.3 Análise AHP

5.3.1 Estruturação AHP

Para a aplicação do método AHP é usada a estrutura de indicadores, descrita na revisão bibliográfica com o critério desempenho financeiro reformulado (Figura 1 - Anexo). Além dessa estrutura, são elaboradas outras duas, visando a aplicação comparativa com o método DEA.

As estruturas representadas nas Figura 18 e 19 são elaboradas para o benchmarking externo ou competitivo do transporte ferroviário e conseqüentemente seus elementos são escolhidos dentre os indicadores disponíveis sobre ferrovias mundiais. A primeira tem o objetivo de classificar as empresas ferroviárias conforme seus níveis de produção de transporte e a segunda de classificá-las de acordo com seus recursos disponíveis. O funcionamento das duas estruturas é análogo ao processo de análise custo/benefício do método AHP. A diferença é que neste caso, os níveis de produção gerados são os benefícios e os recursos são os custos.

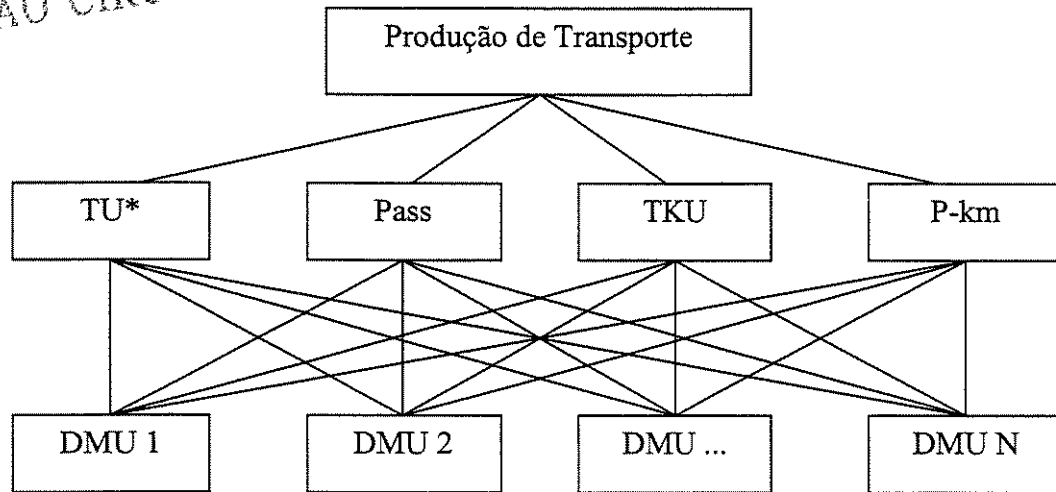


Figura 18 – Estrutura para avaliação da produção de transporte.

* TU ou toneladas úteis transportadas é considerado equivalente ao indicador Ton usados nas análises DEA.

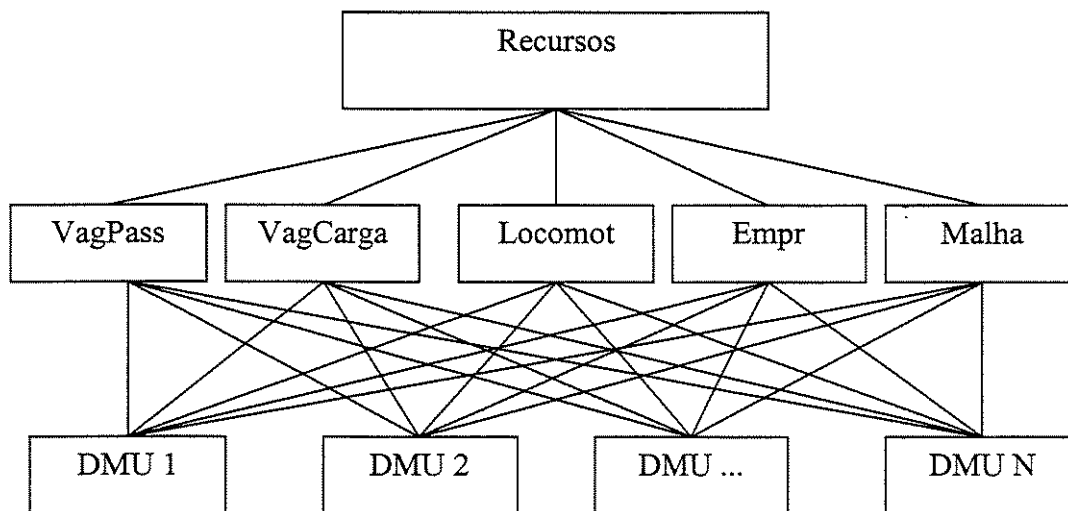


Figura 19 – Estrutura para avaliação de recursos.

A estrutura principal reformulada é apresentada na seqüência das Figuras 1 a 4 no Questionário para aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* – AHP apresentado no Anexo.

5.3.2 Planejamento da entrevista

Devido ao número elevado de critérios para serem julgados, tanto o número como o tamanho das matrizes de comparações paritárias demandam um esforço muito grande para serem completados. Por esse motivo, procurou-se uma estratégia para a simplificação do processo de discussão.

A solução adotada foi a de desenvolver discussões com o auxílio de questionários e limitar as análises aos níveis mais altos da estrutura hierárquica. Como os agentes deliberantes tinham pouca familiaridade com o método AHP, a escolha dos questionários foi baseada em sua forma objetiva de organizar a análise da estrutura e resposta das questões. Quanto à limitação da análise aos critérios do topo da estrutura, isto é justificável devido à diluição dos pesos atribuídos aos critérios e sub-critérios dos níveis inferiores.

Portanto, o questionário aplicado na pesquisa e apresentado no Anexo, desenvolve uma análise completa dos níveis 1 e 2 da estrutura representada na Figura 1 (Anexo), distinguindo a importância dos critérios de avaliação globais: Satisfação dos Clientes, Desempenho Operacional, Desempenho Financeiro e dos sub-critérios imediatamente subordinados a eles. Para esses dois níveis da estrutura, o questionário possibilita o preenchimento completo das matrizes de comparações paritárias e para os níveis inferiores são levantadas apenas as primeiras linhas de cada matriz, sendo calculadas as demais.

5.3.3 Resultados da entrevista

Três especialistas do Ministério dos Transportes, com comprovados conhecimentos sobre a questão de transporte ferroviário, foram entrevistados. Desse grupo de agentes deliberantes, dois participaram da equipe do Ministério dos Transportes que trabalhou para a elaboração do sistema de avaliação de indicadores de desempenho de concessionárias ferroviárias, o qual serviu de base para esta pesquisa. Portanto, eles também podem ser considerados como contribuintes para a fase de estruturação do método AHP.

Apesar da entrevista ter sido planejada para apenas o preenchimento dos questionários, sem a discussão em grupo, os especialistas se propuseram a desenvolver uma discussão completa sobre os dois primeiros níveis da estrutura apresentada na Figura 1 (Anexo) e as estruturas completas concebidas para o benchmarking competitivo. Tal discussão proporcionou o consenso entre os agentes deliberantes e o preenchimento de um único conjunto de matrizes de comparações paritárias. Desta forma, foi dispensado o uso das técnicas de síntese dos questionários citadas na metodologia. Porém, durante a entrevista não foi possível fazer o teste de consistência.

Na Tabela 22 são apresentados os pesos calculados para o primeiro e o segundo nível de critérios. Na parte superior da tabela estão representados o desempenho financeiro, operacional e a satisfação dos usuários. No restante da tabela são listados os sub-critérios de desempenho operacional e financeiro, sendo excluídos os sub-critérios de satisfação dos usuários porque os pesos desses critérios são definidos pelos clientes das concessionárias e não pelos agentes deliberantes do Ministério dos Transportes.

Tabela 22 – Pesos dos indicadores das estruturas de *benchmarking* interno

Indicadores	Resultado Original	Ajuste	Análise de sensibilidade
Clientes	0,752	0,750	0,753
Operação	0,192	0,171	0,190
Finanças	0,051	0,078	0,057
RC	0,36	0,10	-
Produção	0,335	0,341	0,332
Seg Ferroviária	0,303	0,322	0,303
Eficácia	0,130	0,108	0,130
Inovação	0,087	0,078	0,085
Recursos	0,055	0,045	0,056
Eficiência	0,032	0,039	0,032
Qualidade	0,020	0,023	0,021
Produtividade	0,020	0,022	0,021
QVT	0,019	0,021	0,021
RC	0,20	0,10	-
Rentabilidade	0,415	-	-
Resultado	0,375	-	-
Liquidez	0,109	-	-
Balanço	0,059	-	-
Estrutura de Capital	0,042	-	-
RC	0,10	-	-

Como pode ser observado na Tabela 22, há um domínio claro da questão satisfação dos clientes. Durante a entrevista com os agentes deliberantes, antes do desenvolvimento da discussão da estrutura hierárquica, esses já haviam declarado essa tendência.

A razão disso é que, atualmente, o Ministério dos Transportes utiliza o sistema de avaliação das concessionárias ferroviárias nacionais, definido na portaria nº447 de 15 de outubro de 1998, o qual é baseado na equação (3) onde o fator satisfação do usuário, que corresponde ao critério de Satisfação dos Clientes apresentado na estrutura hierárquica, tem um papel de destaque por representar 25% da avaliação das concessionárias.

$$CAD(n) = \frac{[(4 \times PMP) + (2 \times PMA) + (4 \times PIR) + CPT + CRF + (2 \times TCO) + TCT + (5 \times SU)]}{20} \quad (3)$$

onde:

- CAD – Critério de avaliação do desempenho;
- (n) – nota que a empresa recebe em função do critério de avaliação do desempenho;
- PMP – Percentual das Metas de Produção, obtido através da divisão do valor da produção em TKU realizado pela empresa, pelo valor da meta estabelecida no contrato de concessão, devendo o resultado ser multiplicado por 100 (cem);
- PMA – Percentual das metas de redução no número de acidentes, obtido da divisão do valor da meta de acidentes estabelecida em contrato, pelo quantitativo de acidentes efetivamente ocorridos, devendo o resultado ser multiplicado por 100 (cem);
- PIR – Percentual de investimento realizado, obtido através da divisão do valor dos investimentos efetivamente realizados, pelo valor previsto no plano trienal, devendo o resultado ser multiplicado por 100 (cem);
- CPT – Crescimento do produto TKU/Funcionários, obtido através da divisão do índice TKU/Funcionário ocorrido na empresa no correspondente ano, pelo valor do mesmo indicador do ano antecedente ao que pretende aferir, multiplicado por 100 (cem);
- CRF – Crescimento da receita por funcionários, obtida através da divisão do índice receita operacional/funcionário ocorrido na empresa no correspondente ano, pelo valor do mesmo índice do ano anterior, devendo o resultado ser subtraído de 1 (um) e, multiplicado por 100 (cem);

- TCO – Taxa de cobertura operacional, obtida através da divisão da média da receita operacional, pela média da despesa operacional do ano em avaliação, devendo o resultado ser multiplicado por 100 (cem);
- TCT – Taxa de cobertura total, obtida através da divisão da média da receita total, pela média da despesa total ao longo do ano em avaliação, devendo o resultado ser multiplicado por 100 (cem); e
- SU – Satisfação do usuário, caracterizada pela média aritmética das notas de zero a cem, dadas a empresa concessionária, por usuários escolhidos aleatoriamente.

Porém, apesar do peso relevante da satisfação dos usuários ou clientes na equação adotada pelo Ministério dos Transportes, a partir da discussão sobre os pesos da estrutura hierárquica, conclui-se que o valor desse critério ainda está muito baixo em relação ao que é expresso através do método AHP. Em vista desse fato, os resultados da estrutura hierárquica devem ser reavaliados.

Quanto à estrutura de benchmarking competitivo relacionada com a produção de transporte, os resultados da entrevista indicam que os indicadores relativos ao transporte de passageiros não são relevantes para as análises de desempenho. O indicador de desempenho mais significativo apontado foi o TKU devido ao seu papel no contrato de concessões ferroviárias no qual são estabelecidas metas de desempenho através desse indicador.

Para a estrutura de avaliação de recursos, os indicadores que medem a quantidade de carros de passageiros e o número de empregados foram considerados irrelevantes. A extensão da malha também recebeu um peso muito baixo apesar ter sido reconhecida a sua grande importância a longo prazo. Os indicadores julgados mais importantes para uma avaliação dos recursos de uma ferrovia são o número de locomotivas e em seguida o número de vagões de carga.

Os pesos dos critérios de avaliação para o benchmarking competitivo são listados na Tabela 23. Nela estão representados os pesos e os índices de consistência (RC) das matrizes de comparações paritárias originais, obtidas a partir da discussão com os agentes deliberantes e das matrizes que são ajustadas para melhorar a consistência das respostas.

Tabela 23 – Pesos dos indicadores das estruturas de benchmarking competitivo

Indicadores	Resultado Original	Ajuste 1	Ajuste 2	Ajuste 3	Análise de sensibilidade	
TKU	0,694	0,609	0,672	0,657	0,730	0,692
TU	0,225	0,278	0,238	0,243	0,270	0,256
Pass	0,047	0,059	0,046	0,051	0	0
P-km	0,034	0,054	0,045	0,049	0	0,052
RC	0,24	0,03	0,13	0,08	-	-
Locomot	0,596	0,519	0,564	-	0,584	0,821
VagCarga	0,262	0,301	0,279	-	0,289	0
Malha	0,078	0,093	0,086	-	0,089	0,126
Empr	0,033	0,045	0,036	-	0,038	0,053
VagPass	0,031	0,042	0,035	-	0	0
RC	0,15	0,02	0,08	-	-	-

Como pode ser observado, não há uma significativa mudança dos pesos nem distorção dos objetivos e valores dos agentes deliberantes expressos através do método AHP. O processo de ajuste é realizado utilizando as ferramentas do programa Expert Choice 9.0, que permitem identificar quais elementos da matriz de comparações paritárias causam maior inconsistência. Através do exame desses elementos, verificou-se que a inconsistência é resultado da sobreposição dos significados de alguns critérios e da limitação da escala fundamental de comparações (Tabela 9) em lidar com problemas onde dois critérios têm uma extrema importância sobre um terceiro e ao mesmo tempo um deles é extremamente importante em relação ao outro.

5.3.4 Fase de síntese do método AHP

Com os pesos dos critérios de avaliação definidos para todos os níveis da estrutura hierárquica, é possível realizar a fase de síntese e cálculo do vetor de prioridades das DMUs.

Para o *benchmarking* competitivo, é considerado o mesmo grupo de 63 DMUs usado para aplicação do método DEA. São calculados dois vetores de prioridades, um através da estrutura hierárquica de avaliação da Produção de Transporte e outro através da estrutura de avaliação de Recursos. A fim de produzir um único vetor de prioridades, fazendo uma analogia à

análise custo/benefício do método AHP, divide-se o vetor de Produção de Transporte pelo vetor de Recursos. Como resultado dessa operação, obtemos uma classificação das empresas ferroviárias baseada em uma medida agregada de produtividade total (Tabela 24).

Para a classificação das DMUs foram consideradas três possibilidades:

- nenhum dos pesos dos critérios das estruturas hierárquicas de avaliação é anulado;
- os indicadores relacionados com o transporte de passageiros são anulados; e
- os indicadores considerados são os mesmos adotados para os modelos DEA.

Os pesos dos critérios usados na técnica AHP para análise de Custo/Benefício (AHP C/B) para as hipóteses acima são obtidos através da análise de sensibilidade dos resultados do método AHP listados na Tabela 23. A classificação 1 usa os pesos obtidos na última iteração de ajuste de consistência. A classificação 2 usa os pesos da análise de sensibilidade sem os indicadores Pass, P-km e VagPass. Finalmente, a classificação 3 usa os indicadores TKU, P-km, Ton, Empr, Malha e Locomot.

A alta correlação ordinal dos rankings mostra que a desconsideração dos indicadores não altera significativamente a classificação das DMUs, exceto no caso da ferrovia japonesa que é voltada para o transporte de passageiros e os critérios de análise adotados privilegiam o transporte de carga.

Tabela 24 – Classificação AHP

DMU	Classificação 1	Classificação 2	Classificação 3
Burlington Northern	1	1	1
Japão	2	27	11
China	3	2	3
Ferrovias Classe I (EUA)	4	3	4
Conrail	5	4	5
Ucrânia	6	5	2
República da Coreia	7	8	7
Israel	8	6	8
Jordânia	9	7	10
Estônia	10	9	6
Lituânia	11	10	9
Índia	12	16	14
Letônia	13	11	12
Bielorússia	14	13	15
Marrocos	15	12	13
RFFSA	16	14	16
FEPASA	32	28	29
Correlação Ordinal	-	0,913	0,9566

5.4 Correlação entre DEA e AHP

Para análise de correlação ordinal entre o método DEA e AHP, são comparados os *ranks* obtidos através das formulações CCR, BCC, MULTv e a técnica AHP C/B. A escolha das duas primeiras formulações do DEA se deve ao fato dessas serem as mais usuais e porque foi através do modelo CCR que Tone (1989) identificou a semelhança entre DEA e AHP

Nas Tabelas 25 e 26, são comparadas algumas formulações DEA possíveis empregando o primeiro conjunto de nove indicadores selecionados (Malha, Locomot, Empr, VagCarga, VagPass, Pass, P-km, Ton, TKU) e na Tabela 27 o segundo conjunto de seis indicadores selecionados, onde são excluídos VagCarga, VagPass e Pass.

Tabela 25 – Correlação ordinal dos *ranks* DEA(radiais) e AHP

Classe	CCR-IN CCR-OUT	BCC-IN	BCC-OUT	AHP C/B Classificação 1
Eficiência Robusta	Israel Burlington Northern Japão China República da Coréia Estônia Ucrânia Conrail	Japão Israel Jordânia República da Coréia Burlington Northern China Estônia Conrail Ucrânia	Japão Israel Burlington Northern Ucrânia República da Coréia China Conrail Jordânia Estônia Reino Unido	Burlington Northern Japão China Classe I (EUA) Conrail Ucrânia República da Coréia Israel Jordânia Estônia
Eficiência Marginal	Reino Unido Jordânia Amtrak Via Rail	Reino Unido Bélgica Amtrak Via Rail EUA (Classe I) Índia	EUA (Classe I) Amtrak Bélgica Via Rail Índia	Lituânia Índia Letônia Bielorússia Marrocos RFFSA
r-Ordinal	0,7740	0,6830	0,7777	-

Além das correlações apresentadas nas Tabelas 25, 26 e 27, são analisados outros casos que não são mostrados devido ao grande número de combinações possíveis. Mas, de maneira geral, verifica-se que os modelos Aditivos são pouco correlacionados com o *rank* AHP C/B, as melhores correlações são obtidas com os modelos Multiplicativos, CCR e BCC.

Tabela 26 – Correlação ordinal dos *ranks* DEA(não radiais) e AHP

Classe	ADDv	MULTv		AHP C/B Classificação 1
Eficiência Robusta	Japão Jordânia Israel Burlington Northern República da Coréia Ucrânia Conrail China	República da Coréia Israel Japão China		Burlington Northern Japão China Classe I (EUA) Conrail Ucrânia República da Coréia Israel
Eficiência Marginal	Estônia Classe I (EUA) Índia Bélgica Via Rail Amtrak Reino Unido	Burlington Northern Gabão Ucrânia Sri Lanka Via Rail Classe I (EUA) Camarões Malawi Zâmbia Egito Arábia Saudita	Estônia Tailândia Índia Dinamarca Holanda Portugal Reino Unido Alemanha Amtrak Conrail	Jordânia Estônia Lituânia Índia Letônia Bielorússia Marrocos RFFSA
r-Ordinal	0,3416	0,5810		-

Tabela 27– Correlação ordinal dos *ranks* DEA e AHP

Classe	CCR-OUT*	BCC-OUT	MULTv	AHP C/B Classificação 3
Eficiência Robusta	Ucrânia Estônia China República da Coréia Israel Japão Burlington Northern	Ucrânia Japão Israel República da Coréia Burlington Northern Conrail Estônia Jordânia	República da Coréia Israel China Ucrânia	Burlington Northern Ucrânia China Classe I (EUA) Conrail Estônia República da Coréia Israel
Eficiência Marginal		Classe I (EUA) China Índia	Suécia Estônia Japão Sri Lanka Burlington Northern Jordânia África do Sul Egito Via Rail Conrail Tailândia Classe I (EUA)	Lituânia Jordânia Japão Letônia Marrocos Índia Bielorússia RFFSA
r-Ordinal	0,9324	0,8304	0,7619	-

* O modelo CCR-OUT é alterado para considerar apenas o TKU como variável controlável

Outra observação das análises de correlação é que, ao adotarmos os indicadores considerados pouco importantes pelos agentes deliberantes como variáveis não controláveis, é possível melhorar a correlação entre o ranking DEA e AHP C/B. Como exemplo temos o modelo CCR – OUT, no qual a correlação ordinal melhorou para 0,8946 com a exclusão do fator P-km da função objetivo, e para 0,9234 com a exclusão dos fatores P-km e Ton .

5.5 Conclusões do capítulo

Analisando os dados disponíveis, conclui-se que as DMUs selecionadas são heterogêneas devido à variação das características particulares de cada empresa ferroviária. Essas diferenças dificultam a análise comparativa das empresas porque existem diversos fatores que influem no desempenho e que talvez não sejam comuns a todas elas. Também há o problema da variação dos dados que pode causar problemas numéricos ao método DEA.

Apesar desses problemas, decidiu-se prosseguir as análises de todas as ferrovias de transporte de carga e passageiros independente de seu porte. A justificativa para isso é o grau de agregação dos indicadores disponíveis que permite representar as particularidades de cada DMU através dos resultados globais, apesar da dificuldade de identificação das causas de seu comportamento.

Outras razões para o prosseguimento da análise, são as próprias características do método DEA que através da comparação de DMUs, permite o estudo de possíveis causas de ineficiência, mesmo para dados agregados. Além disso, através das formulações DEA insensíveis a mudanças de unidade e escala dos dados é possível a comparação de DMUs com grande variação na composição de seus *inputs* e *outputs*.

As variáveis escolhidas como *inputs* para a avaliação do *benchmarking* competitivo são a extensão da malha (Malha), o número de locomotivas (Locomot) e o número de empregados envolvidos nas atividades de transporte (Empr). Como variáveis de *output* foram selecionadas a quantidade de toneladas de carga transportadas (Ton), a quantidade de toneladas quilômetro útil (TKU) e o total de passageiros quilômetro transportados (P-km).

O modelo DEA selecionado é o Multiplicativo – VRS devido à presença de variáveis nulas e à grande variação de escala dos indicadores. Mas nenhuma suposição é feita quanto ao controle das variáveis para melhorar a precisão dos resultados do modelo, porque tais hipóteses dependem dos objetivos dos agentes deliberantes.

Com a resolução do modelo Multiplicativo – VRS adotado, verifica-se que as DMUs que apresentam eficiência robusta em 1994 são a República da Coreia, Israel, China e Ucrânia. Essas DMUs também aparecem nos grupos de eficiência robusta, formados pelos demais modelos DEA confirmando assim o resultado. Mas, as metas de desempenho calculadas para a RFFSA e FEPASA são infactíveis a curto prazo, devido ao fato destas DMUs estarem na região de ineficiência distinta.

Dentre os modelos DEA analisados, os Radiais apresentam melhores correlações ordinais com o AHP, sendo o CCR-OUT o que apresenta o maior índice de correlação. Observa-se também que ao orientar os modelos DEA para buscarem projeções eficientes seguindo apenas as variáveis que recebem o maior peso nas análises AHP, a correlação dos *ranks* é aumentada.

No próximo capítulo são apresentadas as conclusões dessa pesquisa sobre a comparação dos métodos, as restrições das análises e algumas sugestões para a continuidade dos trabalhos.

6 CONCLUSÃO

6.1 Conclusões da pesquisa

Nessa pesquisa, conclui-se que o processo de reestruturação do transporte ferroviário demanda um sistema de monitoração de desempenho das concessões ferroviárias que permita ao poder concedente acompanhar e intervir, se necessário, nas concessionárias para garantir a qualidade dos serviços ferroviários. Tal sistema de monitoração deve considerar múltiplos fatores devido às características dos serviços de transporte.

No Brasil, o Ministério dos Transportes adotou um sistema que procura atender a tais características. Esse sistema é baseado na equação Critério de Avaliação de Desempenho (CAD) a qual é composta por critérios de desempenho operacional, financeiro e de satisfação dos usuários (SU). Esse último fator é determinado através de uma pesquisa de opinião junto aos usuários das concessionárias nacionais, baseada no método TRANSQUAL (Lima Junior, 1995).

Ao longo dessa pesquisa é analisado o sistema de avaliação anterior ao CAD, que apresenta uma maior afinidade com as técnicas empregadas nesse trabalho. Além disso, esse sistema de avaliação de concessionárias ferroviárias permite avaliar as questões de desempenho financeiro, operacional e de satisfação dos clientes através da mensuração de 76 variáveis. Sendo que esse conjunto de variáveis considera, inclusive, os mesmos indicadores adotados posteriormente para o cálculo do fator SU que integra a equação CAD.

Através da pesquisa bibliográfica, são identificados alguns métodos de avaliação de desempenho de indicadores e critérios para a escolha dos métodos mais adequados aos serviços

de transportes. Os métodos DEA e AHP são selecionados em virtude de sua versatilidade e adequação à questão de benchmarking identificada com a reestruturação do transporte ferroviário.

Outro fator contribuinte para a escolha desses métodos é o seu potencial quando usados em conjunto para uma avaliação de desempenho. A partir do estudo da bibliografia sobre os métodos DEA e AHP, os elementos de comparação resumidos na Tabela 28 foram levantados.

Tabela 28 – Comparação entre DEA e AHP

	DEA	AHP
Motivação	Medir a eficiência de DMUs através de um índice global que expresse o resultado de múltiplos aspectos do desempenho	Auxiliar a estruturação, julgamento e síntese de um problema de decisão com múltiplos critérios
Fonte de dados	Os dados são objetivos e representam fatores de entrada e saída de um sistema ou processo	Os dados são subjetivos e representam a intensidade de fatores de benefício ou custo percebidos pelos deliberantes
Ponderações	Os pesos variam de uma DMU para outra e são obtidos pela resolução de um modelo de programação fracionária	Os pesos não variam entre as DMUs e são determinados pelas matrizes de comparações paritárias e pelo cálculo dos autovetores
Objeto de Análise	Qualquer sistema que possua um conjunto de entradas e saídas mensuráveis – DMU	Alternativas que possam ser caracterizadas e julgadas segundo um conjunto de critérios comuns
Tempo	Fornecer uma avaliação instantânea de um conjunto de dados colhidos em um determinado momento	Como a avaliação é subjetiva a percepção dos agentes deliberantes não é limitada a um único instante
Incerteza	O método é sensível a erros nas medições dos dados	O método é sensível à incerteza nos julgamentos e ao número de critérios e alternativas
Complexidade	O método é capaz de lidar com um grande número de variáveis, mas para isso é necessária uma amostra com pelo menos o dobro do número de variáveis	Recomenda-se o uso de matrizes de comparações paritárias com até nove elementos
Tipo de variáveis	Principalmente fatores quantitativos	Principalmente fatores qualitativos ou subjetivos
Implementação	Em princípio é necessária apenas a mensuração de um conjunto de fatores de entrada e saída para um grupo de DMUs e a disponibilidade de um solver matemático, mas a seleção de indicadores, DMUs e estratégias de modelagem também são desejáveis	Requer um trabalho de análise do problema para identificar e estruturar um conjunto de critérios e alternativas, uma pesquisa para levantar as ponderações e um programa adequado para processar os dados e sintetizar os resultados

A partir da revisão bibliográfica, define-se um critério para a seleção dos modelos DEA mais adequados através da avaliação das características dos dados disponíveis. Também são identificadas, na literatura, e reunidas nesse trabalho diversas formas de analisar os parâmetros obtidos com a resolução das formulações DEA.

Quanto ao AHP, conclui-se que a aplicação de questionários em grupos de discussão possibilita uma melhor interação entre analista e agentes deliberantes, facilitando a compreensão do método pelas pessoas não familiarizadas e conduzindo os agentes deliberantes a discussões mais objetivas.

6.2 Conclusões das análises

6.2.1 Benchmarking Competitivo

Os resultados obtidos através da aplicação das principais formulações DEA, apresentam uma convergência na formação dos *rankings* de desempenho, demonstrando a estabilidade do método em definir a fronteira de produção para um mesmo conjunto de dados.

Quanto à identificação dos *benchmarks*, o método DEA é bem sucedido em localizar, na fronteira de produção, as empresas ferroviárias que apresentam composições de insumos e produtos semelhantes. Tais ferrovias não poderiam ser identificadas de maneira simples através das análises de indicadores ou taxas parciais de desempenho.

Contudo, as metas identificadas através das variáveis de folga e excesso dos modelos de programação linear para as empresas ferroviárias com ineficiência distinta, são ineficazes a curto e médio prazo, como foi previsto por Norman e Stoker (1991). Mas, para as empresas com ineficiência marginal tais metas parecem razoáveis.

Como resultado da fase de discussão dos critérios de avaliação e julgamento da estrutura hierárquica AHP para o *benchmarking* competitivo, tem-se a identificação da produtividade de locomotivas como o fator mais relevante para o desempenho de uma ferrovia.

Na realidade, a malha também é considerada um fator importante pelos agentes deliberantes, mas como é concluído nas discussões da fase de julgamento do método AHP, a malha é importante a longo prazo. Isso significa que se fosse incluída na estrutura de

benchmarking AHP, a questão do horizonte de análise, os pesos dos critérios de avaliação de desempenho sofreriam algumas alterações.

Quanto à produtividade dos empregados, essa questão não é considerada importante porque esse assunto é visto como de interesse exclusivo da administração das concessionárias ferroviárias e a estrutura hierárquica de avaliação é julgada do ponto de vista do poder concedente.

Em função desses resultados obtém-se para o *benchmarking* competitivo um *rank* de ferrovias definido através de sua produtividade total, porém devido à ênfase dos agentes deliberantes nos fatores TKU e o número de locomotivas, há uma forte correlação ordinal entre a estrutura AHP e a taxa de produtividade de locomotivas, significando que a análise pode ser um tanto restrita ou então substituída pelo uso de taxas parciais de produtividade.

6.2.2 Benchmarking Nacional

Quanto à análise de *benchmarking* planejada utilizando o método AHP, somente a estrutura hierárquica para o desenvolvimento do *benchmarking* competitivo é possível de ser completada. A estrutura idealizada para o *benchmarking* das concessionárias nacionais não é aplicada devido a uma divergência grande em relação ao critério adotado pelo Ministério dos Transportes, na atribuição da importância dos critérios globais de desempenho.

O método adotado pelo governo para avaliação das concessionárias ferroviárias é baseado num índice de desempenho total (CAD) fornecido por uma equação que leva em conta um grupo de indicadores operacionais, um grupo de indicadores financeiros e um indicador baseado no método TRANSQUAL de avaliação da percepção de qualidade de serviços de transportes. Nessa equação esses fatores recebem pesos conforme seu grau de importância para as análises. Ao desempenho operacional foi atribuído um peso que o faz corresponder a 60% do índice de desempenho total. O desempenho financeiro corresponde à 15% e a satisfação dos usuários à 25%. Esses pesos, segundo a equipe do Ministério dos Transportes, foram definidos após uma cuidadosa pesquisa a qual levou em consideração a opinião de diversos especialistas.

Por outro lado, na discussão conduzida segundo o método AHP, a qual foi desenvolvida com os especialistas do Ministério dos Transportes, foram atribuídos aos critérios de Satisfação dos Clientes, Desempenho Operacional e Desempenho Financeiro, os seguintes pesos, respectivamente: 0,75; 0,20; 0,05. A excessiva ênfase na satisfação dos usuários coloca este critério como o indicador fundamental do desempenho de uma concessionária ferroviária.

Como essa divergência não é detectada pelos testes de consistência das matrizes de comparações paritárias, a provável razão dessa divergência deve ser a falta de visibilidade dos indicadores operacionais na estrutura hierárquica. Como a estrutura é muito grande e dividida em vários níveis, não fica claro para os agentes deliberantes o significado dos elementos contidos no critério Desempenho Operacional durante o desenvolvimento das discussões e resposta dos questionários.

A razão disso é que o questionário aplicado na entrevista foi organizado para que os níveis mais altos da estrutura fossem examinados primeiro e em seguida os níveis mais baixos. Devido à limitação do tempo disponível dos agentes deliberantes, o processo de discussão foi simplificado e os sub-critérios da estrutura não foram discutidos.

Portanto, os indicadores operacionais importantes para a equação adotada pelo Ministério dos Transportes não devem ter sido associados corretamente na estrutura hierárquica. Além disso, os agentes deliberantes podem ter sido influenciados pelo papel de destaque e inovação da pesquisa de satisfação dos usuários, no método de avaliação das concessionárias adotado pelo Ministério dos Transportes.

Toda análise AHP requer uma intensa participação dos agentes deliberantes em todas as suas fases a fim de aprimorar a estrutura de avaliação e seus critérios. Infelizmente, isto não foi possível devido à distância entre analista e agentes deliberantes e a defasagem de tempo entre o início e fim da pesquisa.

Assim sendo, para resolver a divergência entre os dois métodos de avaliação é necessário rever, com os agentes deliberantes, os questionários, a estrutura hierárquica e os

objetivos da análise, a fim de construir uma estrutura hierárquica que represente melhor os objetivos dos agentes deliberantes.

6.2.3 Integração DEA e AHP

Finalmente, com a aplicação conjunta dos métodos AHP e DEA, além dos resultados e informações obtidos através de cada um deles sobre desempenho de empresas ferroviárias, é possível verificar na prática as semelhanças entre DEA e AHP sugeridas por Tone (1989) e considerar na modelagem DEA a experiência dos agentes deliberantes de uma forma alternativa a que é encontrada na bibliografia consultada.

Segundo Tone (1989) uma das aplicações do método AHP seria auxiliar na formulação de novas restrições aos pesos dos modelos DEA através da comparação com os pesos correspondentes obtidos com o AHP. Mas através da comparação dos *ranks* de desempenho definidos por ambos os métodos e a mensuração de sua correlação ordinal, pode-se verificar que a correlação entre DEA e AHP pode ser aumentada através da reformulação da função objetivo e de algumas restrições, sem a necessidade de novas equações.

A alteração da função objetivo ou das restrições é um recurso do método DEA para lidar com variáveis não controláveis, no qual tais fatores, por exemplo, são simplesmente excluídos da função objetivo. Isso possibilita controlar a forma como são projetadas as DMU ineficientes na fronteira de produção.

Considerando que não há um critério único de avaliação de desempenho, mas apenas critérios mais adequados a determinados objetivos, a possibilidade de modelagem e adaptação do método DEA aos padrões e valores dos agentes deliberantes é uma importante vantagem obtida com a associação dos métodos DEA e AHP. Porque a correlação ordinal entre os vetores de prioridades DEA e AHP torna o processo de ranking mais transparente, quebrando uma das barreiras à aceitação do método DEA.

Feita a ligação entre os dois métodos, pode-se ampliar o espectro de informações obtidas em uma análise de *benchmarking*, possibilitando, inclusive, uma análise crítica aos critérios de julgamento dos agentes deliberantes.

6.3 Recomendações

Na literatura, o método AHP é reconhecido como uma forma robusta de definição de rankings. Essa propriedade é confirmada com a comparação dos resultados obtidos com as estruturas hierárquicas originais e ajustadas, construídas para o benchmarking competitivo.

A literatura também se refere ao método DEA como sensível às variações dos dados, o que leva a uma redução na confiabilidade de seus resultados. Mas, devido à boa correlação ordinal entre os *ranks* de algumas formulações DEA e o método AHP, talvez a instabilidade esteja restrita apenas aos valores dos índices de desempenho e não necessariamente aos *ranks*.

Uma continuidade desse trabalho é necessária para se verificar a variação dos *ranks* calculados em diferentes momentos, dado que a qualidade da mensuração dos dados não pode ser garantida e a variedade de indicadores é limitada.

Uma oportunidade de pesquisa imediata, é a conclusão do projeto de *benchmarking* nacional das concessionárias ferroviárias. Com os relatórios de acompanhamento das concessões e dos resultados da pesquisa de avaliação do nível de satisfação do usuário, estarão disponíveis dados importantes para completar a estrutura de avaliação proposta nesse trabalho. Além disso seria necessário avaliar a variação dos *ranks* ao longo do tempo.

Essa pesquisa apesar de ter sua origem e motivação na questão de avaliação das concessões ferroviárias, devido à versatilidade das técnicas utilizadas, pode ser perfeitamente adaptada aos demais serviços de transportes. Essa é a principal sugestão para o desenvolvimento de novas pesquisas, porque possibilita o teste e aprimoramento da metodologia aqui proposta.

Em transporte urbano, por exemplo, seria possível o desenvolvimento de um *benchmarking* municipal de empresas de ônibus empregando o método AHP e um *benchmarking* nacional usando só o DEA ou ambos os métodos. Para a estruturação dos critérios de avaliação de desempenho pode ser empregado o sistema desenvolvido para o prêmio de qualidade da ANTP.

Outro campo de aplicação é na concessão dos serviços portuários brasileiros. Semelhante à questão ferroviária, poderia ser feito um *benchmarking* nacional e outro mundial. Essa pesquisa seria relevante devido ao crescimento da competitividade deste setor e sua importância para a eficiência dos serviços logísticos do país.

Outra área importante para a logística do país é o transporte rodoviário. Nesse setor, tem-se a questão das concessões das rodovias que ainda carece de um sistema de avaliação de desempenho. Quanto às empresas de transporte de cargas, o uso das ferramentas apresentadas nesse trabalho seriam úteis, por exemplo, para a avaliação comparativa do desempenho de seus terminais de transbordo e em estágios mais avançados, no *benchmarking* entre as empresas transportadoras ou na avaliação de operadores logísticos terceirizados. Estudos semelhantes também poderiam ser feitos para o transporte de passageiros, através do *benchmarking* das companhias de ônibus intermunicipais e interestaduais como também dos terminais rodoviários.

Mas é na avaliação do transporte aéreo em que talvez se encontre o campo mais interessante de pesquisa, devido à variedade de questões de desempenho envolvidas nesse meio de transporte. As companhias aéreas e aeroportos empregam intensa tecnologia, mão-de-obra e capital a fim de atender os altos padrões exigidos pelo mercado de transporte de passageiros e de cargas com alto valor agregado.

Existem ainda diversas áreas além do planejamento de transporte, onde as técnicas aqui apresentadas seriam de grande valor. Em muitas delas o DEA e AHP já são normalmente empregados, mas são poucas as aplicações conjuntas desses métodos.

Nessa pesquisa não foi possível testar o uso simultâneo de indicadores quantitativos e qualitativos, mas essa potencialidade e o caminho para sua realização ficaram claros.

Também ficou claro o potencial da integração DEA/AHP para lidar com problemas de decisão e escolha entre múltiplas alternativas. Principalmente quando eles necessitem considerar fatores que escapam ao conceito de Custo Total ou problemas que além da análise do sistema em questão necessitam considerar o macro sistema do qual fazem parte. Em tais situações nas quais a satisfação dos clientes, a competição, inovações tecnológicas e impactos ambientais se confundem com questões operacionais ou financeiras, é necessário ampliar os critérios de análise para avaliar o Desempenho Total.

Anexo – Questionário para aplicação do método AHP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA E TRANSPORTES

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Questionário para aplicação do método
Analytic Hierarchy Process - AHP

Humberto de Paiva Junior

Orientador: Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	138
1 INTRODUÇÃO.....	139
2 PRINCIPAIS ELEMENTOS DA PESQUISA.....	140
3 OBJETIVO	141
4 JUSTIFICATIVA	142
5 INSTRUÇÕES	143
6 QUESTIONÁRIO PARA BENCHMARKING INTERNO	151
7 QUESTIONÁRIO PARA BENCHMARKING COMPETITIVO.....	163

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – QUALIDADE DO SERVIÇO FERROVIÁRIO	145
FIGURA 2 – SATISFAÇÃO DOS CLIENTES	146
FIGURA 3 – DESEMPENHO OPERACIONAL (1).....	147
FIGURA 4 – DESEMPENHO OPERACIONAL (2).....	148
FIGURA 5 – DESEMPENHO OPERACIONAL (3).....	149
FIGURA 6 – DESEMPENHO OPERACIONAL (4).....	150

1 INTRODUÇÃO

Devido ao seu caráter estratégico, a visão de monopólio natural e a crença em um mercado cativo, as ferrovias sempre foram tratadas como responsabilidade do governo. Isto motivou as intervenções do Estado em épocas passadas, durante o período de expansão ferroviária. Mas a partir do início deste século, o transporte ferroviário entra em declínio, devido à concorrência com outros modais e às mudanças nas características do mercado. Verifica-se hoje que a origem dos problemas ferroviários está na falta de compreensão tanto da estrutura interna do serviço ferroviário como de suas relações com o meio externo.

Como consequência da reformulação do papel do Estado no mundo e da transformação do mercado de transportes, temos a atual reestruturação dos serviços ferroviários que procura reverter esse declínio. Mas apesar dessas mudanças, a responsabilidade sob a gestão deste meio de transporte permanece com o governo.

Neste contexto, torna-se essencial monitorar o desempenho das novas empresas ferroviárias para avaliar os resultados obtidos com a reestruturação e privatização dos sistemas.

Uma abordagem para este problema é a aplicação de um benchmarking, através dos métodos *Data Envelopment Analysis* e *Analytic Hierarchy Process*, para identificar as empresas líderes de mercado, as melhores práticas gerenciais e os pontos fortes e fracos do setor ferroviário, estabelecendo um conjunto de indicadores e metas de desempenho relevantes e realistas.

2 PRINCIPAIS ELEMENTOS DA PESQUISA

O *benchmarking* é definido como um processo contínuo e sistemático de avaliação de produtos, serviços e processos de trabalho de uma organização, comparando-os com as melhores práticas, das companhias reconhecidas como líderes de mercado. O *benchmarking* auxilia a administração do desempenho, definindo objetivos e reconhecendo estratégias para obtê-los.

Para a realização do benchmarking, neste trabalho, foram escolhidas duas técnicas muito utilizadas atualmente nas áreas de Avaliação de Desempenho e Decisão.

A primeira é o método *Data Envelopment Analysis* (DEA) que é uma técnica para avaliação da eficiência de sistemas produtivos que possuem processos para os quais é possível se identificar e medir múltiplos indicadores, considerando suas diferenças de porte e tecnologia.

A segunda é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que permite considerar fatores quantificáveis e critérios subjetivos. O AHP é uma forma de análise sistemática e interativa que requer uma profunda discussão e reflexão, de uma equipe de especialistas ou profissionais com experiência sobre o assunto estudado, para a elaboração de critérios e parâmetros de avaliação.

3 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é aplicar o método *Data Envelopment Analysis* (DEA) e o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) na avaliação do desempenho de serviços de transporte.

O objetivo da reunião com a equipe do Ministério dos Transportes, envolvida no projeto de avaliação de desempenho das concessionárias ferroviárias nacionais, é apresentar um seminário para familiarizar esta equipe com o método AHP e realizar uma dinâmica de grupo para aplicá-lo.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

4 JUSTIFICATIVA

Para a avaliação de desempenho das empresas ferroviárias, nesta pesquisa de mestrado em andamento, foi adotada a seguinte estratégia: uma avaliação global usando o método DEA para comparar diversos países e uma avaliação local, aplicando AHP, envolvendo apenas as concessionárias ferroviárias brasileiras. Essa estratégia se deve às limitações quanto à acessibilidade e disponibilidade de dados. Para a análise global, há um conjunto menor de indicadores, restringindo o estudo à análise DEA. No caso nacional, existe a possibilidade de uma análise mais detalhada, aplicando o AHP com a colaboração dos especialistas do Ministério dos Transportes.

A participação dos especialistas é necessária para o julgamento dos critérios da estrutura de indicadores de desempenho ferroviário. Esse julgamento será realizado através de uma discussão em grupo orientada pela técnica de resolução de conflitos do AHP. O trabalho consistirá de uma análise crítica dos indicadores de desempenho ferroviário e determinação do peso de cada um deles na representação global da produtividade e qualidade do serviço prestado. Nesta etapa da pesquisa a discussão realizada na dinâmica de grupo deverá ser focada somente nos critérios da estrutura de avaliação.

Portanto a participação dos profissionais envolvidos com a questão de desempenho em transporte ferroviário representará uma importante contribuição para essa pesquisa e posteriormente para a aplicação prática de seus resultados em outros sistemas de transportes.

5 INSTRUÇÕES

O questionário consiste de um conjunto de questões de múltipla escolha, elaboradas para que os agentes deliberantes comparem todos os elementos de cada nível da estrutura hierárquica sob um determinado ponto de vista.

Portanto em cada questão os deliberantes encontrarão o ponto de vista a ser considerado nas comparações paritárias e uma tabela contendo todos os elementos do nível analisado.

As tabelas estão organizadas da seguinte forma: cada linha contém apenas os dois elementos que devem ser comparados, naquele momento, sob o ponto de vista em questão. Entre esses elementos esta expressa uma seqüência numérica, que representa a escala de julgamentos proposta por T.L. Saaty e melhor explicada na Tabela 1.

Para responder ao questionário, os agentes deliberantes deverão fazer uma marca na escala de julgamentos, de cada linha, que em sua opinião representa melhor o grau de importância de um critério sobre o outro, segundo o ponto de vista em questão. Portanto, de maneira análoga a uma balança, deverá ser identificado o critério de maior peso e a sua intensidade.

A fim de facilitar o entendimento, cada questão possui uma tabela auxiliar que apresenta o significado das abreviações de cada critério. Porém para o melhor entendimento do significado dos critérios é aconselhável observar a posição deste na estrutura e o conjunto de indicadores que estão contidos nesse critério. Para isso são apresentadas, nas figuras 1 a 6, a estrutura total de indicadores de desempenho.

Tabela 1 - Escala de Comparação

Intensidade ou importância em escala absoluta	Definições	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
5	Forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extrema importância	O evidente favorecimento de uma atividade em relação à outra é a mais alta ordem de afirmação possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos adjacentes	
Recíprocos	Se a atividade i assumir um dos valores acima apresentados quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando for comparado com a atividade i	
Racionais	Taxas resultantes da escala	Se a consistência precisar ser forçada pela obtenção de n valores numéricos distribuídos na matriz

Extraído de T.L. Saaty "Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process" (1990)

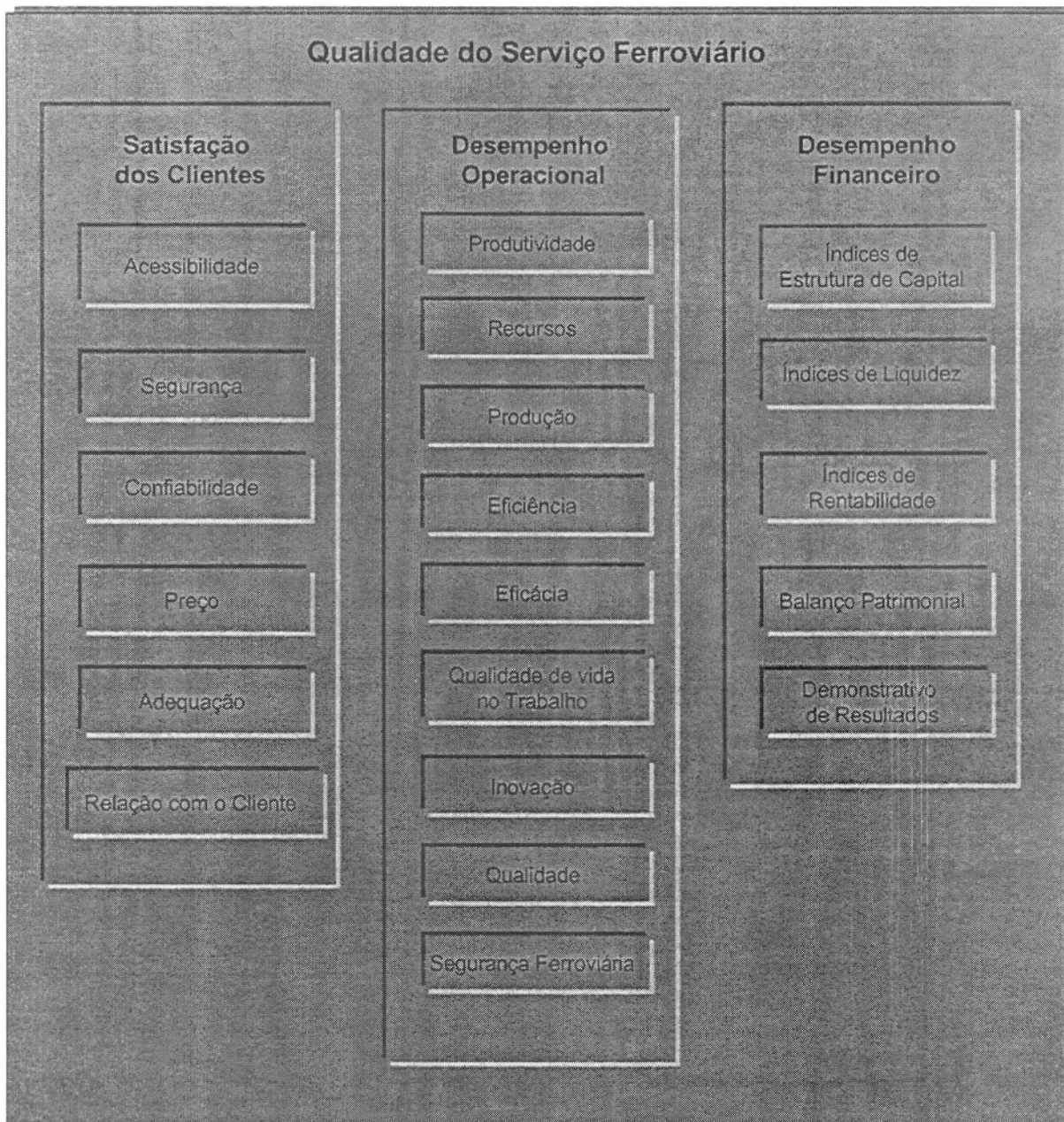


Figura 1 - Qualidade do serviço ferroviário

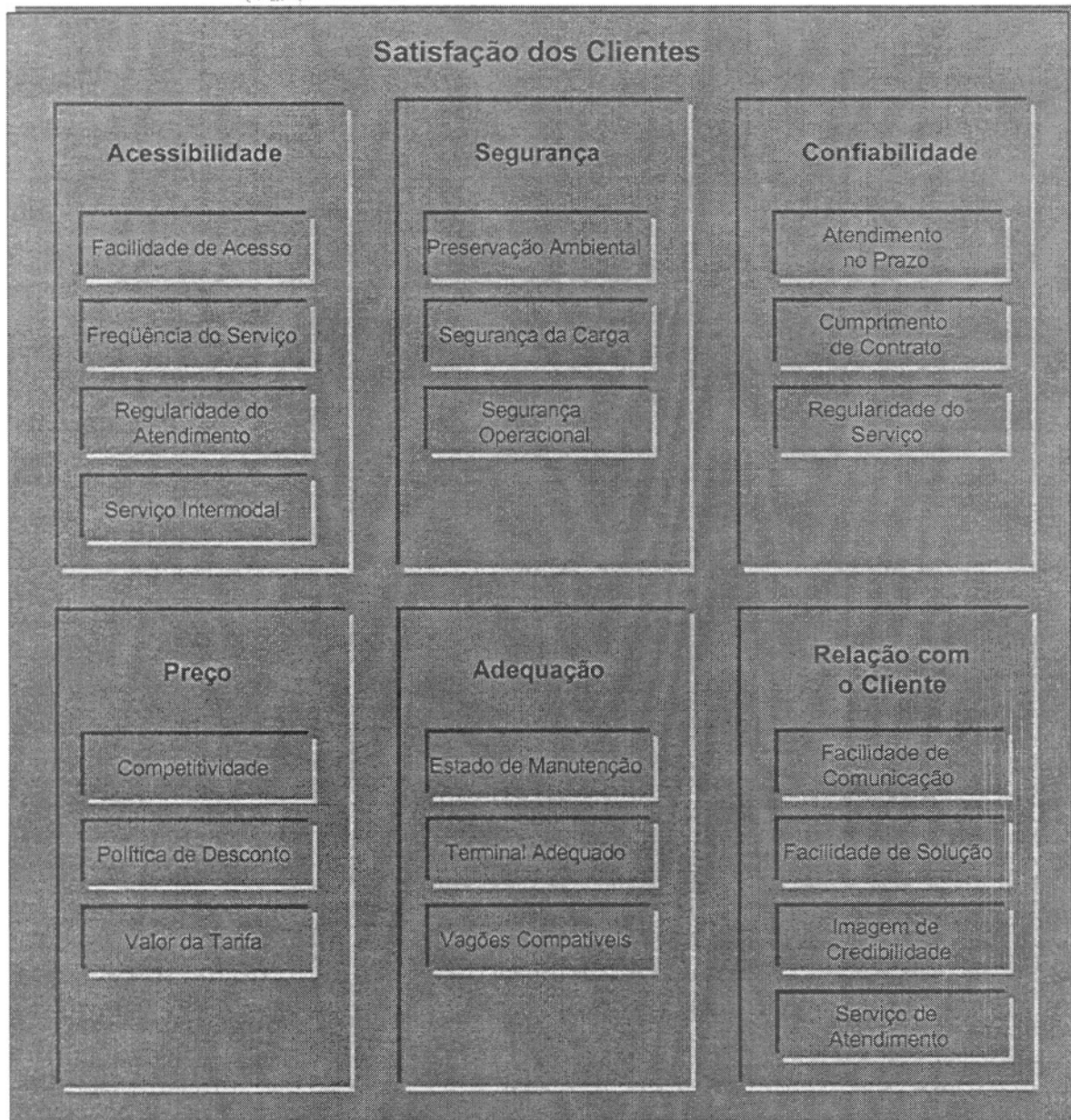


Figura 2 - Satisfação dos clientes

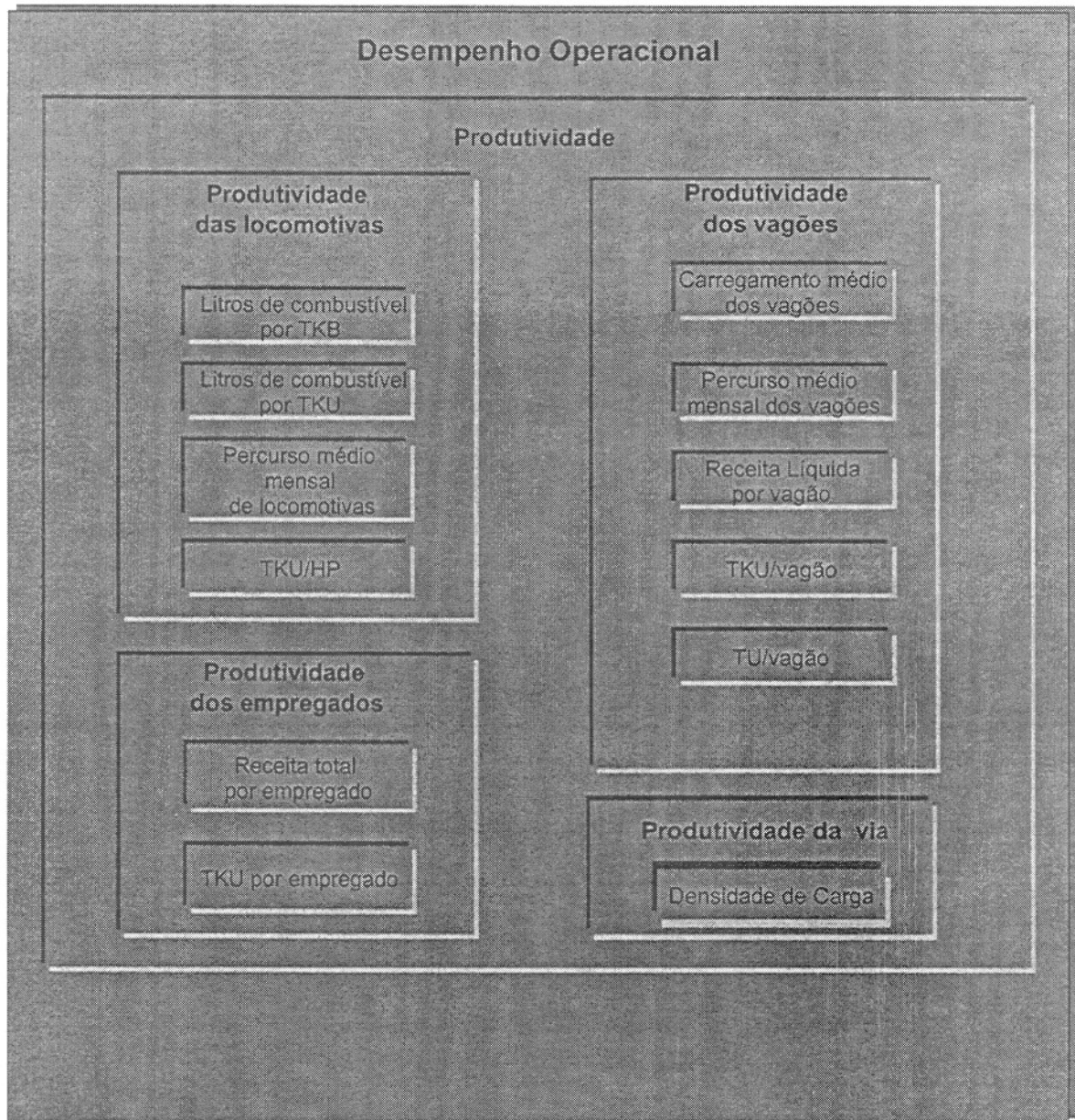


Figura 3 - Desempenho operacional (1)

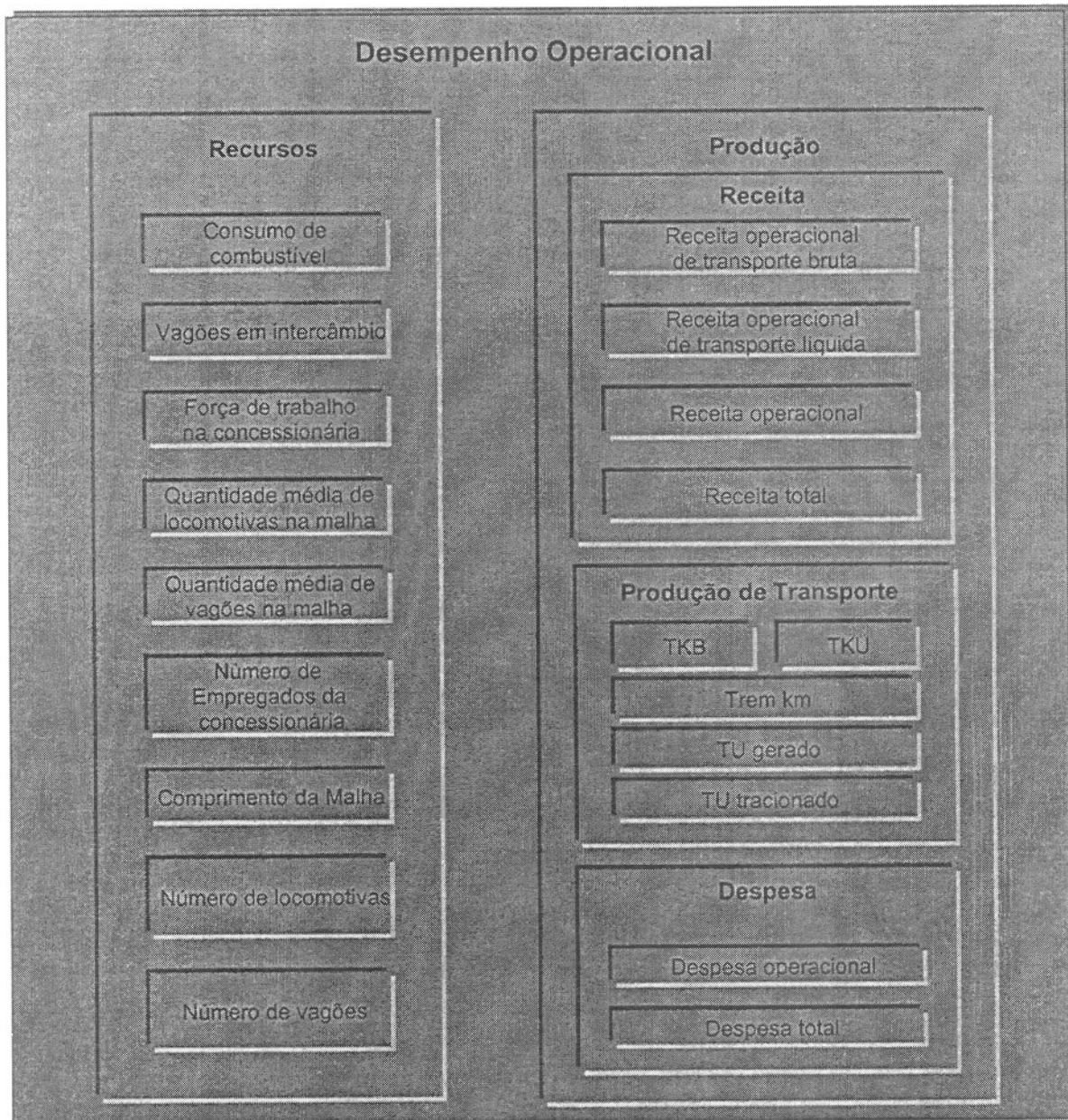


Figura 4 - Desempenho operacional (2)

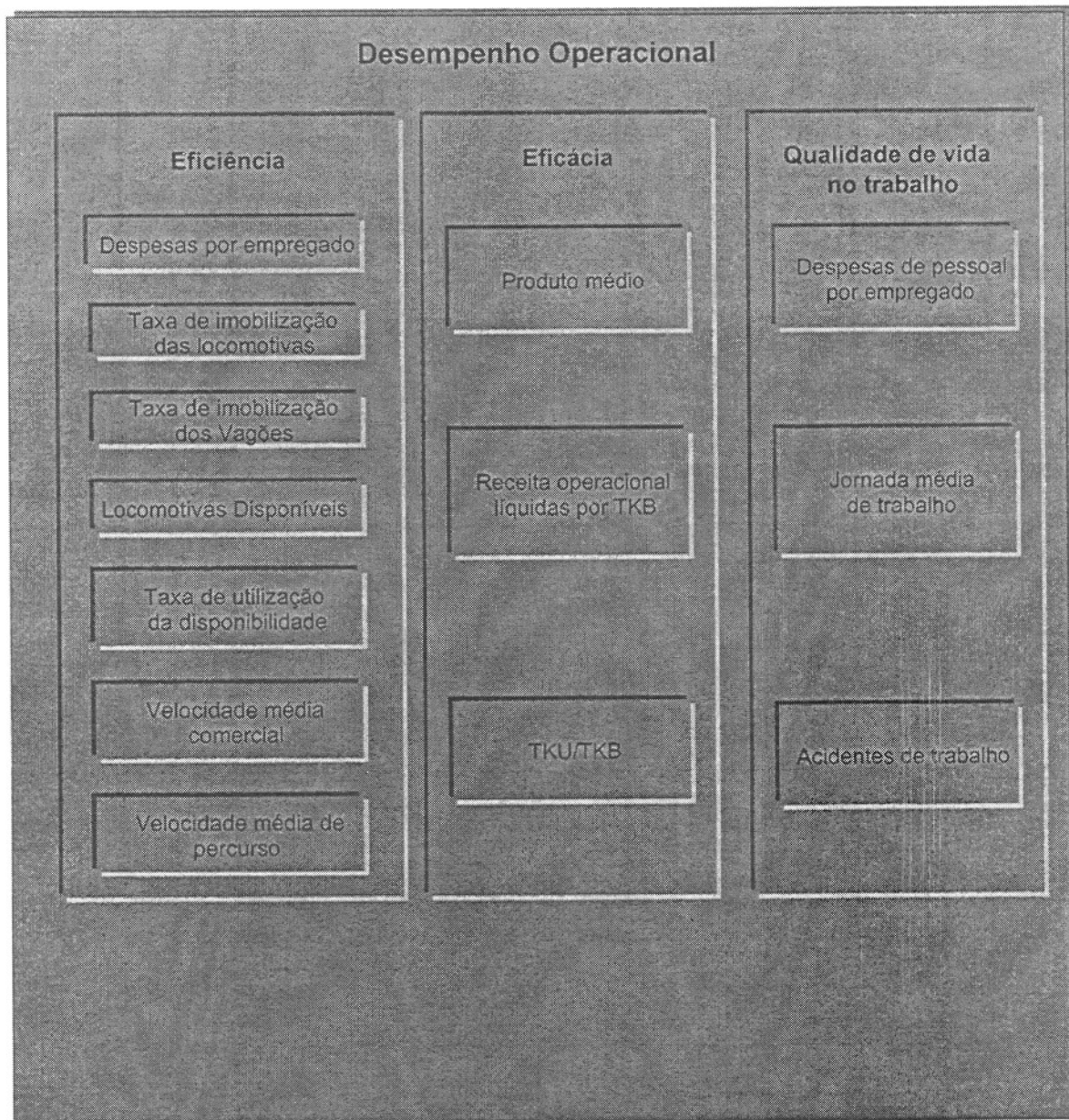


Figura 5 - Desempenho operacional (3)

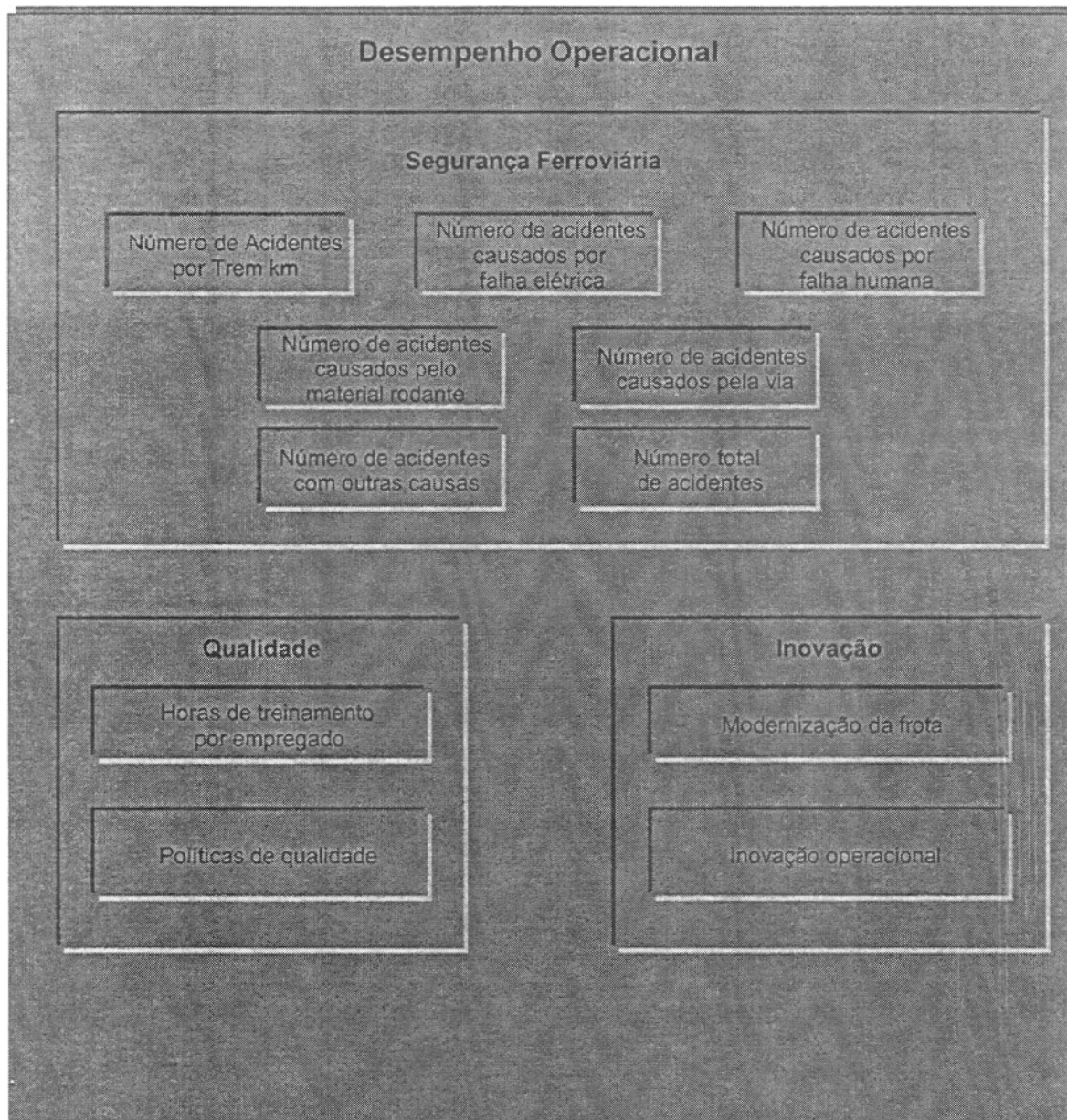


Figura 6 - Desempenho operacional (4)

6. QUESTIONÁRIO PARA BENCHMARKING INTERNO

Objetivo: Avaliar um conjunto de critérios de desempenho ferroviário

1. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Qualidade do Serviço Ferroviário

Clientes	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Operação
Clientes	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Finanças
Operação	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Finanças

Abreviação	Significado
Clientes	Satisfação dos Clientes
Operação	Desempenho Operacional
Finanças	Desempenho Financeiro

2. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Satisfação dos Clientes

Acess	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Segur
Acess	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Conf
Acess	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Preço
Acess	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Adeq
Acess	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Rel
Segur	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Conf
Segur	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Preço
Segur	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Adeq
Segur	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Rel

(Continua)

Abreviação	Significado
Acess	Acessibilidade
Segur	Segurança
Conf	Confiabilidade
Preço	Preço
Adeq	Adequação
Rel	Relação com o Cliente

Satisfação dos Clientes

(continuação)

Conf	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Preço
Conf	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Adeq
Conf	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Rel
Preço	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Adeq
Preço	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Rel
Adeq	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Rel

Abreviação	Significado
Acess	Acessibilidade
Segur	Segurança
Conf	Confiabilidade
Preço	Preço
Adeq	Adequação
Rel	Relação com o Cliente

3. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista do
Desempenho Operacional

Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Recursos
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Produção
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Eficiênc
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Eficácia
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	QVT
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Inovação
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad
Product	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr

(continua)

Abreviação	Significado
Product	Produtividade
Recursos	Recursos
Produção	Produção
Eficiênc	Eficiência
Eficácia	Eficácia
QVT	Qualidade de Vida no Trabalho
Inovação	Inovação
Qualidad	Qualidade
SegFerr	Segurança Ferroviária

Desempenho Operacional

(continuação1)

Recursos	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Eficiênc
Recursos	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Eficácia
Recursos	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	QVT
Recursos	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Inovação
Recursos	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad
Recursos	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr
Produção	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Eficiênc
Produção	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Eficácia
Produção	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	QVT
Produção	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Inovação
Produção	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad
Produção	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr
Eficiênc	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Eficácia
Eficiênc	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	QVT
Eficiênc	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Inovação
Eficiênc	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad
Eficiênc	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr
Eficácia	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	QVT
Eficácia	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Inovação
Eficácia	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad

(Continua)

Abreviação	Significado
Recursos	Recursos
Produção	Produção
Eficiênc	Eficiência
Eficácia	Eficácia
QVT	Qualidade de Vida no Trabalho
Inovação	Inovação
Qualidad	Qualidade
SegFerr	Segurança Ferroviária

Desempenho Operacional (continuação2)

Eficácia	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr
QVT	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Inovação
QVT	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad
QVT	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr
Inovação	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qualidad
Inovação	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr
Qualidad	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegFerr

Abreviação	Significado
Eficácia	Eficácia
QVT	Qualidade de Vida no Trabalho
Inovação	Inovação
Qualidad	Qualidade
SegFerr	Segurança Ferroviária

4. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista do

Desempenho Financeiro

EstrCap	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	: Liquidez
EstrCap	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Rentab
EstrCap	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Balanço
EstrCap	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Result
Liquidez	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Rentab
Liquidez	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Balanço
Liquidez	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Result
Rentab	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Balanço
Rentab	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Result
Balanço	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Result

Abreviação	Significado
EstrCap	Índices de Estrutura de Capital
Liquidez	Índices de Liquidez
Rentab	Índices de Rentabilidade
Balanço	Balanço Patrimonial
Result	Demonstrativo de Resultados

Satisfação dos Clientes

5. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Acessibilidade

FacilAcs	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	FreqServ
FacilAcs	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	RegAtend
FacilAcs	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	ServIntM

Abreviação	Significado
FacilAcs	Facilidade de Acesso
FreqServ	Frequência do Serviço
RegAtend	Regularidade do Atendimento
ServIntM	Serviço Intermodal

6. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Segurança

Preserv	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegCarga
Preserv	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	SegOper

Abreviação	Significado
Preserv	Preservação Ambiental
SegCarga	Segurança da Carga
SegOper	Segurança Operacional

7. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Confiabilidade

Prazo	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Contrato
Prazo	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Regular

Abreviação	Significado
Prazo	Atendimento no Prazo
Contrato	Cumprimento de Contrato
Regular	Regularidade de Serviço

8. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista do
Preço

Compet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Desconto
Compet	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tarifa

Abreviação	Significado
Compet	Competitividade
Desconto	Política de Desconto
Tarifa	Valor da Tarifa

9. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Adequação

Manute	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TermAdeq
Manute	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VagCompt

Abreviação	Significado
Manute	Estado de Manutenção
TermAdeq	Terminal Adequado
VagCompt	Vagões Compatíveis

10. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Relação com o Cliente

Comunic	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Solução
Comunic	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Imagem
Comunic	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Atend

Abreviação	Significado
Comunic	Facilidade de Comunicação
Solução	Facilidade de Solução
Imagem	Imagem de Credibilidade
Atend	Serviço de Atendimento

Desempenho Operacional

11. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Produtividade

Vagões	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Locomot
Vagões	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Empreg
Vagões	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Via

Abreviação	Significado
Vagões	Produtividade dos Vagões
Locomot	Produtividade das Locomotivas
Empreg	Produtividade dos Empregados
Via	Produtividade da Via

12. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista dos

Recursos

Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	InterVag
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qempr
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qlocomot
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Qvag
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	EmpreCon
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	km
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	LocoCon
Comb	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	VagCon

Abreviação	Significado
Comb	Consumo de Combustível
InterVag	Vagões em Intercâmbio
Qempr	Força de trabalho na concessionária
Qlocomot	Quantidade média de locomotivas na malha
Qvag	Quantidade média de vagões na malha
EmpreCon	Número de Empregados da Concessionária
km	Comprimento da Malha
LocoCon	Número de Locomotivas
VagCon	Número de Vagões

13. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Produção

ProdTrans	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Receita
ProdTrans	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Despesa

Abreviação	Significado
ProdTrans	Indicadores de Produção de Transporte
Receita	Receita
Despesa	Despesa

14. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Eficiência

Desp/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ImobLoco
Desp/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ImobVag
Desp/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	LocoDisp
Desp/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	UtiDisp
Desp/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Vmc
Desp/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Vmp

Abreviação	Significado
Desp/emp	Despesas por empregado
ImobLoco	Taxa de Imobilização das Locomotivas
ImobVag	Taxa de Imobilização dos Vagões
LocoDisp	Locomotivas Disponíveis
UtiDisp	Taxa de Utilização da Disponibilidade
Vmc	Velocidade Média Comercial
Vmp	Velocidade Média de Percurso

15. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Eficácia

PM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Rec/TKB
PM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TKU/TKB

Abreviação	Significado
PM	Produto Médio
Rec/TKB	Receita Operacional de Transporte Líquida/TKB
TKU/TKB	Aproveitamento do material rodante

16. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da Qualidade de Vida no Trabalho

BePerCap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	JornTrab
BePerCap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SegTrab

Abreviação	Significado
BePerCap	Despesas de pessoal/empregado
JornTrab	Jornada média de trabalho
SegTrab	Acidentes de trabalho

17. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da Inovação

IdadeFrt	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	InovOp
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------

Abreviação	Significado
IdadeFrt	Modernização da frota
InovOp	Inovação Operacional

18. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da Qualidade

HT/EmpCo	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PoltQual
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Abreviação	Significado
HT/EmpCo	Horas de Treinamento por Empregado
PoltQual	Políticas de Qualidade

19. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da Segurança Ferroviária

Acd/Tkm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AcdElet
Acd/Tkm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AcdHum
Acd/Tkm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AcdRod
Acd/Tkm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AcdVia
Acd/Tkm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AcdOutro
Acd/Tkm	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Acid

Abreviação	Significado
Acd/Tkm	Número de Acidentes por Trem km
AcdElet	Número de acidentes causados por falha elétrica
AcdHum	Número de acidentes causados por falha humana
AcdRod	Número de acidentes causados pelo material rodante
AcdVia	Número de acidentes causados pela via
AcdOutro	Número de acidentes com outras causas
Acid	Número total de acidentes

20. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Produtividade dos Vagões

CarrM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PercVag
CarrM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	RecL/Vag
CarrM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TKU/Vag
CarrM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TU/Vag

Abreviação	Significado
CarrM	Carregamento Médio dos Vagões
PercVag	Percurso Médio Mensal dos Vagões
RecL/Vag	Receita Líquida por Vagão
TKU/Vag	TKU por Vagão
TU/Vag	TU por Vagão

21. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Produtividade das Locomotivas

L/TKB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	L/TKU
L/TKB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PercLoco
L/TKB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TKU/HP

Abreviação	Significado
L/TKB	Litros por TKB
L/TKU	Litros por TKU
PercLoco	Percurso Médio Mensal de Locomotivas
TKU/HP	TKU/HP

22. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Produtividade dos Empregados

RecT/emp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TKU/emp
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------

Abreviação	Significado
RecT/emp	Receita total por empregado
TKU/emp	TKU por empregado

23. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Produção de Transporte

TKB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	TKU
TKB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	Tremkm
TKB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	TUg
TKB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	TUt

Abreviação	Significado
TKB	TKBt
TKU	TKUt
Tremkm	Tremkm
TUg	TU gerado
TUt	TU tracionado

24. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da

Receita

RecB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	RecL
RecB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	RecOp
RecB	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	RecT

Abreviação	Significado
RecB	Receita Operacional de Transporte Bruta
RecL	Receita Operacional de Transporte Líquida
RecOp	Receita Operacional
RecT	Receita Total

25. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista das

Despesas

DespOp	9 8 7 6 5 4 3 2 1	2 3 4 5 6 7 8 9	DespT
--------	-------------------	-----------------	-------

Abreviação	Significado
DespOp	Despesa Operacional
DespT	Despesa Total

Observações

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for handwritten or typed observations. It occupies the majority of the page's vertical space below the header.

7. QUESTIONÁRIO PARA BENCHMARKING COMPETITIVO

Objetivo: Definir um sistema de avaliação de produtividade

A. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista da
Produção de Transporte

TU	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Pass
TU	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	TKU
TU	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Pkm
Pass	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	TKU
Pass	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Pkm
TKU	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Pkm

Abreviação	Significado
TU	Toneladas úteis transportadas
Pass	Número de passageiros transportados
TKU	Toneladas quilômetro útil
Pkm	Passageiros quilômetro

B. Compare a importância relativa entre os critérios abaixo sob o ponto de vista dos
Recursos

Vagpass	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Vag.carga
Vagpass	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Loco
Vagpass	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Emp
Vagpass	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	km
Vagcarga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Loco
Vagcarga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Emp
Vagcarga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	km
Loco	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Emp
Loco	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	km
Emp	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	km

Abreviação	Significado
Vagpass	Número de vagões de passageiros
Vagcarga	Número de vagões de carga
Loco	Número de locomotivas
Emp	Número de empregados
km	Extensão da malha ferroviária

Observações

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for handwritten or typed observations. The box is currently blank.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ali, A. I. e L. M. Seiford, (1993). **Computational accuracy and infinitesimal in data envelopment analysis.** INFOR 31 pp. 290-297.
2. Ali, A. I., L. M. Seiford (1990). **Translation Invariance in Data Envelopment Analysis.** Operations Research Letters, 9 (5):403-405.
3. Ali, A. I.; C.S. Lerne e L.M. Seiford, (1995). **Components of efficiency evaluation in Data Envelopment Analysis.** European journal of Operational Research 80 p. 462-473.
4. Allen, R., A. Athanassopoulos, R.G. Dyson e E. Thanassoulis, (1997). **Weights restrictions and value judgements in Data Envelopment Analysis: evolution, development and future directions.** Annals of Operations Research 73 p.13-34.
5. Anderson, T. R. e G. P. Sharp., (1997). **A new measure of baseball batters using DEA.** Annals of Operational Research 73(1997) p.141-155.
6. Banker, R. D. (1993). **Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation.** Management Science vol. 39, nº10, Out, pp.1265-1273.
7. Banker, R. D. e A. Mandiratta (1986). **Piecewise loglinear estimation of efficient production surfaces.** Management Science. Vol. 32, nº1, Janeiro p. 126-135.
8. Banker, R.D., A. Charnes e W.W. Cooper (1984). **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis.** Management Science nº 30 p. 1078-1092,.
9. Banker, R. D., A. Charnes, W. W. Cooper e A. Maindiratta, (1986a). **A comparison of DEA and Translog estimates of production frontiers using simulated observations from a know technology.** A. Dogramarci (Ed.), Studies in Productivity Analysis, Kluwer-Niphoff, Boston, p.33-55.

10. Banker, R. D., R. F. Conrad e R. P. Strauss (1986b). **A comparative application of Data Envelopment Analysis and Translog methods: an illustrative study of hospital production.** Management Science. Vol. 32, n°1, Janeiro p. 30-44.
11. Bannister, G. J. e C. Stolp, (1995). **Regional concentration and efficiency in Mexican manufacturing.** European Journal of operational Research 80 p.672-690.
12. Banxia Software, (1998). **Frontier Analyst.** <http://www.banxia.com>
13. Bard, J. F., (1986). **A multiobjective methodology for selecting subsystem automation options.** Management Science Vol. 32 n°12 Dec.
14. Barr, R. S. e M. L. Durchholz, (1997). **Parallel and hierarchical decomposition approaches for solving large-scale data envelopment analysis models.** Annals of Operations Research 73 pp.330-372.
15. Bowlin, W. F., (1987). **Evaluating the efficiency of U.S. Air Force real-property maintenance activities.** Journal of Operational Research Society vol 38(2) pp. 127-135.
16. Camp, R. C. (1989). **Benchmarking: the search for industry best practices that lead to superior performance,** Milwaukee : ASQC.
17. Caves D.W., L.R. Christensen e W.E. Diewert, (1982). **Multilateral comparisons of output, input and productivity using superlative index numbers.** Econometric Journal n° 92 p.435-445.
18. Caves, Douglas W., Laurits R. Christensen e Joseph A. Swanson., (1980). **Productivity in U.S. railroads 1951-1974.** The Bell Journal of Economics Spring '80 Vol. 11 n°1 p. 66-181.
19. Chang, Hsi-Hui (1998), **Determinants of hospital efficiency: the case of central government - owner hospitals in Taiwan.** Omega, Int. Management. Science Vol. 26 n° 2 pp.307-317.
20. Charnes, A., W.W. Cooper, L. Seiford e J. Stutz (1983). **Invariant multiplicative efficiency and piecewise Cobb-Douglas envelopments.** Operations Research Letters Vol 2, n° 3, agosto, p. 101-103
21. Charnes, A., W. Cooper, A. Y. Lewin e L. M. Seiford (1994). **Data Envelopment Analysis. Theory, Methodology and Applications.** Kluwer Academic Publishers. p.513

22. Charnes, A., W.W. Cooper e E. Rhodes, (1981). **Evaluating program and managerial efficiency: an application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through.** Management Science Vol. 27(6) June.
23. Charnes, A., W.W. Cooper e E.L. Rhodes, (1978). **Measuring the efficiency of decision making units.** European Journal of Operational Research n° 2 p. 429-444.
24. Charnes, A., W.W. Cooper, B. Golany, L.M. Seiford and J. Stutz, (1985). **Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto – Koopmans efficient empirical production functions.** Journal of Econometrics 30 p.91-107.
25. Chilingerian, Jon A, (1995). **Evaluating physician efficiency in hospital: a multivariate analysis of best practices.** European Journal of Operation Research 80 pp: 548-574.
26. Chilingerian, Jon A. e H. David Sherman, (1997). **DEA and primary care physician report cards: Deriving preferred practice cones from managed care service concepts and operating strategies.** Annals of Operational Research 73(1997) p.35-66.
27. Christensen, L.R., D.W. Jorgenson and L. J. Lan, (1973). **Transcendental Logarithmic Production Frontiers.** Review of Economics and Statistics 55: p.28-45.
28. Chu, X., G. J. Fielding e B. W. Lamar (1992). **Measuring Transit performance using data envelopment analysis.** Transportation Research vol. 26A , n° 3, pp 223-230.
29. Coelli, Tim, (1998). **DEAP – A data envelopment analysis (computer) program.**
<http://www.edu.au/econometric/deap.htm>
30. Cook, Wade D. e Moshe Kress, (1991). **A multiple criteria decision model with ordinal preference data.** European Journal of Operational Research 54 p.191-198.
31. Cook, Wade D. e Moshe Kress, (1994). **A multiple-criteria composite index model for quantitative and qualitative data.** European Journal of Operational Research 78 p. 367-379.
32. Cook, Wade D., Moshe Kress e Lawrence M. Seiford, (1993). **On the use of ordinal data in Data Envelopment Analysis.** Journal of the Operational Research Society 44 p.133-140
33. Cook, Wade D., Moshe Kress e Lawrence M. Seiford, (1996). **Data Envelopment Analysis in the presence of both quantitative and qualitative factors.** Journal of the Operational Research Society 47 p. 945-953

34. Cooper, W.W. e Kaoru Tone, (1997). **Measures of inefficiency in data envelopment analysis and stochastic frontier estimation.** European Journal of Operational Research, vol 99 pp.72-88.
35. Costa, Álvaro e Raphael N. Markellos, (1997). **Evaluating public transport efficiency with neural network models.** Transportation Research part C: Emerging Technologies. Vol. 5(5) p.301-312.
36. Dajani, Jarir S. e Gorman Gilbert, (1978). **Measuring the performance of transit systems.** Transportation Planning and technology, 1978 vol 4 pp.97-103.
37. Day, Diana L., Arie Y. Lewin e Hongyu Li, (1995). **Strategic leaders or strategic groups: A longitudinal Data Envelopment Analysis of the U.S. brewing industry.** European Journal of Operational Research 80 p.619-638.
38. Dusansky, Richard e Paul W. Wilson, (1995). **On the relative efficiency of alternative models of producing a public sector output: the case of the developmentally disabled.** European Journal of Operational Research 80 p. 608-618.
39. Emrouznejad, Ali e E. Thanassoulis, (1998). **Warwick DEA – Software.**
<http://www.warwick.ac.uk>
40. Expert Choice, (1998). **Methodology.** <http://www.expertchoice.com/methodology/method.htm>
41. Fielding, Gordon J.(1992) **Transit performance evaluation in the U.S.A. ,** Transp.Res. A vol.26A N° 6 pp483-491.
42. Fielding, Gordon J., Mary E. Brenner, Olivia de La Rocha, Timlynn T. Babitsky e Katherine Faust (1984). **Indicators and peer groups for transit performance analysis.** Institute of Transportation Studies and School of Social Sciences University of California, Irvine California 92717. Janeiro Final Report .
43. Fortuin, Leonard, (1988). **Performance indicators – why, where and how ?** European Journal of Operational Research 34 pp. 1-9.
44. Friedlaender, Am F. e Richard H. Spay, (1980). **A derived demand function for freight transportation.** The Review of Economics and Statistics Vol. 62 n°3 Agosto
45. Gillen, David e Ashish Lall, (1997). **Developing measures of Airport productivity and performance: an application of Data Envelopment Analysis.** Transportation Research – E Vol. 33, n° 4 p.261-273.

46. Golany, Boaz e Sten Thore, (1997). **Restricted best practice selection in DEA: An overview with a case study evaluating the socio-economic performance of nations.** Annals of Operations Research 73(1997) p. 117-140.
47. Golany, Boaz e Yaakov Roll, (1989). **An application procedure for DEA.** Omega: The International Journal of Management Science, Vol. 17 n° 3 p.237-250.
48. Golany, Boaz, (1988). **An interactive MOLP procedure for the extension of DEA to effectiveness.** Journal of the Operational Research Society Vol. 39 n° 8 Agosto p.725-734.
49. Gomes, J.L.A.M. (1989). **Multicriteria Rank of Urban Transportation System Alternatives.** Journal of Advanced Transportation, vol 23, n. 1, p. 43-52
50. Good, David H., Lars-Hendrik Röller e Robin C. Sickles, (1995). **Airline efficiency differences between Europe and the U.S.: implications for the pace of E.C. integration and domestic regulation.** European Journal of Operation Research 80, p.508-518.
51. Goto, Mika e Miki Tsutsui, (1998). **Comparison of Productive and cost efficiencies among Japanese and US electric utilities.** Omega, Int. Mgnt. Sci. Vol 26 n° 2 pp 177-194.
52. Green, R. H., (1996). **DIY DEA: Implementing data envelopment analysis in the mathematical programming language AMPL.** Omega. The international Journal of Management Science, vol. 24, n° 4, pp.489-494.
53. Green, R.H. e J.R. Doyle, (1995). **On maximising discrimination in multiple criteria decision making.** Journal of the Operational Research Society, p.192-204.
54. Grifell-Tatjé, E. e C. A. K. Lovell, (1997). **A DEA-based analysis of productivity change and intertemporal managerial performance.** Annals of Operations Research, 73 pp.177-189.
55. Hensher, David A. (1992) **Total factor productivity Growth and endogenous demand; Establishing a benchmark index for the selection of operational performance measures in public bus firms.** Transp. Res. - B vol 26B n° 6 pp435-448.
56. Intriligator, Michael D. (1978). **Econometric Models, Techniques & Applications.** Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs N.J.07632.

57. Jackson, Chris, **Private sector promises Latin Rail Boom**. Railway Gazette international, Abril 1996, pp 799-802
58. Kerstens, K., (1996). **Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies**. Transportation Research Vol. 30(A) n° 6 p.431-452.
59. Kessides, Ioannis N. e Robert D. Willig (1995). **Restructuring Regulation of The Rail Industry For The Public Interest**. The World Bank. August 28.
60. Kopicki, Ron e Louis S. Thompson, (1995). **Best Methods of Railway Restructuring and Privatization**. World Bank , CFS Discussion Paper Series, n° 111, Agosto (1995).
61. Kosmetsky, G. e P. Yue, (1998). **Comparative performance of global semiconductor companies**. Omega, Int. Mgnt. Sci. Vol 26 n° 2 pp.153-175.
62. Lewin, Arie Y., Lawrence M. Seiford, (1997). **Extending the frontiers of Data Envelopment Analysis**. Annals of Operations Research 73 – Cap. 1 p. 1-11.
63. Lima Júnior, Orlando Fontes e Renato Scatena Júnior, (1994). **Produtividade nos serviços de transportes**. VIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – Anais – Recife / Novembro 1994. P. 575-584.
64. Lima Júnior, Orlando Fontes, (1995). **Qualidade em serviços de transportes: conceituação e procedimento para diagnóstico**. Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. p. 215.
65. Lopes, Ana Lúcia Miranda, Edgar Augusto Lanzer e Jair dos Santos Lapa, (1995). **Eficiência técnica de universidades federais. Uma aplicação DEA/CCR no âmbito de recursos humanos**. XXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – Vitória (ES).
66. Lopes, Maurício Capobianco, Pedro Paulo Hugo Wilhelm e Bruno Hartmut Kopittke, (1998). **Avaliação de desempenho em Jogos de Empresas**. <http://produt2.pep.ufjbr/abepro/enegep.96/9/09023.htm> (20/11/98).
67. Löthgren, Mickael e Magnus Tambor, (1996 a). **Bootstrapping the DEA-based Malmquist productivity index**. Stockholm School of Economics Working Paper series in Economics and Finance, n° 78, Jan, pp 1-18.
68. Löthgren, Mickael e Magnus Tambor, (1996 b). **Scale efficiency and scale elasticity in DEA-models – A Bootstrapping approach**. Stockholm School of Economics Working Paper series in Economics and Finance, n° 91, Jan, pp 1-24.

69. LPT-EPUSP, (1997). **Projeto de desenvolvimento de um sistema para avaliação de desempenho de concessionárias de transporte ferroviário.** EPUSP São Paulo.
70. Mansson, Jonas, (1996). **Technical efficiency and ownership the case of booking centres in the Swedish taxi market.** Journal of Transport Economics and Policy. Vol.30 (1) Jan.
71. Marques, S. A., (1996). **Privatização do Sistema Ferroviário Brasileiro.** Texto para discussão n° 434. IPEA. Agosto.
72. McLaughlin, Curtis P. e Sydney Coffey, (1990). **Measuring Productivity in Services - Managing Services - marketing, operations, and human resources 2° Ed.** (Lovelock,C.H.) Prentice-Hall International Editions.
73. Miettinen, Pauli e Raimo P. Hämäläinen, (1997). **How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA).** European Journal of Operational Research 102 n° 2 p.279-294
74. Moita, Márcia Helena Veleda, (1995). **Medindo a eficiência relativa de escolas municipais do Rio Grande – RS usando a abordagem DEA (Data Envelopment Analysis).** Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador: Carlos Ernani Fries.
75. Morita, H. (1998). **Revisão do método de análise hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process).** Dissertação de mestrado apresentada à EPUSP, orientador Tamio Shimizu, p.130
76. Mouette, D. (1993) **Utilização do método de análise hierárquica no processo de tomada de decisão no planejamento de transporte urbano : uma análise voltada aos impactos ambientais.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica.
77. Mouette, D. e J. F. R. Fernandes, (1996). **Aplicação do método de análise hierárquica (MAH) na análise e avaliação de impactos ambientais dos sistemas de transportes urbanos.** Transportes – ANPET v. 4 n. 1e2 p. 39-59.
78. Montevechi, José Arnaldo Barra, Edson de Oliveira Pamplona, (1998). **Análise hierárquica em análise de investimentos.** <http://produto2.pep.ufjf.br/abepro/enegep96/1/a1006.htm>
79. Norman, Michael e Barry Stoker, (1991). **Data Envelopment Analysis The assessment of performance.** John Wiley & Sons Ltd. Baffin's Lane, Chichester West Sussex P019 1UD, England (1991).

80. Novaes, Antônio Galvão, (1996). **Avaliação da produtividade de serviços de transportes através da análise por envelopamento de dados.** X ANPET 18 à 22 de Novembro de 1996, Brasília, DF.
81. Novaes, Antônio Galvão, (1997). **Benchmarking Rapid-Transiti services with data envelopment analysis.** Actas del VIII Congreso Chileno de Ingenieria de Transporte. Santiago, 11 al 14 de Novembro.
82. Obeng, Kofi, Nasir Assar e Julian Benjamin, (1992). **Total factor productivity in transit systems: (1983-1988).** Transportation Research Vol. 26A n° 6 p.447-455.
83. Oum, Tae Hoon e Chunyan Yu, (1994). **Economic efficiency of railways and implications for public policy. A comparative study of the OECD countries Railways.** Journal of Transport Economics and Policy, May p.121-138.
84. Oum, Tae Hoon, Michael W. Tretheway e W.G. Waters II, (1992). **Concepts, methods and purposes of productivity measurement in transportation.** Transportation Research Vol. 26A n°6 p.493-505.
85. Paradi, J.C., D.N. Reese e D. Rosen, (1997). **Applications of DEA to measure the efficiency of Software production at two large Canadian banks.** Annals of Operations Research 73(1997) p. 91-115.
86. Premachandra, Im , John G. Powell e Jing Shi, (1998). **Measuring the relative efficiency of fund management strategies in New Zealand using a spreadsheet-based stochastic data envelopment analysis.** Omega, Int. Mgnt. Sci. Vol 26 n° 2 pp.319-331.
87. Rabbani, S. J. R. e S. R. Rabbani (1996). **Decisions in transportation with the analytic hierarchy process.** Campina Grande: UFPB/CCT. 200p.
88. Ray, Subhash C. e Hiung Joon Kin, (1995). **Cost efficiency in the U.S. steel industry: A nonparametric analysis using data envelopment analysis.** European Journal of Operational Research 80 p. 654-671.
89. Roll, Y. e B. Golany, (1993). **Alternate methods of treating factor weights in DEA.** Omega: The International Journal of Management Science. Vol 21 n° 1 Janeiro.
90. Roll, Y. e Y. Hayuth, (1993). **Port performance comparison applying data envelopment analysis.** Maritime Policy and Management Vol.20 n° 2.
91. Roll, Yaakov, Wade D. Cook e Boaz Golany, (1991). **Controlling factor weights in Data Envelopment Analysis.** I I E Transactions, Vol. 23 n° 1 Março.

92. Rousseau, John J. e John H. Semple, (1997). **Dominant Competitive Factors for evaluating program efficiency in grouped data.** Annals of Operations Research 73 (1997) p. 253-276.
93. Saaty, T. L. (1977a). **A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures.** Journal of Mathematical Psychology, nº 15, p. 234-281.
94. Saaty, T. L., (1977b). **Scenarios and priorities in transport planning: application to the Sudan.** Transportation Research 11/5
95. Saaty, T. L., (1977c). **The Sudan Transport Study.** Interfaces v. 20/3, p.147-157.
96. Saaty, T. L., (1995). **Transport planning with multiple criteria: The Analytic Hierachy Process applications and progress review.** Journal of Advanced Transportation v. 29 n.1 p.81-126.
97. Saaty, T.L. (1990). **How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process.** European Journal of Operational Research, Vol.1 , nº1, p.47.
98. Saaty, Thomas L, (1991). **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo: McGraw-Hill.
99. Saaty, Thomas L., (1995). **Transport planning with multiple criteria: The Analytic Hierachy Process applications and progress review.** Journal of Advanced Transportation Vol. 29 nº 1 p. 81-126.
100. Salmo, R., (1996). **Incentive regime is the key to efficient franchise.** Railway Gazette International, Abril. p. 231-236.
101. Scheel, Holger, (1998). **Holger Scheel's Data Envelopment Analysis page.** <http://www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/doordea.htm>
102. Schmidt, A. M. A., (1995). **Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e MACBETH.** Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador: Prof. PhD Leonardo Ensslin.
103. Schmidt, P., (1986). **Frontier Production Functions.** Econometric Reviews , 4(2) p.289-328.
104. Seiford, L. M. e J. Zhu, (1998). **Identifying excesses and deficits in Chinese industrial productivity (1953-1990): a weighted Data Envelopment Analysis Approach.** Omega: The International Journal of Management Science, Vol. 26 nº2 p. 279-296.

105. Seiford, Lawrence M. e Robert M. Thrall, (1990). **Recent developments in DEA. The mathematical programming approach to frontier analysis.** Journal of Econometrics 46 p.7-38.
106. Sink, Scott, (1983). **Productivity Management: Planning, Measurement and Evaluation, Control and Improvement.** New York: John Wiley & Sons.
107. Smith, Carol E., Susan V. M. Kleinbeck, Karen Fermeangel e Linda, S. Mayer. (1997). **Efficiency of families managing home health care.** Annals of Operations Research 73 (1990) p.157-175.
108. Smith, Peter, (1997). **Model misspecifications in Data Envelopment Analysis.** Annals of Operations Research 73 p.233-252.
109. Stewart, Theodor J., (1996). **Relationships between data envelopment analysis and multicriteria decision analysis.** Journal fo the Operational Research Society Vol.47, n°5 May p.654-665.
110. Sueyoshi, Toshiyuki, (1992). **Measuring technical, allocative and overall efficiencies using a DEA algorithm.** Journal of the Operational Research Society Vol. 43 (2) Fevereiro.
111. Sueyoshi, Toshiyuki, (1997). **Measuring efficiencies and returns to scale of Nippon Telegraph & Telephone in production and cost analysis.** Management Science Vol 43 n°6, Junho.
112. Sueyoshi, Toshiyuki, Tadashi Hasebe Fusao Ito, Junichi Sakai e Wataru Ozawa, (1998). **DEA – Bilateral performance comparison: an application to Japan Agricultural Cooperatives (NOKYO).** Omega: The International Journal of Management Science. Vol. 26 n° 2 p233-248.
113. Thanassoulis, E. e R. Allen, (1998). **Simulating weights restrictions in Data Envelopment Analysis by means of unobserved DMUs.** Management Science Vol.44 n°4 Abril p. 586-594.
114. Thanassoulis, E., A. Boussofiane e R. G. Dyson, (1995). **Exploring output quality targets in the provision of perinatal care in England using data envelopment analysis.** European Journal of Operational Research 80 p.588-607.

115. Thompson, Russell G., F.D. Singleton Junior, Robert M. Thrall e Barton A. Smith, (1986). **Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in texas.** Interfaces 16: 6 Nov-Dec 1986 p.35-49.
116. Tone, Kaoru, (1989). **A comparative study on AHP and DEA.** Policy and Information Vol.13 nº 2, Dezembro.
117. Vargas, L. G., (1982). **Reciprocal matrices with random coefficients.** Mathematical Modelling 3 pp 69-91.
118. Vargas, Luis G., (1990). **An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications.** European Journal of Operational Research vol. 48 pp 2-8.
119. Waisman, Jaime, (1985). **Avaliação de desempenho de Sistemas de Ônibus em cidades de porte médio em função de sua produtividade, eficiência operacional e qualidade dos serviços.** São Paulo: Faculdade de Engenharia Civil, EPUSP. Tese de doutorado pelo Departamento de Vias de Transporte e Topografia da EPUSP.
120. Wang, Chien H., Ram D. Gopal e Stanley Zionts, (1997). **Use of Data Envelopment Analysis in assessing information technology impact on firm performance.** Annals of Operational research 73(1997) p.191-213.
121. Ward, Peter, James E. Storbeck, Stephen L. Mangum e Patricia E. Byrnes, (1997). **An analysis of staffing efficiency in U.S. manufacturing: 1983 and 1989.** Annals of Operational Research 73 p. 67-89.
122. Wilkinson, J.H., (1965). **The Algebraic Eigenvalue Problem.** Clarendon Press, Oxford.
123. Windle, Robert J. e Martin E. Dresner, (1992). **Partial Productivity measures and total factor productivity in the air transport industry limitations and uses.** Transportation Research Vol 26 p.435-445.
124. Wong, Y. H. B. e J. E. Beasley, (1990). **Restricting weight flexibility in Data Envelopment Analysis.** Journal of Operational Research Society 41(9) Setembro.
125. World Bank, (1996). **Performance Monitoring Indicators: A handbook for task managers,** Operations Policy Department World Bank, Washington, D.C.
126. World Bank, (1999). **Railway Data Base.** <http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/rail/rdb.htm>.
127. Zairi, Mohamed, Leonard, Paul.(1994). **Practical Benchmarking: The Complete Guide.** Londo: Chapman & Hall, 1994. 262 p.

Abstract

Paiva Junior, Humberto de. **Performance evaluation of railways using the integrated approach DEA/AHP**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000. p.178. Mestrado.

Performance evaluation always was a subject of great importance to transport planning and operation. However, nowadays, the privatisations and the greater competition among rail companies, turned this issue essential to decision-makers. The rail transport restructure process demands a performance monitoring system for the railways concessions which allows the conceding party to monitor and, if necessary, intervene the concessionaires to ensure the quality of rail services. This monitoring system must consider multiple factors due to the characteristics of transport service.

In this work, two widely known techniques are compared as a tool for benchmarking. The methods DEA and AHP, despite having different origins, show some similarities which can be explored in order to use an integrated application of both, aiming to widen the spectrum of analysis. This work also shows a brief description of the railroads restructure process and an analysis, using the method AHP, of the indicators monitoring system proposed to the Ministry of Transports.

Two hierarchical structures of performance evaluation were elaborated to compare the methods, based on a group of rail indicators of 63 railways around the world, measured by the World Bank. These hierarchical structures were judged by a group of specialists from the

Ministry of Transports, and, similarly to the AHP Cost/Benefit analysis, a railway ranking was created according to its performance. Simultaneously, different DEA formulations were applied to the same group of data and railroads.

This ranking, when compared with the results obtained with the DEA models, showed a high ordinal correlation with the Radial models. It was also noticed that, through the orientation of DEA formulations to the variables with greater weight in the AHP hierarchical structure, an ordinal correlation of the methods can be increased, indicating the possibility to consider the experience of the decision-makers in the DEA modelling without the need to create new restrictions.

Key words: DEA, AHP, benchmarking, indicators, performance, railroads.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE