

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

Evandro Minato

**AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE UMA INDÚSTRIA NA
LINHA DO TEMPO UTILIZANDO DEA
(DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)**

Florianópolis
2006

Evandro Minato

**AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE DE UMA INDÚSTRIA NA
LINHA DO TEMPO UTILIZANDA DEA
(DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)**

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

Florianópolis, 02 de março de 2006.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Programa

Prof. Sérgio Fernando Mayerle, Dr.
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr.

Prof^a. Mirian Buss Gonçalves, Dra.

Prof. João Neiva de Figueiredo, PhD.

Agradecimentos

Agradeço a empresa em que era funcionário contratado quando da realização deste trabalho, pela liberação de preciosos dias de serviço com a finalidade de assistir aulas a trezentos quilômetros de distância.

Agradeço ainda ao Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas por possibilitar o ingresso de alunos no programa de pós-graduação fora do regime de dedicação exclusiva, aos professores pelo conhecimento passado, ao orientador, Sergio F. Mayerle, pelas horas de atenção dispensada e comentários que enriqueceram o trabalho.

Também a minha família pelo apoio dado a toda decisão tomada e a Fernanda, pela paciência devido a minha ausência e meu mau humor.

...e aos amigos, por simplesmente existirem.

“There are only two qualities in the world: Efficiency and Inefficiency, and only two sorts of people: the Efficient and the Inefficient”.
George Bernard Shaw, John Bull’s other Hand, Act IV, 1907

RESUMO

Data Envelopment Analysis (DEA), uma técnica não-paramétrica de análise de eficiência, prevê a utilização de dados absolutos de insumos e produtos a fim de gerar um ranking de eficiência relativa entre os objetos analisados. Normalmente tem sua utilização focada em objetos de difícil mensuração de eficiência, onde os insumos e produtos são intangíveis do ponto de vista financeiro. Diferentemente, este trabalho de dissertação aplica a técnica DEA em uma empresa privada com fins lucrativos, onde a análise de desempenho se dará no decorrer de um determinado período de tempo, tendo como insumos e produtos variáveis financeiramente mensuráveis. Ainda, a comparação de resultados gerados pela técnica utilizada com um indicador em uso pela empresa evidencia a validade de tal aplicação para a proposição feita.

Palavras-chave: análise envoltória de dados, análise de desempenho, eficiência.

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis (DEA), a non-parametric technique of performance evaluation, foresees the use of absolute data of inputs and outputs in order to generate one ranking of relative efficiency between the analyzed objects. Normally it has its use focused in objects with difficult measurement of efficiency, where the inputs and outputs are intangible in the financial point of view. Differently, this academic work applies the DEA technique in a private company with profitability purpose, where the performance analysis will be given during one defined period of time, having as inputs and outputs financially measurable variables. The comparison of results generated by the used technique with a pointer in use by the company evidences the validity of such application for the done proposal.

Keywords: data envelopment analysis, performance evaluation, efficiency.

SUMARIO

Lista de figuras	ix
Lista de quadros e tabelas	x
Lista de abreviaturas e símbolos	xi
1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Considerações Iniciais	01
1.2 Definição do Problema	02
1.3 Importância do Trabalho	03
1.4 Objetivos	03
1.5 Limitações do trabalho	04
1.6 Estrutura detalhada dos capítulos	05
2. BENCHMARKING	06
2.1 Tipos de <i>Benchmarking</i>	09
2.1.1 <i>Benchmarking</i> Interno	09
2.1.2 <i>Benchmarking</i> competitivo	10
2.1.3 <i>Benchmarking</i> funcional	11
2.1.4 <i>Benchmarking</i> genérico	11
2.2 Abordagens do <i>benchmarking</i>	11
2.2.1 Na visão estratégica	12
2.2.2 Na visão competitiva	13
3. CONCEITOS BÁSICOS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA	15
3.1 Produtividade	15
3.1.1 Fatores de produtividade total e parcial	17

3.2 Eficiência	20
3.2.1 Eficiências produtiva, alocativa e dinâmica	26
4. TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE EFICIÊNCIA	27
4.1 Considerações iniciais	27
4.2 Curvas de produção e análise de eficiência relativa	29
4.3 Técnicas paramétricas para medir eficiência	31
5. DEA	33
5.1 Modelos DEA	37
5.1.1 O modelo CCR	40
5.1.2 O modelo BCC	42
5.2 Etapas e condições de aplicabilidade	45
5.2.1 Etapas da DEA	45
5.2.2 Seleção de DMU's	46
5.2.3 Seleção de fatores	48
5.2.3.1 Análise criterial	49
5.2.3.2 Análise quantitativa não DEA	49
5.2.3.3 Análise baseada em DEA	50
5.3 Possibilidades de estudos realizados	51
5.4 Vantagens da DEA	52
5.5 Limitações e problemas de aplicação	53
5.6 Comparações da DEA com outras técnicas	56
5.7 O <i>software</i>	59
6. DADOS, ANÁLISE E RESULTADOS	60
6.1 Apresentação do objeto de aplicação do estudo	60
6.2 Processos utilizados na planta e seu efeito sobre os insumos	63

6.2.1 Logística de recebimento	64
6.2.2 Setor de corte	64
6.2.3 Setor de costura	65
6.2.4 Logística de expedição	66
6.2.5 Manutenção	66
6.2.6 Supervisão	66
6.2.7 Engenharia	67
6.3 As variáveis de insumos	67
6.4 Os produtos e suas variáveis	66
6.5 Aplicação dos dados, resultados e discussão	70
6.5.1 Comparação dos resultados alcançados	73
6.5.2 Os períodos de <i>benchmarking</i>	77
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	80
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	91

Lista de figuras

Figura 2.1: Aplicação de <i>benchmarking</i> estratégico	13
Figura 3.1: A Fronteira de Produção e a Eficiência Técnica	23
Figuras 3.2a e 3.2b: Medidas de Eficiência Técnica de DEBREU-FARREL	24
Figura 4.1a: Retornos crescentes de escala	29
Figura 4.1b: Retornos constantes de escala	30
Figura 4.1c: Retornos decrescentes de escala.	30
Figura 4.2: Alternativas de produção.	31
Figura 5.1: Filosofia DEA.	36
Figura 5.2: Comparação entre modelos.	39
Figura 5.3 – Classificação entre ganhos de escala e orientação.	45
Figura 5.4: Comparação entre a DEA, a análise de regressão e o desempenho absoluto	57
Figura 6.1: Esquema de áreas envolvidas na produção da empresa	63
Figura 6.2: Representação gráfica dos <i>scores</i>	71
Figura 6.3: Regressão linear para validação dos dados	76
Figura 6.4: Intensidade <i>Lambda</i> graficamente	79

Lista de quadros e tabelas

Tabela 2.1: <i>Benchmarking</i> competitivo	10
Tabela 2.2: Razões para <i>benchmarking</i> tornar-se competitivo.	14
Tabela 5.1: Comparação entre técnicas.	58
Tabela 6.1: Ranking mundial de fornecedores de módulos automotivos.	60
Tabela 6.2: Comparação entre DEA e indicador da empresa com aplicação de proporcionalidade.	75
Tabela 6.3: Período ineficiente e seu <i>benchmark</i>	77

Lista de abreviaturas e símbolos

BCC	Banker, Charnes e Cooper
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CRS	<i>Constant Return to Scale</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Make Units</i>
$EE_s(x_k, y_k)$	Eficiência de escala
$EP(x_k, y_k)$	Eficiência produtiva
$ET(x_k, y_k)$	Eficiência técnica
FPP	Fator de Produtividade Parcial
FPT	Fator de Produtividade Total
MC	Máquinas de costura
MOD	Mão de obra direta
MOI	Mão de obra indireta
UAP	Unidade Autônoma de produção
VRS	<i>Variable Return to Scale,</i>
A, B, C, D, E, F	<i>DMU's</i> distintas
x, x^A, x^B, x^C, x^D	Vetores de insumo
x_{ij}	Quantidade de produtos i produzidos pela j -ésima DMU.
x_2	Folga no insumo x_2
$\theta^A x^A, \theta^B x^B$	Vetores de insumo
v_i	Peso para variável <i>insumos</i> associado ao r -ésimo produto
y, y^A, y^B, y^C, y^D	Vetores de produtos
y_{rj}	Quantidades de produtos r produzidos pela j -ésima DMU
y_2	Folga na capacidade produtiva y_2
$\theta^A y^A, \theta^B y^B$	Vetores de produto
u_r	Peso para variável <i>produtos</i> associado ao r -ésimo produto
φ_p	Desempenho da unidade sob avaliação
{I}	<i>Inputs</i>
{O}	<i>Outputs</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com a crescente competitividade em todos os setores da indústria, faz-se necessário uma constante busca de decisões gerenciais que indiquem meios para o aumento da eficiência. Da mesma maneira faz-se necessário saber como tais ações tomadas por estas decisões afetam o desempenho da empresa no decorrer dos tempos a fim de direcionar o gerenciamento das atividades.

Normalmente, utiliza-se da criação e análise de indicadores de produtividade individuais, que, por mais bem formulados que estes indicadores sejam, nem sempre expressam a realidade sobre o desempenho da empresa.

Grandes melhoras em um indicador isolado podem, e devem, trazer mudanças em outros indicadores correlacionados, sendo estas mudanças para pior ou para melhor. Cita-se como exemplo o caso de aumento de produção absoluta de um determinado produto, com os recursos se mantendo estáveis, causando queda da qualidade do produto produzido e aumento de devoluções do cliente ou de mão de obra na inspeção final.

Assim, surgiu a base deste trabalho, já citado em trabalhos de MOREIRA (1991), OUM *et al.* (1992), TULKENS (1993) e PEREIRA (1998), que consiste em analisar o desempenho no decorrer do tempo de uma indústria do ramo automotivo instalada há poucos anos no Brasil, que vem passando por significativas e constantes mudanças, sejam estas definidas localmente pela gerência ou pelo grupo de acionistas europeus.

Desde a fundação da empresa analisada no Brasil, em 1997, e o início de sua produção em 1998, crescentes pressões por aumento da eficiência da produção, ou produtividade. A finalidade deste aumento de eficiência é minimizar os insumos disponíveis no momento para produzir a demanda do cliente são exercidas pelos acionistas sobre os gerentes e gestores locais. Da mesma forma, existe grande preocupação em minimizar o acréscimo destes insumos para produção de novos

projetos ou aumento de demanda. Tais pressões geram decisões de aplicação imediata, muitas vezes sem o devido planejamento e também regras para a evolução dos processos no decorrer do tempo.

Estas decisões aplicadas nas mais diversas áreas afetam todo um sistema produtivo em função de metas de produtividade a serem alcançadas, pois num sistema produtivo, nenhuma variável atua independentemente sobre o resultado.

Esta análise proposta será feita pelo método DEA, *Data Envelopment Analysis*, considerando múltiplas entradas e saídas de dados, como descrito no decorrer dos próximos capítulos.

1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Tendo como dados alguns insumos utilizados e produtos entregues no decorrer do tempo, por uma indústria produtora de bancos de automóveis, especificamente da planta que confecciona capas para tais bancos, procura-se avaliar o desempenho da empresa no tempo com a finalidade de apontar os melhores resultados do desempenho geral da planta.

Com estes indicadores de desempenho geral, será então criado um ranking indicando em quais períodos a empresa se mostrou mais eficiente em relação aos insumos utilizados e produtos efetivamente produzidos. Também, para os períodos menos eficientes será indicado o período eficiente que é benchmarking para o período ineficiente apontado, levando em consideração a mesma relação de insumos e produtos.

Além, será feita a comparação dos resultados obtidos com os resultados de eficiência divulgados pela empresa ao grupo e seus acionistas a fim de buscar equivalência de valores entre os indicadores da empresa e a técnica de avaliação utilizada nesta dissertação.

Desta forma, com o histórico de dados disponível na empresa podem-se comparar os dois métodos de análise de desempenho e ainda formalizar os indicadores de desempenho para períodos onde não se aplicava tal análise na planta,

além de fornecer subsídios para guiar as ações a serem tomadas para que o desempenho da empresa seja cada vez mais adequado.

1.3. IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A técnica DEA normalmente é utilizada para identificar as melhores entre diferentes entidades, instituições ou empresas de um mesmo ramo ou setor de atividade. É raramente utilizada no sentido a seguir apresentado, dando-se preferência à aplicação da técnica em empresas ou instituições onde é difícil a avaliação do desempenho em termos financeiros, o que difere da proposta de trabalho aqui apresentada.

Porém, baseado no trabalho INDICADORES DE DESEMPENHO TÉCNICO DE UMA EMPRESA DE CONFECÇÕES, FRENTE À IMPLANTAÇÃO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, de PEREIRA, SILVEIRA e LANZER (1998) onde os dados empregados no estudo de caso em questão eram provenientes de uma pequena empresa privada de confecções no decorrer do tempo, formulou-se o objetivo desta dissertação, com aplicação semelhante para a técnica estudada.

Desta maneira, a importância do trabalho que segue, se dá na utilização da técnica não-paramétrica DEA, como ferramenta para acompanhamento da evolução de desempenho de uma mesma empresa no decorrer do tempo, comparando os valores obtidos com os valores apontados pela empresa em sua metodologia própria, a fim de validar a metodologia da empresa e reforçar a aplicação da técnica DEA.

1.4. OBJETIVOS

Como objetivo do trabalho, cita-se a análise de dados de insumos e produtos utilizados pela empresa no decorrer do tempo, criando um ranking de desempenho a fim de indicar o período de maior eficiência, usando como ferramenta a técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA).

Como objetivos específicos:

- Revisão bibliográfica sobre *benchmarking*, produtividade e DEA;
- Aplicação de estudo de caso, sendo estruturada em:
 - i. Coleta de dados de insumos e produtos no decorrer do tempo para a empresa analisada, baseado em relatórios mensais do sistema de qualidade da empresa;
 - ii. Escolha e agrupamento, de acordo com requisitos pré-estabelecidos, dos dados coletados para aplicação da técnica DEA;
 - iii. A análise destes dados utilizando o software EMS versão 1.3.0, desenvolvido por Hölger SCHEEL e distribuído livremente para uso acadêmico em diversos sites da internet relacionados com o assunto;
 - iv. Discussão dos resultados alcançados, comparação com os resultados existentes baseado em indicador isolado de desempenho e apresentação à empresa.

1.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Como limitações do trabalho a seguir apresentado cita-se o universo dos dados coletados, voltados exclusivamente à mão de obra, máquinas e produtos, podendo este ser posteriormente estendido a demais insumos utilizados pela empresa no seu processo produtivo.

Também, o elevado número de variáveis e a relativamente pequena quantidade de períodos analisados (*DMU's*) fez com que os dados fossem agrupados por tipo, a fim de satisfazer as limitações da própria técnica DEA. Uma análise mais completa poderia ser feita com os dados desagrupados, mas as limitações da técnica utilizada, descritas posteriormente não permitiriam tal análise com a confiabilidade desejada.

1.6. ESTRUTURA DETALHADA DOS CAPÍTULOS

A dissertação está organizada em sete capítulos e três anexos.

Este primeiro capítulo introduz o tema da pesquisa e leva ao entendimento do que será tratado nos capítulos a seguir.

Os capítulos 2 e 3 tratam de conceitos pertinentes à pesquisa, como definições de *benchmarking*, produtividade e eficiência, importantes para o desenvolvimento do trabalho escolhido.

Nos capítulos 4 e 5 são expostos os conceitos de técnicas para medição de eficiência e da técnica escolhida para a análise dos dados obtidos, a DEA (*Data Envelopment Analysis*). São apresentados os fundamentos do método, as condições para sua aplicação, vantagens, limitações da técnica e comparação com outros métodos.

No capítulo 6, a metodologia do trabalho é aplicada, os dados são escolhidos, agrupados, analisados e o resultado é apresentado e discutido.

O último capítulo é reservado para as conclusões do trabalho aqui formalizado e para recomendações de trabalhos futuros.

2. BENCHMARKING

NOVAES (2001) menciona a expressão *benchmark*, referindo-a a um marco geográfico de referência fixo, com coordenadas e altitude conhecidas, e utilizado para balizar levantamentos topográficos. Da mesma forma menciona que *benchmarking* pode ser entendido como o processo de aferir medidas contra padrões pré-definidos, numa bancada (*bench*).

Benchmarking constitui um processo sistemático de comparações entre processos semelhantes e, a partir delas, a promoção de melhorias que permitam uma determinada atividade tenha excelência quando comparada com outras equivalentes em empresas do mesmo setor ou de outros setores da economia. O *benchmarking* auxilia empresas a definir metas, estimula novas idéias e oferece um método formalizado de gerenciamento de mudança.

Esse termo técnico, que traduzido literalmente significa padrões de referência, é mais bem compreendido como um processo empresarial, cuja intenção é comparar-se com os melhores referenciais (WATSON, 1994). Baseando-se na filosofia da melhoria contínua e num constante aprendizado, WATSON (1994) coloca o *benchmarking* como um instrumento gerencial de mudança.

CAMP (1989) propôs uma descrição simplificada de *benchmarking* como um processo positivo e pró-ativo por meio do qual uma empresa examina como outra realiza uma função específica a fim de melhorar uma sua, similar. Dessa maneira, *benchmarking* é uma prática de gestão que facilita o recurso contínuo de informação para uma empresa.

RANSLEY (1994) define *benchmarking* como um processo contínuo de medir produtos, serviços e/ou processos com relação aos concorrentes mais fortes ou aos líderes reconhecidos do setor, procurando identificar as melhores práticas da indústria que levem a um desempenho superior.

Para LEIBFRIED e McNAIR (1994), é uma ferramenta para a obtenção das informações necessárias para apoiar a melhoria contínua e obter a vantagem competitiva.

Segundo ZAIRI (1995), *benchmarking* é um processo reconhecido de qualidade que é usado para medir continuamente produtos, serviços, processos e práticas em relação aos concorrentes ou a empresas consideradas as "melhores da classe". Também determina como essas empresas atingem níveis de desempenho, que asseguram a vantagem competitiva.

De acordo com estes autores citados, *benchmarking* refere-se a um processo que mede um determinado produto ou serviço em relação a uma empresa considerada de melhor desempenho, porém, perante a Teoria Geral da Administração, utiliza-se o trabalho de Frederick TAYLOR (1970,) sobre a aplicação do método científico na empresa estimulando a comparação de processos de trabalho. Acrescentou ainda que este processo pode e deve ser realizado também com empresas concorrentes de menor desempenho a fim de acompanhar seu desenvolvimento em técnicas produtivas.

WATSON (1994) acreditava o *benchmarking* ser dinâmico transformando-se em gerações de desenvolvimento como o próprio processo empresarial. Sua evolução assemelha-se ao modelo clássico de "arte, transição para ciência" relativa ao desenvolvimento de uma nova disciplina de gerenciamento.

Já para David T. KEANS (1986) da *Xerox Corporation*, o *benchmarking* é um processo contínuo de medição de produtos, serviços e práticas em relação aos mais fortes concorrentes, ou às empresas reconhecidas como líderes em suas indústrias.

Baseado na definição acima, Robert CAMP (1993) completa que o *benchmarking* é um processo gerencial e de auto-aperfeiçoamento, que precisa ser contínuo para ser eficaz. O mesmo não pode ser executado uma vez e depois negligenciado, na crença de que a tarefa foi concluída. Ele precisa ser um processo contínuo, porque as práticas da indústria mudam constantemente. Os líderes ficam mais fortes a cada instante. As práticas precisam ser continuamente monitoradas, para garantir a descoberta das melhores. Somente as empresas que perseguem o *benchmarking* com disciplina terão sucesso em alcançar um desempenho superior. Afirma ainda que em um ambiente de mudanças constantes, a complacência é fatal.

Ainda, o termo *benchmarking* também significa medição. Esta medição pode ser realizada de duas formas. As práticas internas e externas podem ser comparadas

e uma declaração de diferenças significativas pode ser documentada. Trata-se de uma declaração verbal de medição das melhores práticas da indústria que devem ser implementadas para se atingir superioridade, embora ela seja de natureza qualitativa. Ela descreve ainda a oportunidade da adoção das melhores práticas. As práticas podem ser quantificadas para mostrar uma medição analítica da diferença entre as práticas, quantificando assim o tamanho da oportunidade. Esta métrica constitui com frequência a medição franca desejada pela maioria dos gerentes. Embora seja importante e tradicional esforçar-se por obter medições de *benchmarking* a partir de análises, ficará evidente que ambas devem ser buscadas, porém as práticas nas quais se baseiam as medições devem ser buscadas antes.

O *benchmarking* não é apenas uma investigação de medidas da função empresarial externa, mas uma investigação para determinar que práticas estão sendo usadas para assegurar eficácia e superioridade e quais delas atingem as medidas necessárias. O *benchmarking* não é apenas um estudo da concorrência, mas um processo de determinação da eficácia dos líderes da indústria através da medição dos seus resultados. Produtos, serviços e práticas: o *benchmarking* pode ser aplicado a todas as facetas de uma empresa. Ele pode ser aplicado aos produtos e serviços básicos, pode ser aplicado aos processos que entram na fabricação desses produtos, e pode ser aplicado a todas as práticas e métodos de processos de apoio para se levar de forma eficaz esses produtos e serviços aos clientes e satisfazer suas necessidades. O *benchmarking* vai além da análise competitiva tradicional, para revelar não apenas quais são as melhores práticas da indústria, mas também para obter uma clara compreensão de como essas práticas são usadas.

Partindo do princípio de que as atividades empresariais, em sua maioria, podem ser analisadas como processos, a maior parte delas tem um começo, uma atividade principal e um fim. Existe um resultado do processo que é aquilo que deseja o cliente seguinte, quer ele seja interno ou externo, usuário final ou consumidor do resultado ou produto. O estudo dos processos empresariais e seus métodos e práticas é o principal objetivo da abordagem de *benchmarking*.

O *benchmarking* deve ser dirigido para as empresas e funções reconhecidas como sendo as melhores ou líderes em suas indústrias. A empresa que serve como parceira de *benchmarking* nem sempre é óbvia, e nem sempre as líderes do ramo,

mas a com melhor processo. É necessária uma investigação cuidadosa para se determinar as empresas a serem buscadas como parceiras de *benchmarking*. Felizmente existem maneiras para se descobrir quem deve ser escolhido e por quê. No sentido formal, o *benchmarking* é uma experiência continuada de investigação e aprendizado que assegura que as melhores práticas sejam descobertas, analisadas, adotadas e implementadas. Ele focaliza as melhores práticas disponíveis. Assegura a compreensão de como são executadas e finalmente determina o valor dessas práticas, ou até que ponto elas são bem executadas.

2.1. Tipos de benchmarking

Como tratado anteriormente, há vários tipos diferentes de benchmarking. Um estudo de benchmarking global refere-se a um estudo de benchmarking do melhor método de uma perspectiva global, ou seja, seus participantes podem fazer parte de qualquer país ou continente. Já o benchmarking estratégico é a aplicação de benchmarking de processo às questões de importância estratégica para a empresa. Benchmarking operacional é a aplicação de benchmarking de processo para os processos de negócios de uma empresa. Porém, os mais utilizados são os rotulados de internos, competitivos, funcionais e genéricos, os quais serão detalhados a seguir.

2.1.1. Benchmarking Interno

Segundo WATSON (1994) o *benchmarking* interno encerra o fato de que os parceiros selecionados estão dentro de uma mesma companhia. É consenso entre os autores pesquisados de que o estudo interno é a melhor forma de se iniciar a utilização da ferramenta *benchmarking*. Enfim, nota-se que os benefícios para esse tipo de estudo de *benchmarking* são os que devem levar as organizações para a decisão de uso dos mesmos.

2.1.2. *Benchmarking* Competitivo

As organizações, pela sua própria razão de existência, estão sempre à busca de melhorar seus processos em relação à concorrência para se manterem mais diferenciadas. Nesse estudo busca-se a comparação sempre com o que há de melhor no mercado, pois são mais fáceis de serem identificadas, embora também seja maior a probabilidade de não haver o interesse de compartilhamento de informações. Portanto, *benchmarking* competitivo, segundo Robert BOXWELL (1996), significa medir suas funções, processos, atividades, produtos ou serviços em relação aos seus concorrentes e melhorá-los de forma que sejam, idealmente, os melhores do ramo, mas, no mínimo, melhores do que o de seus concorrentes. Esse tipo de estudo é considerado o padrão de *benchmarking*, pois os concorrentes diretos em produtos são os objetos mais óbvios de análise e comparação. Uma síntese do que é o *Benchmarking* competitivo nos é demonstrado pela tabela 2.1, elaborada por Robert BOXWELL (1996), a qual é reproduzida a seguir:

<i>Benchmarking</i> Competitivo	
Sua Organização	Seus Concorrentes
O que você está fazendo?	O que eles estão fazendo?
Como você está fazendo?	Como eles estão fazendo?
Quão bem você está fazendo?	Quão bem eles estão fazendo?
Resultado: Ampliado o conhecimento de sua organização.	Resultado: Ampliado o conhecimento de sua concorrência.

Tabela 2.1: *Benchmarking* competitivo

Fonte: BOXWELL, Robert J. (1996)

2.1.3. Benchmarking Funcional

Segundo Gerald BALM (1996), o *benchmarking* funcional é a comparação com outras companhias de classe mundial que exercem a mesma atividade e, normalmente, pertencentes ao mesmo setor industrial, mas não concorrentes diretos. Para tal, faz-se necessário que as operações sejam comparáveis do ponto de vista logístico. Essa é a forma mais fácil de praticar *benchmarking*. Conforme observa Robert CAMP (1993), o *benchmarking* funcional, enseja um interesse inquisitivo e positivo por parte dos observadores, para que vejam as possibilidades da junção do melhor das melhores práticas de várias fontes e de operações diferentes.

2.1.4. Benchmarking Genérico

Na definição de Gerald BALM (1996), *benchmarking* genérico é a comparação com companhias de classe mundial que nem mesmo pertencem ao mesmo setor industrial, mas desenvolvem processos similares. O benefício desta forma de *benchmarking* é a possível descoberta de práticas e métodos ainda não implementados na indústria do investigador. Podem ser descobertas tecnológicas e práticas comprovadas e facilmente transferíveis, necessitando de pouca ou nenhuma adaptação, por existirem funções ou processos empresariais que são os mesmos, independente das diferenças entre as indústrias. Afinal, é comum várias empresas terem que desenvolver processos que envolvam pedidos, vendas, recursos humanos, administração de material, entre vários outros exemplos.

2.2. Abordagens do benchmarking

Registram-se abordagens feitas por alguns autores, para se ressaltar as principais razões para o *benchmarking*, tanto sob a ótica estratégica, quanto competitiva, bem como os seus objetivos e benefícios, e ainda sobre meta, fatores de sucesso e, por fim, como atingir desempenho superior.

2.2.1. Na Visão Estratégica

O autor Gregory H. WATSON (1994) coloca que o *benchmarking* estratégico seria semelhante ao operacional na aplicação, mas diferente no escopo, e ainda com algumas questões a se oporem como a formação de competências principais que ajudarão a apoiar a vantagem competitiva, a objetivação de uma mudança específica em estratégia, desenvolvimento de nova linha de negócios ou fazer aquisições, a criação de uma organização que seja capaz de aprender como responder num futuro incerto por ter aumentado sua aceitação de mudança. Infere-se das observações do autor que, com o *benchmarking* estratégico, a organização irá centrar os estudos em questões específicas do plano estratégico, como: desenvolvimento de objetivos pela alta administração, o estabelecimento de metas, a mudança de direção estratégica, a mudança na cultura da empresa (valores e visão), o desenvolvimento de infraestrutura organizacional, a seleção de processos empresariais - chave para aperfeiçoamento e a identificação de áreas tecnológicas voltadas para o desenvolvimento. Conclui-se, portanto que a idéia é a de que as competências principais das organizações devem se valer da ferramenta *benchmarking* para contar com mais elementos para a definição de rumos da empresa.

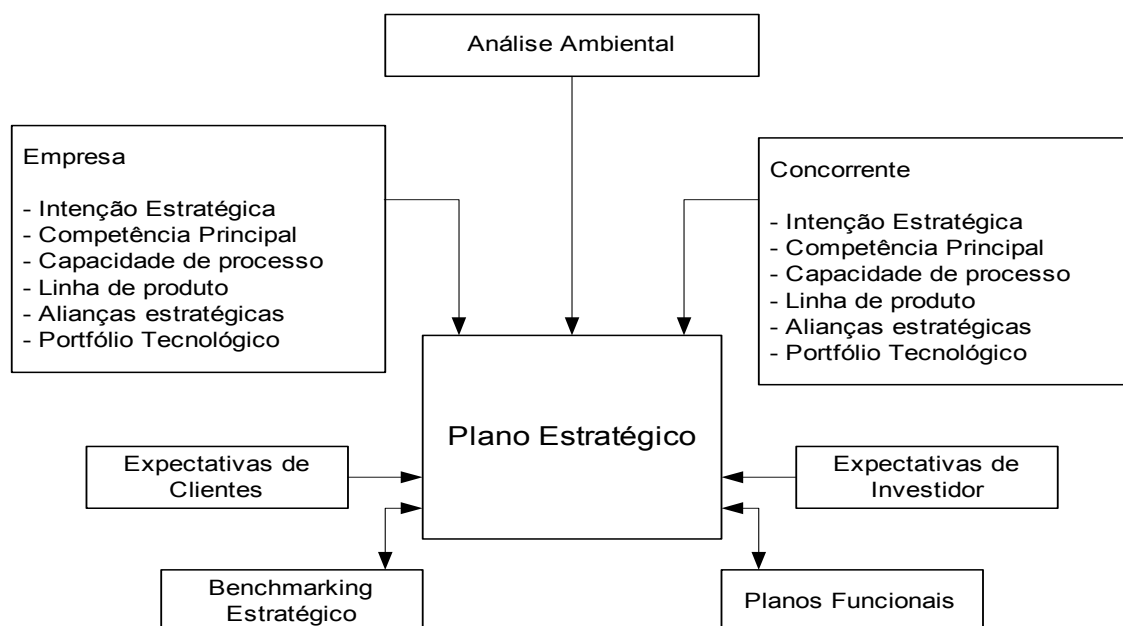


Figura 2.1: Aplicação de *benchmarking* estratégico.

Fonte: WATSON, Gregory H. (1994).

2.2.2. Na Visão Competitiva

Uma empresa, para competir satisfatoriamente no mercado, precisa ter qualidade além dos concorrentes, tecnologia superior à dos concorrentes e custo abaixo dos custos dos mesmos. O estudo de *benchmarking* prevê maior consciência dos produtos, custos, mercados e dos processos que garantem que planos eficazes sejam desenvolvidos para aplicá-los. O *benchmarking* é o caminho para a vantagem competitiva. O foco externo constante e os testes de idéias, métodos e práticas e sua incorporação a planos e programas para sua aplicação é a única abordagem que assegura a competitividade em longo prazo. Para tornar-se competitivo é preciso compreender os concorrentes. O foco sobre os concorrentes diretos é um dos focos do *benchmarking*. Em sua mais completa aplicação, ele vai além da análise somente dos concorrentes e revela as melhores práticas onde quer que elas possam existir, em qualquer indústria. A investigação de práticas e tecnologias comprovadas através de uma ampla análise de indústrias é o que traz a competitividade suprema. Uma posição de liderança competitiva significa que as forças do processo foram aproveitadas em todas as partes nas quais elas foram praticadas.

Por sua natureza, o processo de *benchmarking* desafia a maneira corrente de se fazer negócios, trazendo de fora novas idéias e práticas. Essas novas práticas são usadas na montagem de estratégias funcionais e planos de negócios, a partir dos conhecimentos obtidos com o *benchmarking*. Estes são posteriormente transformados, no ciclo orçamentário, em compromissos de recursos e planos de ação. Esse processo de visão externa, descobertas, formulação de estratégias e consignação de planos conduz à competitividade.

As indústrias mudam suas atitudes a partir do incômodo da concorrência. O *benchmarking* ajuda prever o incômodo da concorrência antes que ele ocorra.

Robert CAMP (1993), dá a idéia de como uma empresa torna-se competitiva. Ele faz isso traçando um quadro do futuro estado desejado com base nas descobertas a respeito das melhores práticas da indústria. O *benchmarking* é a base para se elaborar um quadro de como será a operação depois de mudada para atingir um desempenho competitivo superior. Assim, ele constitui uma forma poderosa de

dirigir as energias da operação para que esta se torne competitiva e supere a concorrência.

O quadro abaixo mostra como o *benchmarking* auxilia a competitividade, segundo Robert CAMP (1993):

Razões para o <i>benchmarking</i> tornar-se competitivo	
SEM Benchmarking	COM Benchmarking
Foco interno	Compreensão concreta da concorrência
Mudança evolucionária	Novas idéias de práticas; Tecnologias comprovadas.
Baixo compromisso	Alto compromisso

Tabela 2.2: Razões para o *benchmarking* tornar-se competitivo

Fonte: CAMP, Robert C. (1993).

No próximo capítulo, conceitos de produtividade e eficiência serão revisados. Com estes conceitos básicos, a técnica de avaliação de desempenho será aplicada e seus resultados analisados e compreendidos, com a finalidade de indicar os melhores períodos de desempenho da empresa (referências para *benchmarking*).

3. CONCEITOS BASICOS DE PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA

3.1. PRODUTIVIDADE

De acordo com MOREIRA (1991), para se conceituar o termo produtividade é conveniente referi-lo a qualquer sistema de produção. Assim, um sistema de produção é qualquer conjunto de partes, que operam de forma combinada e harmônica para transformar insumos em produtos ou serviços.

Vários autores (DE BORGER, 1984; KIM, 1985; OUM *et al.*, 1992; LOVELL, 1993) conceituam a produtividade de um sistema de produção como uma relação de transformação comparativa, envolvendo seus insumos e produtos, ou seja, consideram a forma como a relação insumo-produto muda no tempo e/ou difere entre empresas ou indústrias.

LOVELL (1993) afirma que a produtividade varia devido a diferenças em termos da tecnologia de produção, da eficiência do processo de produção, e do ambiente em que ocorre a produção.

MOREIRA (1991) e OUM *et al.* (1992), afirmam existirem diferentes razões para medir a produtividade, indicando possíveis aplicações como:

a) Ferramenta gerencial, para verificar efeitos de mudanças organizacionais, ou de introdução de novos processos de produção, para apoiar entre outras atividades, reformas no layout, e introdução de novas técnicas gerenciais dentro e fora da produção, para estabelecer programas de eliminação de refugos e desperdícios, ou programas de treinamento de pessoal, políticas de investimentos, ou ainda, para avaliar abertura de novos mercados ou introdução de novos produtos;

b) Instrumento de motivação, ou seja, como elemento guia de estímulos para que funcionários e gerentes passem a tomar decisões focadas em aspectos de eficácia.

c) Forma de prever necessidades futuras de mão-de-obra, isto é, partindo-se de previsão quanto à expansão de demanda ou tendências de aumento na

produtividade, pode-se determinar a quantidade de força de trabalho necessária para atender à produção estimada, em face da tecnologia utilizada.

Os autores continuam suas afirmações mencionando como razões para a medição de produtividade:

- a) O fato de poder comparar o desempenho de indivíduos ou departamentos em uma mesma empresa, entre empresas de um mesmo grupo industrial, ou ainda entre indústrias de um mesmo ramo de atividade;
- b) Utilizar indicadores de desempenho com a finalidade de comparar a *performance* de unidades de uma mesma empresa, dispersas em diferentes localizações geográficas;
- c) Permitir a verificação da influência da produtividade sobre os preços, tanto para empresas como para o setor político público, citando o exemplo de quando frente a preços crescentes dos insumos, as empresas podem restringir aumentos nos preços de seus produtos, aumentando sua produção e, conseqüentemente, sua produtividade.
- d) Permitir comparar a *performance* de empresas/indústrias sob regimes políticos públicos alternativos, por exemplo, regulamentação e/ou propriedade do governo;
- e) E ainda para medir o desempenho de uma empresa ou indústria através do tempo.

Segundo OUM *et al.* (1992), alguns pesquisadores acreditam que mudanças na habilidade produtiva, associadas à adoção de novos conhecimentos tecnológicos, nova organização gerencial ou novas políticas industriais, indicam expectativa de melhoria de *performance* em longo prazo.

Os mesmos autores afirmam, ainda, que da mensuração de produtividade podem-se explorar as economias de escala ou de tamanho de rede, economias de densidade de tráfego ou outras economias associadas à utilização de capital ou de insumos agregados, além de eliminar as combinações de insumos alocativamente ineficientes e as ineficiências técnicas, permitindo aumentar a qualidade de produtos

e de insumos, assim como reduzir as externalidades, diferenciar locais de operação e perceber mudanças em habilidades produtivas.

Existem várias medidas de produtividade parciais, onde o aumento do produto é comparado com o aumento de alguns, mas não todos os insumos disponíveis. Este se torna um dos problemas destas medidas de *performance*, que consideram somente um subconjunto de insumos usados pela empresa e, algumas vezes, somente um subconjunto dos produtos, para retratarem os ganhos ou perdas totais na produtividade.

Outro problema das medidas parciais é que as mesmas freqüentemente falham ao levar em conta a natureza não homogênea dos insumos e produtos. Por exemplo, para avaliar os custos totais por hora trabalhada, o número total de empregados é usado como uma medida do insumo trabalho, embora a adição de um operador de tráfego por algumas horas, evidentemente, apresente impacto distinto sobre a produtividade. Além disso, o aumento da produção de alguns produtos não garante que a empresa será mais eficiente no todo.

Por isso, os pesquisadores investem em medidas onde modificações em todos os produtos estão associadas às modificações em todos os insumos. Uma destas medidas é conhecida como Fator de Produtividade Total (FPT).

3.1.1. FATORES DE PRODUTIVIDADE TOTAL E PARCIAL

O Fator de Produtividade Total mede mudanças observadas no produto total, relativamente a mudanças no uso de todos os insumos (BENJAMIM e OBENG, 1990; HENSHER, 1992; OBENG *et al.*, 1992; COELLI *et al.*, 1997).

Os termos Fator de Produtividade Parcial (FPP) e Fator de Produtividade Total (FPT) produzem, respectivamente, medidas de ganhos de produtividade associadas às mudanças em um insumo particular, mantidos os demais insumos sem variações, ou ainda, mudanças em um índice de produto agregado, devido a alterações em um índice de insumo agregado. Em ambos os casos o objetivo da análise é estimar a taxa de mudança no conjunto de possibilidades de produção e

averiguar se ela resulta de oscilações no nível e no *mix* dos insumos utilizados, produtos obtidos ou custos operacionais (BERECHMAN, 1993).

BENJAMIM e OBENG (1990), por sua vez, definem o Fator de Produtividade Total como a diferença entre o crescimento percentual em produtos e insumos em dois períodos de tempo. Para tanto utilizam ponderação para combinar os aumentos em insumos bem como os aumentos ocorridos nos produtos.

A vantagem do fator de produtividade total, em relação ao fator de produtividade parcial, é que o primeiro considera todos os insumos analisados, simultaneamente. Assim, todas as interações entre os vários insumos são consideradas no cálculo de produtividade. Tal abordagem permite avaliar a sensibilidade na produtividade quando muda um único insumo, mantendo-se constantes as quantidades e custos de outros insumos. Este método possui a vantagem de isolar os efeitos parciais, o que não é possível usando o método de relação simples (BENJAMIN e OBENG, 1990).

Esta formulação origina duas grandes dificuldades, sendo, a primeira quando a produção é de mais de um único produto, dizendo respeito à forma como são agregados todos os produtos em um único índice de produto. A segunda se resume em dificuldades de interpretar a produção sob diferentes condições de economias de escala (BERECHMAN, 1993). Para isso, existem várias abordagens para a medida do Fator de Produtividade Total (FPT) que levam a diferentes resultados e interpretações. DIEWERT (1989) (*apud* OUM *et al.*, 1992) identificou algumas destas abordagens, classificando-as como paramétricas (a) ou não-paramétricas (b):

a) As abordagens paramétricas são aquelas onde se tenta especificar uma relação funcional entre produto e insumos analisados, bem como estimar a significância estatística deste conjunto de dados. As duas abordagens paramétricas mais utilizadas são de acordo com KIM (1985) e OUM *et al.* (1992):

- Função de produção:

Deve-se definir a relação funcional entre as quantidades de insumos utilizadas para a produção de uma determinada quantidade de produto. Como a função de produção que melhor representa esta relação é desconhecida, os seus parâmetros deverão ser definidos estimando-os estatisticamente. Como a estimação

da função de produção pode apresentar algumas dificuldades teóricas e empíricas, segundo BERECHMAN (1993) é mais conveniente estimar a função de custo, que pode conter toda a informação relevante da estrutura de produção.

- Função de Custo:

Esta abordagem define a relação funcional entre produto e insumos, através de seus respectivos preços. A função de custo é então definida como a função que especifica os custos mínimos para produzir um dado nível de produto, frente a determinado vetor de preços para os insumos. A abordagem da função de custo se expressa como o dual da abordagem da função de produção.

Uma vantagem citada por BERECHMAN (1993) da abordagem paramétrica para medidas de produtividade é a possibilidade de se realizar testes estatísticos para verificar o grau de significância das variáveis incluídas no modelo.

Segundo o mesmo autor, é preciso, contudo, alguns cuidados no uso de medidas de produtividade. O mesmo afirma que:

- As medidas de produtividade são imprecisas devido às dificuldades na obtenção dos dados e a controvérsias entre vários conceitos envolvidos na sua definição;
- Nem sempre padrões semelhantes de variação, entre duas ou mais variáveis, são indicativos da existência de alguma relação de causa e efeito, entre elas. Estas variações podem ocorrer devido ao acaso ou à influência oculta de alguma variável não explicitada nos modelos de análise;
- As medidas de produtividade econômica não levam em conta os efeitos danosos que podem ocorrer, no que diz respeito à qualidade de vida e o bem-estar social, quando se busca sistematicamente ampliar os resultados de produção;
- Um valor numérico para a relação produto/insumo não explica mudanças em produtividade. Para que se possam perceber essas mudanças, são necessárias informações sobre as decisões da empresa com relação à sua alocação de recursos, dada sua referida tecnologia de produção;

- As comparações bilaterais de indicadores de desempenho observados em diferentes empresas, durante dado período de tempo, ou de uma empresa, através do tempo, podem mostrar mudanças relativas a um *benchmark* arbitrariamente definido tais como um ano base ou uma indústria média.

b) As abordagens não-paramétricas são aquelas onde a produtividade é medida por números-índices ou valores absolutos. Estes números-índices são definidos a partir de quantidades diretas de insumos e produtos e/ou custos e receitas. Este assunto será tratado mais detalhadamente no próximo capítulo;

3.2. EFICIÊNCIA

Segundo FARREL (1957), a eficiência de uma empresa, geralmente se refere ao seu grau de sucesso, no esforço de gerar determinada quantidade de produto, a partir de um dado conjunto de insumos.

LOVELL (1993), afirma que a eficiência de uma unidade de produção resulta de comparação entre os valores, sendo estes o observado e o ótimo, em suas relações insumo-produto. A comparação se faz entre o produto observado e o máximo produto potencial alcançável, para os insumos utilizados, ou a partir de algum insumo mínimo potencial necessário para produzir dado produto, pelo insumo observado, ou, ainda, alguma combinação dos dois valores. Nessas comparações, mede-se a eficiência técnica, e o ótimo é definido em termos de possibilidades de produção. Também é possível definir o ótimo em termos do objetivo comportamental da unidade de produção. Neste caso, trata-se da eficiência econômica, que é medida comparando custos, receitas e lucros observados, em relação a padrões ótimos. Assim, a eficiência produtiva tem duas componentes: a componente puramente técnica, que se refere à habilidade de evitar desperdícios produzindo tanto produto quanto o uso dos insumos permite (ou usando o mínimo de insumos que viabiliza aquela produção), e a componente alocativa, dependente dos preços, que se refere à habilidade de combinar insumos e produtos em proporções ótimas, de acordo com os preços dominantes.

BERECHMAN (1993), também divide a Eficiência de Produção em conceitos de eficiência técnica e eficiência alocativa. A empresa é dita tecnicamente eficiente se, dado os recursos de que dispõe, a mesma usa combinações destes insumos ao longo da curva de isoquanta de produto no nível mais alto possível. A eficiência técnica também é obtida quando, dado o nível de produto desejado, que é restrito ao nível de demanda do mercado, a empresa usa o mínimo de recursos suficiente e necessário para produzir aquele nível de produto. A empresa é dita alocativamente eficiente se, na seleção entre as combinações de insumos, além de ser tecnicamente eficiente, também minimiza os custos totais.

KOOPMANS (1951) definiu eficiência técnica como um vetor entrada-saída que é tecnicamente eficiente se, e somente se:

- i) nenhuma das saídas pode ser aumentada sem que alguma outra saída seja reduzida ou alguma entrada necessite ser aumentada;
- ii) nenhuma das entradas possa ser reduzida sem que alguma outra entrada seja aumentada ou alguma saída seja reduzida (LINS, 2000).

KOOPMANS (1951) forneceu uma definição formal para eficiência técnica, sendo, um produtor considerado tecnicamente eficiente se, para obter aumento de produção de algum produto, deverá apresentar redução em pelo menos um outro produto, ou o aumento no consumo de pelo menos um insumo. De outra forma, a eficiência será alcançada se uma redução em algum insumo exigir aumento de pelo menos um outro insumo, ou alguma redução em pelo menos um dos produtos. Assim, um produtor tecnicamente ineficiente, poderia produzir os mesmos produtos com menor quantidade de pelo menos um insumo, ou poderia usar os mesmos insumos para produzir maior quantidade de pelo menos algum produto por ele produzido.

CHARNES e COOPER (*apud* LINS, 2000) alertam para o fato de ver esta definição como um conceito para eles relativo. Para os autores a eficiência de 100% é atingida por uma unidade quando comparações com outras unidades relevantes não provêm evidência de ineficiência no uso de qualquer entrada (*input*) ou saída (*output*). Este conceito nos permite então, diferenciar entre estados de produção considerados eficientes ou ineficientes, mas não permite medir o grau de ineficiência de um vetor ou identificar um vetor ou uma combinação de vetores eficientes com os quais se possa comparar um vetor qualquer.

Ainda, “a eficiência técnica é um critério que permite comparar o desempenho de unidades de produção pertencentes a ambientes institucionais diferentes. As instituições públicas perseguem objetivos diferentes aos de uma instituição privada cuja busca essencial é o lucro. Portanto, o campo da eficiência técnica é um campo comum para se estabelecer comparações entre instituições de diferentes naturezas.” (LOVELL, 1993).

De forma mais objetiva, o *Tutorial Steering Committee for the Review of Commonwealth / State Service Provision. SCRCSSP (1997)* conceitua eficiência técnica como uma conversão de insumos físicos, tais como mão-de-obra e matérias-primas ou materiais semi-acabados em produtos. Eficiência técnica é então determinada pela diferença entre a proporção observada de quantidades combinadas de um produto de uma empresa com o insumo e a proporção alcançada pela melhor prática. A eficiência técnica é afetada pelo tamanho das operações (denominada de eficiência de escala) e pelas práticas gerenciais (denominada de eficiência técnica sem escala). Isto é definido independente dos preços e dos custos.

Para representar ilustrativamente a eficiência técnica, segundo PEARSON (1993), será considerado o caso mais simples, onde existe somente um insumo e um produto, isto é, onde se pode observar uma única relação *input-output*. O conjunto de possibilidades de produção para uma empresa será definido pelo espaço que a relação permite cobrir. Assumindo que Z é a função de produção para uma indústria, o conjunto de possibilidades de produção é limitado superiormente pelos pontos que definem a função de produção, sendo formado por estes pontos e todos aqueles que se situam abaixo da fronteira.

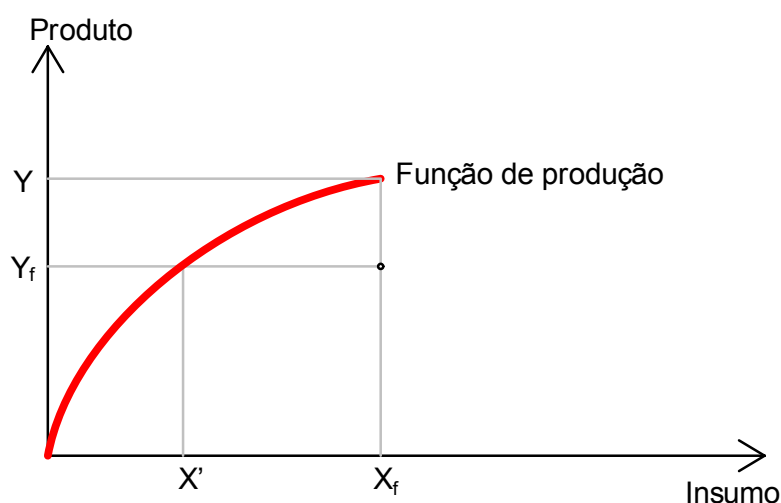


Figura 3.1: A Fronteira de Produção e a Eficiência Técnica

Fonte: PEARSON (1993)

Se a empresa está sobre a fronteira, ela é dita tecnicamente eficiente, caso contrário, se ela se situa abaixo da fronteira, ela é dita tecnicamente ineficiente. Neste caso, a empresa poderia produzir seu produto corrente usando menor quantidade de insumos, ou, ainda, dados seus insumos disponíveis no momento, poderia produzir maior quantidade de produtos (PEARSON, 1993).

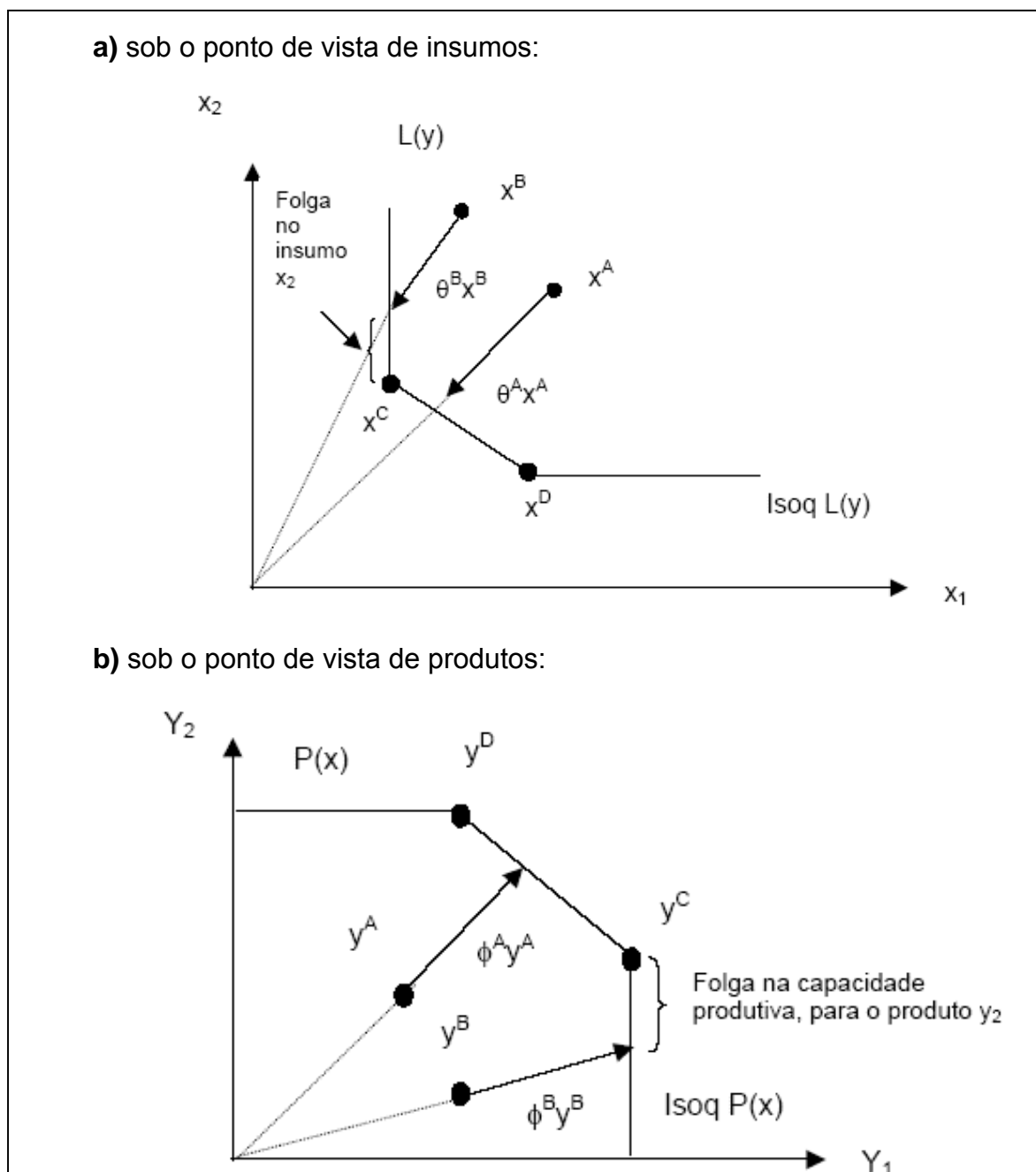
Da mesma forma, a empresa representada na figura 3.1, operando no ponto (Y_f, X_f) é dita tecnicamente ineficiente. Existem duas abordagens para medir a eficiência desta empresa.

- Abordagem de minimização aplicada aos insumos, onde a eficiência técnica é medida como a taxa do mínimo insumo potencial necessário para produzir o presente produto em relação ao uso real daquele mesmo insumo.

- Abordagem de maximização de produto, onde a eficiência técnica é medida como a taxa de produto real em relação ao máximo produto potencial, que seria obtido se a empresa estivesse sobre a fronteira da melhor prática.

Para as duas abordagens, a eficiência técnica é sempre menor ou igual ao valor unitário. Uma medida de eficiência igual ao valor unitário significa que a empresa é considerada tecnicamente eficiente (PEARSON, 1993).

As duas medidas de eficiência técnica são ilustradas na figura abaixo, considerando mais de um insumo (Figura 3.2a) e mais de um produto (Figura 3.2b) (LOVELL, 1993):



Figuras 3.2a e 3.2b: Medidas de Eficiência Técnica de DEBREU-FARREL

Fonte: FRIED *et al.* (1993)

Na representação orientada para insumo (Figura 3.2a), os vetores de insumos x^A e x^B podem ser contraídos radialmente simbolizando redução do consumo de insumos e ainda permanecerem capazes de produzir o vetor produto y . Já os vetores de insumo x^C e x^D , que estão sobre a fronteira de produção não apresentam esta possibilidade. Observa-se que o vetor de insumo $\theta^B x^B$, mesmo após contraído radialmente até a fronteira, ainda estará utilizando quantidade desnecessária do insumo x_2 (apontará folga no insumo x_2). Assim, este vetor é considerado fracamente eficiente, pois a empresa poderia obter idêntico produto eliminando aquelas folgas. Tal problema não ocorre com o vetor de insumo $\theta^A x^A$.

De forma similar, a representação orientada para produto, os vetores y^A e y^B podem ser estendidos radialmente, expressando aumento de produtos gerados com base no vetor insumo x . Situação esta que não pode ser imposta aos vetores y^C e y^D que se apresentam sobre a fronteira de produção. Nota-se que o vetor de produto $\theta^B y^B$, mesmo após estendido radialmente até a fronteira de produção, ainda estará produzindo quantidade insuficiente do produto y_2 (apontará folga na capacidade produtiva para o produto y_2). Assim, este vetor é considerado ineficiente, pois a empresa poderia obter resultado mais favorável eliminando as ditas folgas. Tal problema não ocorre com o vetor de produto representado por $\theta^A y^A$.

Assim, BERECHMAN (1993) diferencia produtividade de eficiência. Para o autor, enquanto ganhos de produtividade resultam de melhorias na tecnologia de produção, as mudanças na eficiência são resultantes de mudanças no *mix* de fatores de insumo associadas às mudanças nos preços de insumos e/ou de produtos.

Um dos objetivos principais para se estudar produtividade é determinar se as mudanças na razão produto-insumo, enfrentadas pela empresa, decorrem de mudanças puramente tecnológicas ou respondem a alterações nos preços dos insumos e produtos (BERECHMAN, 1993).

3.2.1. Eficiências produtiva, alocativa e dinâmica.

TOREZAN (1998) define a eficiência produtiva de um sistema produtivo qualquer como *“o quociente entre a relação produção-consumo observada e a relação produção-consumo ótima. Quando este ótimo se refere ao conjunto de possibilidades de produção, a eficiência é técnica e diz respeito às relações físicas entre produtos e insumos. A eficiência técnica pode ser definida, então, como a habilidade de uma empresa em produzir o máximo de produto para um dado conjunto de insumos e tecnologia”*.

O *Tutorial Steering Committee for the Review of Commonwealth/State Service Provision, SCRCSSP (1997)*, apresenta a seguinte definição para eficiência alocativa: *“Para qualquer nível de produção, os insumos são usados na proporção que minimiza o custo da produção, partindo de certos preços de insumos”*. Assim sendo, pela definição, percebe-se que a eficiência alocativa está relacionada com o lucro obtido com a produção de determinado bem ou serviço.

Já LINS (2000) denomina eficiência alocativa de acordo com a afirmação de FARREL (1957) que, estendeu o trabalho de KOOPMANS e DEBREU de forma a incluir um componente capaz de refletir a habilidade dos produtores em selecionar o vetor *input-output* eficiente considerando os respectivos preços.

Existe ainda uma terceira medida de eficiência, que é denominada de eficiência dinâmica, a qual o *Tutorial DEA (1997)* define como *“o sucesso com o qual os produtores alteram tecnologia e produtos seguindo mudanças na preferência dos consumidores e nas oportunidades produtivas”*.

Com base nesses conceitos, segue nos próximos capítulos a apresentação das principais técnicas de medição de eficiência, introduzindo o conceito de DEA a ser revisado posteriormente em capítulo dedicado.

4. TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA

4.1. Considerações iniciais

Segundo GREENE (1993), nos anos 60 generalizou-se a utilização de análises de regressão, onde dados empíricos eram examinados com base em métodos estatísticos, estimando funções que entrecortavam dados. À medida que a teoria das fronteiras se consolidou, surgiu interesse em substituir a prática de passar através dos dados, pela de circundá-los, por meio de técnicas de programação matemática.

Assim, há basicamente dois métodos que tratam a respeito da mensuração da eficiência na utilização de recursos:

Um dos métodos, o paramétrico, utiliza técnicas econométricas para estimar funções de produção “médias”. Os métodos mais utilizados são os modelos de máxima verossimilhança, mínimos quadrados ordinários corrigidos e mínimos quadrados ordinários deslocados (LOVELL, 1993). Este requer especificações explícitas da forma funcional e suposições acerca da distribuição do erro, podendo confundir erros de especificação com ineficiência (LOVELL, 1993; DAY, 1995). Dada sua dificuldade em acomodar múltiplos produtos, geralmente expressam a produção por um índice (valor da produção, por exemplo), defrontando-se com o problema da ponderação. Ao utilizar um índice como medida de produto, importantes informações no espaço dos produtos são perdidas com o uso destes métodos econométricos.

O outro método, não-paramétrico, baseia-se na programação matemática e é concebido para cumprir dois objetivos principais: construir fronteiras de produção a partir de dados empíricos e computar uma medida de produtividade relacionando dados de observações com as fronteiras de produção.

As diferenças essenciais entre estas abordagens e as vantagens de uma abordagem ou outra segundo GREENE (1993), recaem, basicamente, em duas características:

- a) A abordagem econométrica é estocástica, assim sendo tenta distinguir os efeitos de ruído dos efeitos de ineficiência. A abordagem de programação é não-estocástica, e agrega ambos os efeitos de ruídos e ineficiência, denominando a combinação dessas, simplesmente de ineficiência;
- b) A abordagem econométrica é paramétrica, e permite confundir os efeitos de má especificação da forma funcional com ineficiência gerencial. A abordagem de programação é não-paramétrica e menos propensa a este tipo de problema.

Os modelos econométricos podem ser categorizados de acordo com o tipo de dado (em um período ou em vários períodos), o tipo de variável (somente quantidades, ou quantidades e preços) e o número de equações no modelo (GREENE, 1993).

De acordo com ALI e SEIFORD (1993), a abordagem de programação matemática para construção de fronteiras de produção e obtenção de medidas de eficiência relativa às fronteiras, é especificada através da Análise Envoltória de Dados (DEA). Esta abordagem envolve um conjunto de dados, não faz acomodação para o ruído, e opera de forma distinta daquela realizada pelos modelos econométricos. Esta abordagem pode ser categorizada de acordo com o tipo de variáveis disponíveis: somente quantidades (calcula-se a eficiência técnica) ou quantidades e preços (calcula-se a eficiência econômica que pode ser decomposta em suas componentes: técnicas e alocativas).

Neste capítulo serão tratados os fundamentos destas técnicas, as condições para o sucesso em sua aplicação, serão citados alguns exemplos clássicos de estudos realizados e serão detalhados os modelos mais conhecidos.

4.2. Curvas de produção e análises de Eficiência Relativa

As curvas de produção são a base da análise de eficiência. As considerações em torno das curvas de produção visam definir uma relação entre recursos e produtos.

As hipóteses que são consideradas para a relação entre insumos e produtos determinam que:

- Há retornos crescentes de escala se acréscimos no consumo de recursos implicam um aumento mais que proporcional na quantidade de produtos obtidos (ou ainda, economias de escala);

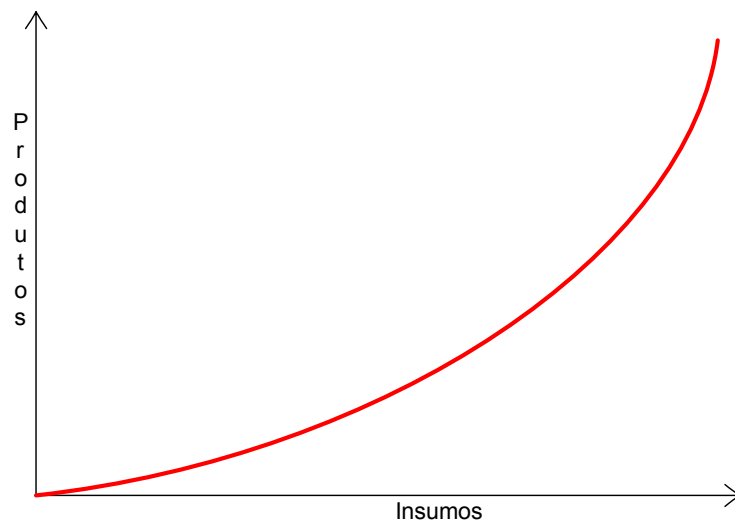


Figura 4.1a: Retornos crescentes de escala.

- Há retornos constantes de escala quando acréscimos no consumo de recursos resultam em aumentos proporcionais na quantidade de produtos obtidos;

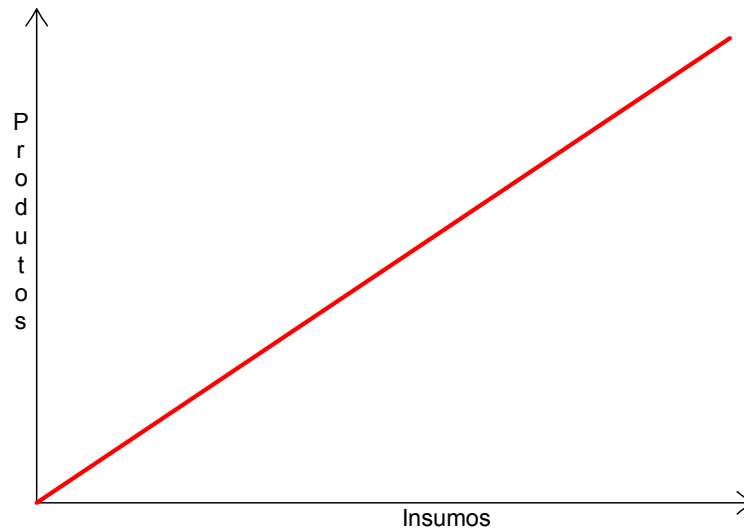


Figura 4.1b: Retornos constantes de escala

- Há retornos decrescentes de escala na situação em que acréscimos no consumo de insumos acarretem aumentos menos que proporcionais na geração de produtos (também chamado de deseconomias de escala).

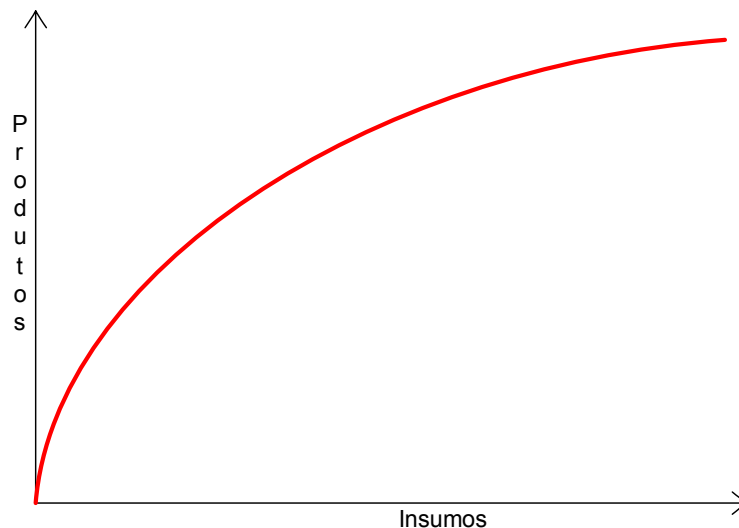


Figura 4.1c – Retornos decrescentes de escala

Considera-se, adicionalmente, a hipótese de livre descarte (*free disposal*) na qual, para determinado nível de consumo de recursos, pode-se produzir a quantidade máxima ou qualquer quantidade inferior. Assim, o conjunto de alternativas de

produção é formado pela área abaixo da curva de máxima produção. Por exemplo, no caso de retornos decrescentes de escala tem-se a situação ilustrada abaixo.

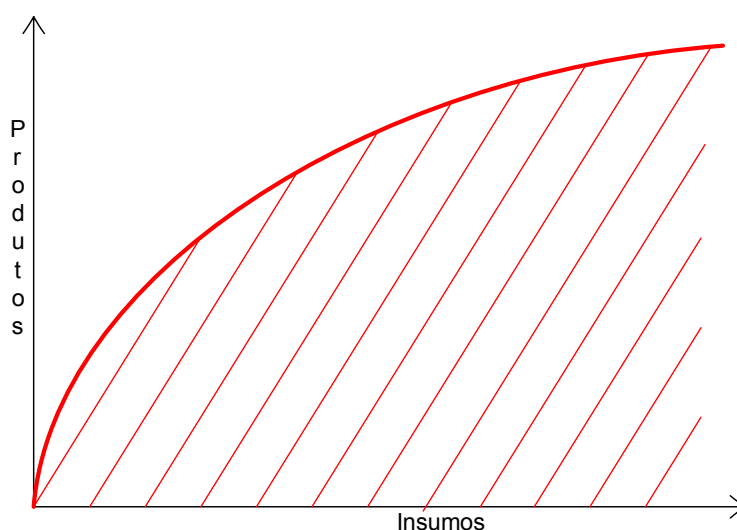


Figura 4.2: Alternativas de produção.

4.3. Técnicas paramétricas para medir eficiência

As técnicas paramétricas para medir eficiência, ou ineficiência, são descritas através de funções de custo ou de produção.

LOVELL (1993) fez um pequeno histórico sobre os primeiros estudos utilizando técnicas paramétricas para medir ineficiência. Segundo o autor, a abordagem das fronteiras de produção, funções de custo e cálculo de medidas de ineficiência, começou com FARRELL (1957), que sugeriu análise dos desvios da isoquanta de fronteira em relação às demais isoquantas.

GREENE (1993) comenta que a estimação empírica de funções de produção é anterior ao artigo de FARRELL, citando trabalho de COBB e DOUGLAS (1928). Até 1950, as funções de produção eram amplamente utilizadas, como forma de estudar a distribuição de renda entre capital e trabalho, em nível macroeconômico, como a contribuição de ARROW, CHENERY, MINHAS e SOLOW (1961) (*apud* LOVELL, 1993). As origens da análise empírica, aplicada às estruturas de produção microeconômicas, podem ser identificadas com os trabalhos de DEAN (1951),

JOHNSTON (1959) e NERLOVE (1963) (*apud* GREENE, 1993). Embora estes estudos focalizassem aspectos de custos, e não de produção, NERLOVE, seguindo SAMUELSON (1938) e SHEPARD (1943) (*apud* GREENE, 1993), enfatizava a relação entre os dois. Mesmo assim, a atenção empírica para funções de produção, a níveis desagregados, é bastante recente.

GREENE (1993) conclui que a literatura empírica sobre produção e custos desenvolveu-se independentemente do discurso sobre fronteiras de produção. Os mínimos quadrados e algumas variações são muito utilizados para traçar uma função pelo meio de uma nuvem de pontos, onde os resíduos de ambos os sinais não foram separados, como em outras áreas de estudo, pois o objetivo era estimar a tecnologia média e não a tecnologia da melhor prática.

A programação linear é então utilizada para resolver o sistema de inequações que permitirá maximizar os resultados, sendo atendidas as restrições com relação aos insumos e ao processo produtivo. É igualmente possível determinar o ponto de mínima utilização de recursos que atenda a determinado resultado desejado. No entanto, utilizam-na sobretudo para avaliar um conjunto de cursos de ação, buscando selecionar o melhor.

Segue capítulo dedicado à técnica não paramétrica denominada *Data Envelopment Analysis*, utilizada no estudo multi-insumos e multi-produtos.

5. DEA – DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Em 1978, CHARNES, COOPER e RHODES generalizaram os estudos de FARREL (1957) tanto no sentido de trabalhar com múltiplos recursos e múltiplos resultados, quanto na obtenção de um indicador que atendesse ao conceito de eficiência de KOOPMANS. Essa foi a origem da técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva conhecida como *Data Envelopment Analysis* (DEA).

Como mencionado no capítulo anterior, e também por NOVAES (2001), quando se trata de análise de dados de eficiência envolvendo mais de um *output* e/ou mais de um *input* sem a necessidade de elaborar funções de produtividade ou custos pode-se fazer uso desta técnica desenvolvida na década de 1970 por CHARNES, COOPER e RHODES (1978), hoje com larga aplicação em análise de produtividade e eficiência de empresas e órgãos públicos, servindo também de apoio para estudos de benchmarking.

Historicamente, o desenvolvimento da DEA inicia-se com a tese de doutorado de Edward RHODES, apresentada na *Carnegie Mellon University* em 1978, sob orientação de W.W. COOPER. O objetivo da pesquisa era avaliar os resultados de um programa de acompanhamento de estudantes carentes, instituído em escolas públicas americanas, com o apoio do governo federal. A idéia central era acompanhar o desempenho de um conjunto de alunos de escolas que participavam do programa, com o de alunos de escolas que não aderiram ao programa. O desempenho dos alunos era medido em termos de produtos definidos, como, por exemplo, aumento de auto-estima em crianças carentes, medida por testes psicológicos, e insumos como tempo gasto pela mãe em exercícios de leitura com sua criança.

Essa tentativa de estimativa de eficiência técnica de escolas, com base em múltiplos insumos e produtos, resultou na formulação do Modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) de Análise Envoltória de Dados e com a publicação do primeiro artigo no *European Journal of Operations Research* em 1978.

A Análise por Envoltória de Dados (DEA) passa a ser tratada então como um método de *benchmarking*. Resumidamente, a DEA pode ser definido como um método para medir o desempenho relativo de unidades organizacionais semelhantes que utilizam vários insumos para gerar múltiplos produtos, sem necessitar de informação *a priori*, tanto na escolha da métrica, ou forma funcional, quanto na determinação dos pesos de cada variável.

A DEA foi originalmente concebido por CHARNES, COOPER e RHODES (1978) para ser empregado em ambientes sem fins lucrativos, mas hoje é largamente aplicado a qualquer setor de atividade (COOPER, SEIFORD e TONE, 2000). O método está baseado nas teorias econômicas de eficiência técnica e fronteira de produção, e é operacionalizado através da programação matemática linear (NOLAN, 1996). a DEA expandiu o clássico trabalho de FARRELL (1957) generalizando a relação produto/insumo para situações nas quais há vários insumos e produtos.

Em DEA, um desempenho eficiente é definido no sentido PARETO-KOOPMANS, em que uma unidade organizacional é completamente eficiente se, e somente se, não é possível aumentar nenhum insumo ou produto sem diminuir algum outro insumo ou produto (COOPER, SEIFORD e TONE, 2000). CHARNES, COOPER e RHODES denominaram as unidades organizacionais de *decision making units* – DMU's (ou unidades tomadoras de decisão). Essas unidades podem ser de qualquer natureza, tal como países, empresas, unidades departamentais ou indivíduos. Assume-se que essas unidades tenham certo grau de liberdade gerencial na tomada de decisão (COOPER, SEIFORD e TONE, 2000) e que desenvolvam atividades semelhantes. O conceito básico da DEA é a identificação de uma fronteira de máximo desempenho comparando todas as unidades de um dado grupo entre si. Genericamente, o problema consiste em maximizar o desempenho da unidade sob análise de tal forma que o desempenho das demais unidades, inclusive aquela sob avaliação, seja no máximo igual a unidade (o valor 1 relaciona-se a 100%). Assim, para o caso de n unidades, o desempenho de uma unidade específica p é dado pelo seguinte problema de programação linear fracional:

$$\text{Maximizar } \varphi_p = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rp}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ip}}$$

Restrito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, p, \dots, n$$

$$u_r \geq 0; r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, m$$

Onde φ_p é o desempenho da unidade sob avaliação. As n unidades utilizam m insumos, indicados por x_{ij} , para gerar s produtos, estes indicados por y_{rj} . Para cada uma das x_{ij} variáveis de insumos e y_{rj} variáveis de produto o método encontrará, respectivamente, um peso particular v_i ou u_r . Esse conjunto de pesos é o que garante a particularidade de cada unidade e diferencia a DEA de outros métodos paramétricos tradicionais como a Análise de Regressão e as somas ou médias ponderadas, que utilizam um conjunto pré-fixado de pesos. O problema deve ser resolvido tantas vezes quantas forem as unidades. a DEA é um método de ponto extremo que constrói uma fronteira de máximo desempenho. Nela, estão posicionadas as melhores unidades, operando com 100% de eficiência. Para cada unidade que se localiza abaixo da fronteira, portanto ineficiente, a DEA fornece um índice de desempenho inferior a 100% e identifica um subconjunto de unidades posicionadas na fronteira que servem de referência.

A figura 5.1, adaptada de COOPER, SEIFORD e TONE (2000), mostra graficamente a filosofia da DEA. Suponha que as unidades representam pesquisadores sendo avaliados pelo número de artigos que publicam e a quantidade de alunos que orientam em certo período de tempo.

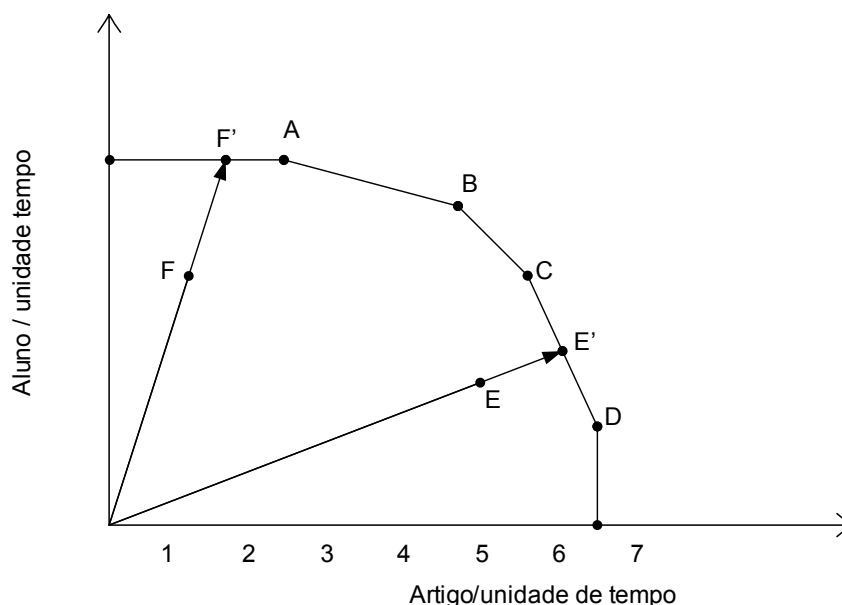


Figura 5.1: Filosofia DEA.

Fonte: COOPER, SEIFORD e TONE (2000)

Na comparação relativa entre eles, os pesquisadores *A*, *B*, *C* e *D* são os mais produtivos e, assim, formam a fronteira. a DEA fornece uma avaliação “justa” da eficiência, pois, como um método de maximização, ele gera para cada unidade o índice de eficiência mais alto possível dada a quantidade de insumos e produtos envolvidos. Por essa ótica, o pesquisador *A* teve boa produtividade na orientação de alunos, mas não se saiu tão bem em termos de artigos publicados, o oposto do que ocorreu com *D*. Os pesquisadores *B* e *C* têm uma produtividade mais equilibrada. Os pesquisadores *E* e *F* têm desempenho inferior a 100%. Por exemplo, a produtividade de *E* pode ser expressa como:

$$\frac{d(O, E)}{d(O, E')}$$

onde $d(O, E)$ e $d(O, E')$ medem a distância da origem até os pontos *E* e *E'*, respectivamente. Alternativamente, a produtividade máxima de *E* (*E'*) pode ser obtida da combinação linear entre os pesquisadores *C* e *D*. Em outras palavras, o pesquisador *E* tem como referência os pesquisadores *C* e *D* e poderia atingir a máxima produtividade tendo um pouco dos elementos que tornaram *C* e *D* fronteiriços. Seguindo essa mesma lógica, *F* só tem a unidade *A* como referência.

5.1. Modelos DEA

A técnica de *Data Envelopment Analysis* dispõe de modelos, que, como já mencionado, têm por objetivo analisar a eficiência relativa de DMU's similares. Estes modelos têm como ponto de partida a especificação de uma Função de Produção de Fronteira a partir de pontos, os quais incorporam as quantidades de produtos realizados e as quantidades de insumos consumidos no processo produtivo, durante certo intervalo de tempo. Todos os modelos DEA requerem os mesmos dados e dividem o conjunto de DMU's em eficientes e ineficientes. Matematicamente, as DMU's eficientes são pontos extremos ou mantidos numa superfície convexa, as quais, quando unidas com suas facetadas associadas, formam uma fronteira eficiente. De outro modo, a DMU é considerada ineficiente e a observação mantém-se dentro e não sobre a fronteira.

Os modelos DEA são classificados de acordo com o tipo de envelopamento (tipos de combinação e suposições sobre o retorno de escala), a medida de eficiência e a orientação (insumo ou produto) [PARIDI, REHM, SHAFFNITL (1998)]. Quanto ao tipo de envelopamento, há dois modelos básicos, conhecidos como CCR (referência aos criadores Charnes, Cooper e Rhodes) e BCC (referência a Banker, Charnes e Cooper). Cada um destes modelos faz suposições no que se refere aos retornos de escala associada com cada tipo de superfície.

CHARNES, COOPER e RHODES (1978) apresentaram o modelo CCR, também conhecido como CRS (*Constant Return to Scale*) que assume que o aumento dos produtos é proporcional ao aumento dos insumos para quaisquer escala de produção. BANKER, CHARNES e COOPER (1984) por sua vez, apresentaram o BCC ou VRS (*Variable Return to Scale*), admitindo que a tecnologia de produção exponha retornos crescentes, retornos decrescentes, bem como retornos constantes.

Quanto à orientação, tais modelos podem ser classificados em orientação para insumo (visa otimizar os insumos), orientação para produto (objetiva a otimização dos produtos) e orientação aditiva (insumos e produtos são otimizados), baseados na direção da projeção da DMU até à fronteira. A escolha do modelo DEA mais apropriado para um estudo de eficiência, depende, normalmente, do tipo de

organização envolvida, dos dados disponíveis e da capacidade do decisor em escolher aquele que melhor reflita a realidade dos fatores (insumos e produtos). Usa-se o modelo CCR (CRS) quando o estudo assume que as DMU's sob análise operam com Retornos Constantes de Escala.

Presume-se que Retornos Constantes de Escala somente é aplicável quando todas as DMU's estão operando numa escala ótima. Entretanto, imperfeições de mercado e restrições financeiras devem induzir uma DMU a não operar na escala ótima. "Como resultado, o uso do CCR (CRS) quando algumas DMU's não operam na escala ótima, resultará em medidas de eficiência técnica as quais são confundidas pelas eficiências de escala" (CASU, MOLYNEUX, 2000).

O modelo BCC (VRS) é por sua vez utilizado quando se assume Retornos Variáveis de Escala (sejam eles crescentes ou decrescentes, bem com retornos constantes).

O modelo DEA original (orientação para insumo) determina a eficiência de uma DMU maximizando a razão entre a soma dos produtos e a soma dos insumos. Tem-se como resultado da aplicação da técnica um conjunto de escores de eficiência menor ou igual a unidade, bem como um conjunto referência de DMU's, para as quais os escores de eficiência são iguais a unidade. O escore de eficiência é determinado mantendo-se os produtos constantes e avaliando até que ponto os insumos precisam ser otimizados (minimizados) para uma DMU ser considerada eficiente. Uma DMU eficiente não possui possibilidade de melhora, enquanto DMU's ineficientes têm escores de eficiência relativa refletindo o potencial de melhora baseado no desempenho de outras DMU's.

O modelo com orientação para produto é similar ao modelo com orientação para insumo, mas neste caso, busca-se minimizar a razão entre a soma dos insumos e a soma dos produtos para determinar o montante que cada produto das DMU's pode ser aumentado enquanto mantêm-se os insumos constantes. Como no modelo com orientação para insumo, uma DMU eficiente não tem potencial de melhora, enquanto DMU's ineficientes têm escores de eficiência refletindo o potencial de melhora baseado no desempenho de outras DMU's.

Nota-se que no modelo CCR (CRS) os escores de eficiência são os mesmos em ambas as orientações. Já no modelo BCC (VRS), os escores de eficiência dependem da orientação.

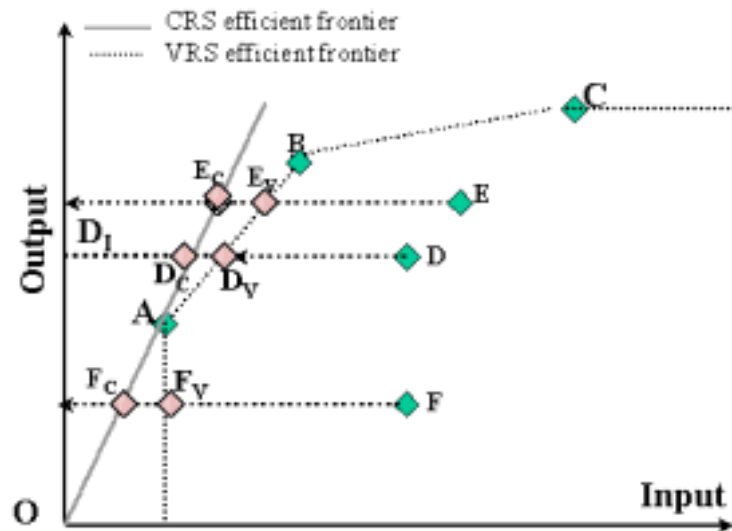


Figura 5.2: Comparação entre modelos.

Fonte: Tutorial em DEA

A figura acima ilustra os argumentos vistos anteriormente, apesar do uso de um único insumo e um único produto. Usando a orientação insumo o envelope do modelo BCC (VRS) é formado pelas DMU's A, B e C. No caso do CCR (CRS) é formado pelo pela linha reta originada na origem e passando pelo ponto A. Embora as DMU's A, B e C sejam eficientes com o modelo BCC (VRS), somente a DMU A mostra-se eficiente com o modelo CCR (CRS). Mesmo as DMU's que se mostraram ineficientes com o modelo BCC (VRS) (E, D e F) experimentam uma queda em seus índices de eficiência. Independente do modelo selecionado, DEA forma um compreensível panorama do desempenho de uma DMU quando esta é comparada com outras DMU's.

Pode-se acrescentar ainda que, o modelo CCR (1978), permite então uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas, já o modelo BCC (1984), distingue entre ineficiências técnicas e de escala, estimando a eficiência técnica pura, a uma dada

escala de operações, e identificando se estão presentes ganhos de escala crescentes, decrescentes e constantes, para futura exploração.

Segundo PAIVA (2000), as diferenças fundamentais entre os modelos estão relacionadas à superfície de envelopamento (tipos de combinação e suposições sobre o retorno de escala) e tipo de projeção do plano ineficiente à fronteira. Ainda comenta que, os modelos CCR e BCC trabalham com diferentes tipos de tecnologias e, conseqüentemente, geram fronteiras de eficiência diferentes e medidas de eficiência diferentes. No que diz respeito à orientação, cada um desses dois modelos pode ser escrito sob duas formas de projetar os planos ineficientes na fronteira, uma voltada para os produtos e outra voltada para os insumos. Na primeira orientação, as projeções dos planos observados sobre a fronteira buscam o máximo aumento equiproporcional de produção dado o consumo observado e, na segunda, orientação, a maior redução equiproporcional do consumo para a produção observada.

5.1.1. O Modelo CCR

A formulação original do modelo CCR segue abaixo:

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^m u_r y_{rk}$$

Sujeito a:

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

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

y_{rj} = quantidade de produtos r produzido pela j -ésima DMU;

x_{ij} = quantidade de insumos i consumido pela j -ésima DMU;

u_r = peso associado ao r -ésimo produto;

v_i = peso associado ao i -ésimo insumo;

Tal modelo busca maximizar a produção para um dado nível de insumos, expresso pela maximização da somatória das quantidades produzidas y multiplicadas pelos pesos u .

A primeira restrição pode ser definida como o resultado da empresa, pois é a subtração entre o somatório das quantidades produzidas multiplicadas pelos pesos do produto e o somatório da multiplicação dos insumos consumidos pelos pesos. Está limitado a zero. Assim, as empresas eficientes obterão o resultado zero para a primeira restrição.

Na segunda restrição, o somatório do produto das quantidades consumidas de recursos pelos pesos específicos para a empresa k é igual a unidade. Portanto, o máximo resultado possível de se obter, se a empresa for eficiente, é igual a unidade. Se não for, terá sempre um indicador menor do que a unidade.

O modelo CCR pode ter orientação para o produto com a seguinte formulação:

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik},$$

Sujeito a:

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

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

y_{rj} = quantidade de produtos r produzido pela j -ésima DMU;

x_{ij} = quantidade de insumos i consumido pela j -ésima DMU;

u_r = peso associado ao r -ésimo produto;

v_i = peso associado ao i -ésimo insumo;

O objetivo é minimizar o consumo de insumos de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado. Os modelos são equivalentes e pressupõem retornos constantes de escala.

5.1.2. O Modelo BCC

Outro modelo DEA é o Modelo BCC, primeiramente publicado na *Management Science* em 1984. Tal modelo pressupõe que as unidades avaliadas apresentem retornos variáveis de escala. Segundo BELLONI (2000) ao possibilitar que a tecnologia exiba propriedades de retornos a escalas diferentes ao longo de sua fronteira, esse modelo admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção.

Sua formulação matemática é:

$$\text{Maximizar } \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} - u_k,$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

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

$$u_r, v_i \geq 0$$

y_{rj} = quantidade de produtos r produzido pela j -ésima DMU;

x_{ij} = quantidade de insumos i consumido pela j -ésima DMU;

u_r = peso associado ao r -ésimo produto;

v_i = peso associado ao i -ésimo insumo;

Nota-se a introdução de uma variável u_k representando os retornos variáveis de escala. Essa variável não necessita atender à restrição de não negatividade. Pode, portanto assumir valores negativos.

A formulação matemática do Modelo BCC com orientação ao insumo, é:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + v_k,$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

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

$$u_r, v_i \geq 0$$

y_{rj} = quantidade de produtos r produzido pela j -ésima DMU;

x_{ij} = quantidade de insumos i consumido pela j -ésima DMU;

u_r = peso associado ao r -ésimo produto;

v_i = peso associado ao i -ésimo insumo;

Onde novamente o termo v_k representa a possibilidade de retornos de escala variáveis, podendo assumir valores negativos ou positivos.

Este modelo admite, por possibilitar retornos de escala variáveis, que a produtividade máxima varie em função da escala de produção. O modelo permite, portanto, a utilização de unidades de portes distintos (BELLONI, 2000).

Os modelos CCR e BCC apresentam regiões de viabilidade distintas. A região viável do modelo BCC é restringida a combinações convexas dos planos de produção observados, o que é caracterizado pelos retornos variáveis de escala. Como consequência, considerando orientação ao produto, o indicador de eficiência do modelo BCC é menor ou igual ao indicador de eficiência do modelo CCR (BELLONI, 2000).

Os indicadores calculados pelos modelos podem ser analisados considerando as seguintes características:

- O indicador de eficiência do modelo BCC corresponde a uma medida de eficiência técnica, uma vez que está depurado dos efeitos de escala de produção.

- O indicador de eficiência do modelo CCR indica uma medida de produtividade global, denominada de indicador de eficiência produtiva.

Relacionando então os indicadores calculados considerando-se a orientação ao produto, obtém-se o indicador de eficiência de escala:

$$EE_s(x_k, y_k) = \frac{EP(x_k, y_k)}{ET(x_k, y_k)},$$

Onde:

$$EE_s(x_k, y_k) = \text{Eficiência de Escala,}$$

$$EP(x_k, y_k) = \text{Eficiência Produtiva,}$$

$$ET(x_k, y_k) = \text{Eficiência Técnica,}$$

As análises possíveis são então resumidas como:

- Se o indicador de eficiência produtiva for igual à unidade, a unidade opera com eficiência produtiva e deve ter os demais indicadores iguais a unidade;
- Se o indicador de eficiência produtiva for inferior à unidade, a unidade analisada apresenta ineficiência produtiva, que pode ser decorrente de ineficiência técnica ou de escala;
- Se o indicador de eficiência técnica for igual à unidade, a ineficiência produtiva é decorrente de a unidade operar em uma escala inapropriada;
- Se o indicador de eficiência técnica for maior que unidade, a unidade opera com ineficiência técnica. Calcula-se, então, o indicador de eficiência de escala para constatar se a unidade opera com eficiência de escala;
- Se o indicador de eficiência de escala for igual à unidade, toda a ineficiência é decorrente de fatores técnicos;

- Se o indicador de eficiência de escala for maior que unidade, a unidade analisada apresenta fatores de ineficiência técnicas de escala.

Abaixo, apresenta-se um resumo referente aos modelos apresentados e suas aplicações, apresentando uma indicação para sua utilização.

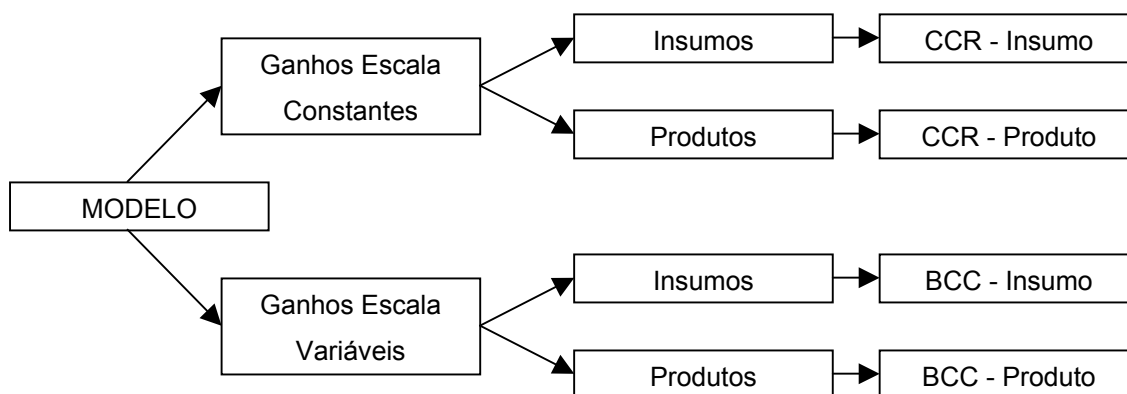


Figura 5.3 – Classificação entre ganhos de escala e orientação.

Adaptado de CHARNES, COOPER, LEWIN e SEIFORD, 1997.

5.2. Etapas e Condições de aplicabilidade

5.2.1. Etapas da DEA

Ao se aplicar a metodologia DEA, devem-se observar três etapas fundamentais para tornar a pesquisa o mais fidedigna possível e que na seqüência serão apresentadas:

- Seleção das DMU's;
- Seleção dos fatores (insumos e produtos);
- Seleção do modelo DEA.

5.2.2. Seleção das DMU's

Dado que DEA é apropriada para medir a eficiência relativa, alguns pontos importantes devem ser observados na seleção das DMU's para análise:

1) os planos de observação devem pertencer a uma mesma tecnologia; A existência de diferenças de eficiência técnica entre DMU's pode ser creditado ao que PAIVA (1975) denomina de "dualismo tecnológico". Em estudo realizado para o setor agropecuário brasileiro, ele observou que "alguns agricultores empregam somente técnicas modernas, utilizando basicamente tratores, colhedoras, adubos, defensivos, etc.; outros empregam técnicas modernas ao lado das tradicionais; e outros ainda, em geral os mais numerosos, empregam somente técnicas primitivas". Desta maneira, deveriam ser analisados em separado.

2) AS DMU's sob análise devem ser homogêneas. Diz-se que um conjunto é homogêneo quando, as unidades, objeto da análise, desempenham as mesmas atividades e têm objetivos comuns e os fatores utilizados (insumos e produtos) são iguais, devendo, entretanto, variar de intensidade e magnitude.

Embora a Eficiência Técnica seja um conceito de aplicação generalizada, é problemático, na prática, isolar unidades que produzem os mesmos produtos utilizando os mesmos insumos. Um resultado evidenciando diferentes eficiências técnicas pode apenas estar refletindo diferentes objetivos por parte do administrador. Na fase de seleção das DMU's, devemos ter em mente algumas considerações, pois os resultados de DEA são sensíveis às especificações dos fatores e ao tamanho da amostra.

Segundo GOLANY, ROLL (1989) "existe uma tendência de se aumentar o número de DMU's". Dessa maneira o número de DMU's, reduz-se à média dos escores de eficiência porque possibilita a análise envoltória de dados maior oportunidade de encontrar um similar. Por outro lado, um pequeno número de DMU's em relação aos fatores incluídos pode artificialmente inflar os escores de eficiência. Aumentando o número de fatores sem o devido aumento no número de DMU's, a média dos escores de eficiência tende a aumentar, isto porque, o número de dimensões nas quais uma DMU em particular pode ser relativamente única (e assim

não ter a quem ser comparada) aumenta. Quando o número de DMU's não é substancialmente maior que o número de fatores, um grande número de DMU's torna-se eficiente.

Um outro problema, de acordo com GOLANY, ROLL (1989), é que “um grande conjunto de unidades permite a nítida identificação da relação típica entre insumos e produtos no conjunto”. Além disso, com o aumento do número de DMU's, é possível incorporar mais fatores (insumos e produtos) dentro da análise, fazendo com que a homogeneidade do conjunto seja atenuada, aumentando assim a possibilidade de fatores exógenos afetarem os resultados. Não há regras definidas para o número de DMU's em um estudo, mas alguns autores sugerem que:

Para THOMAS, GREDDE, GRANT (apud KAO, YANG, 1992), o número total de DMU's, deveria ser no mínimo 2 (duas) vezes o número de insumos e produtos especificados. NUNAMAKER (1985) diz: “o número de organizações no exemplo deveria ser no mínimo 3 (três) vezes maior que a soma de produtos e insumos incluídos na especificação”. Dois tipos de fronteira afetam a determinação das DMU's. A primeira diz respeito às fronteiras organizacionais, físicas ou regionais que definem as unidades individuais. A outra diz respeito aos períodos de tempo que as DMU's usam para medir suas atividades. Em relação ao período de tempo, “preferencialmente o período de tempo a ser considerado deveria ser o período “natural”, pois períodos longos podem obscurecer importantes mudanças, enquanto curtos períodos podem fornecer informações incompletas das atividades” (GOLANY, ROLL, 1989). Uma alternativa para contornar esta barreira seria definir o período de tempo sempre igual ou superior a ciclo de produção, evitando-se que insumos gastos em um período resultem em produtos somente nos períodos seguintes.

Cita-se, baseado no artigo de TULKENS (1993) que tratava do progresso da eficiência no decorrer do tempo no trânsito urbano, o trabalho desenvolvido por PEREIRA *et al.* (1998), onde se buscava analisar a eficiência de uma empresa de confecções através de análise envoltória de dados, se utilizando de um total de 24 DMU's, médias de 2 meses consecutivos num período de 25 meses analisados, dispondo de 2 tipos de insumos e 6 tipos de produtos devidamente agrupados.

5.2.3. Seleção dos fatores

Os fatores são classificados como insumos e produtos. Os insumos são todos os recursos utilizados por uma DMU para produzir seus produtos. Os insumos não são necessariamente produtos acabados. Eles podem simplesmente ser uma qualidade do ambiente na qual a DMU opera. Podem ser controláveis ou incontroláveis. Os controláveis estão sujeitos às decisões do administrador ou tomador de decisão na literatura DEA, podendo ser aumentados ou diminuídos. Já os incontroláveis são aqueles os quais o tomador de decisão não exerce nenhum tipo de controle, como por exemplo, fatores climáticos. Os produtos podem ser definidos como o montante de bens ou serviços produzidos por uma DMU. Ao iniciarmos a seleção de fatores, a lista inicial deve ser a maior possível. Todas as mudanças, que de uma forma ou de outra podem afetar as DMU's sob análise devem ser consideradas. Esta lista inicial não requer qualquer tratamento numérico. Subestimar um insumo ou superestimar um produto ou vice-versa, acarreta diferenças entre as DMU's. Uma alternativa para fugir à multiplicidade de insumos é reuni-los em categorias básicas. Cada categoria resulta de uma homogeneização dos insumos nela abrangidos. Podem-se representar diferentes tipos de máquinas em apenas uma variável, capital, por exemplo. Tal procedimento reduziria o número de insumos, mas ocorreriam perdas qualitativas quanto à especificação dos insumos. Por outro lado, a inclusão de um grande número de fatores, permite que cada DMU torne-se única, sem similar. A falta de similaridade conduz a um grande número de DMU's com altos graus de eficiência. Não obstante, alguns insumos podem ter "desempenhos" variáveis na produção, como é o caso da mão-de-obra que sofre o efeito de fatores tais como qualificação, experiência. Dadas as limitações expostas, devemos reduzir a lista inicial de fatores e incluir somente aqueles efetivamente relevantes.

Esta redução é feita em três estágios, segundo GOLLANY, ROLL (1989).

- análise criterial;
- análise quantitativa não DEA;
- análises baseadas na DEA.

5.2.3.1. Análise Criterial

Primeiramente é necessário, por parte dos tomadores de decisão, um exame na área onde atuam as DMU's. Dado que a lista inicial de fatores reunida normalmente é grande, alguns fatores possivelmente estarão repetindo virtualmente informações semelhantes, outros podem não estar sendo considerados relevantes, enquanto outros podem parecer discrepantes ou confusos. Neste estágio, um problema que aparece com freqüência é fazer a distinção adequada entre os fatores que determinam a eficiência e os fatores que explicam as diferenças de eficiência.

“Algumas vezes a maior contribuição do estudo é munir os administradores com a disciplina de ter que especificar seus insumos e produtos e como eles podem melhor ser medidos” (SCRCSSP, 1997). Respondendo a algumas perguntas apresentadas abaixo, supera-se em parte, o desafio de selecionar corretamente estes fatores.

- 1) Está o fator selecionado contribuindo para um ou mais objetivos do conjunto estabelecido para a análise?
- 2) O fator expressa informações pertinentes não incluídas em outros fatores?
- 3) Contém o fator elementos os quais interferem na noção de eficiência técnica?
- 4) São prontamente disponíveis e confiáveis os dados?

5.2.3.2. Análise Quantitativa não DEA

Atribuir valores numéricos aos fatores é o primeiro passo. A princípio, a DEA pode manusear casos com valores zero para alguns fatores, desde que haja pelo menos um insumo e um produto com valor diferente de zero para cada DMU. Haja vista que os algoritmos computacionais podem ser sensíveis ao valor zero, há necessidade de se tratar cuidadosamente estes casos. Um outro aspecto a ser

considerado é a qualidade dos fatores. A qualidade do fator deve assumir valores numéricos para participar da avaliação.

O segundo passo é descrever as relações de produção que governam as DMU's a serem analisadas e classificar os fatores em insumos e produtos. Recursos utilizados ou condições que afetam as operações das DMU's são tipicamente insumos, enquanto benefícios gerados que podem ser medidos, constituem os produtos. Contudo, alguns fatores podem ser considerados de ambas as maneiras, dependendo do ponto de vista da análise. O procedimento, neste caso, é realizar uma série de análises de regressão de tais fatores, um de cada vez. Fraca relação para insumo e forte relação para produto indica na direção de classificar este fator como insumo. O contrário aponta este fator na direção de produto. Fraca relação para todos os fatores, indica a necessidade de um reexame do fator e possível exclusão. Forte relação para todos os fatores indica que a informação contida em tal fator já está representada por outros fatores, e sua exclusão é recomendada.

5.2.3.3. Análises Baseadas em DEA

O último passo no refinamento da lista de fatores consiste em realizar testes com os modelos DEA. Os fatores que permanecerem na lista são então incluídos no modelo e os resultados são analisados com mais rigor. Os fatores que mantêm uma consistente associação com pequenos multiplicadores (pequeno impacto nos escores de eficiência) devem ser eliminados.

5.3. Possibilidades de estudos realizados

Segundo GOLANY e ROLL (1989) e HUSAIN *et al.* (2000), a técnica DEA pode ser utilizada para:

- a) Identificação das fontes e quantias de ineficiência relativa para cada uma das unidades comparadas, sobre alguma de suas dimensões (insumos ou produtos);
- b) Ranking das unidades por seus resultados de eficiência;
- c) Comparação das unidades ineficientes, entre si e com aquelas eficientes;
- d) Avaliação de formas de administração ou programas de controle que gerenciem as unidades comparadas;
- e) Criação de uma base quantitativa para re-alocação de recursos, entre as unidades avaliadas: o propósito geral é transferir recursos (limitados) para unidades onde os mesmos serão utilizados de forma mais eficaz na geração de produtos desejados;
- f) Identificação de unidades eficientes (ou relações insumo-produto eficientes) para propósitos não diretamente relacionados à comparação entre unidades: por exemplo, utilizar DEA para elaborar testes de mercados que permitam demonstração de novos produtos;
- g) Análise e investigação de padrões predominantes de relações insumo-produto frente à *performance* real;
- h) Comparação com resultados de estudos prévios;
- i) Verificar mudanças no grau de eficiência, através do tempo.
- j) Identificação de práticas eficientes

5.4. Vantagens da DEA

Como se pode observar diante das explicações sobre a metodologia DEA, apresentadas anteriormente, existem várias vantagens em sua aplicação na avaliação do desempenho de unidades tomadoras de decisão. Dentre as vantagens ou atrativos da metodologia DEA, CHARNES *et al.* (1994, 1996) relacionam as seguintes:

- a) Focaliza as observações individuais, antes que em médias populacionais;
- b) Produz uma medida agregada para cada DMU em termos da utilização dos fatores;
- c) Relaciona insumo (variável independente) para produzir os produtos desejados (variável dependente);
- d) Não requer suposição básica sobre os insumos e os produtos;
- e) Pode simultaneamente utilizar múltiplos insumos e múltiplos produtos independentemente de unidades de medição;
- f) Pode-se ajustar para variáveis exógenas;
- g) Pode incorporar várias categorias (variável “*dummy*”¹);
- h) É livre de valor e não requer conhecimento a priori dos preços (pesos) para os insumos e produtos;
- i) Não impõe restrições a respeito da forma funcional da relação de produção;
- j) Pode acomodar julgamento quando necessário;
- k) Produz estimativas específicas para as mudanças desejadas em insumos e/ou produtos relacionando com a fronteira eficiente, as DMU's que estão abaixo da fronteira;
- l) É Pareto ótimo;

¹ Variável *dummy* é uma variável numérica binária que assume os valores 0 ou 1 para indicar a presença ou ausência de uma característica, sendo comum seu uso para representar subgrupos de uma população

- m) Focaliza na fronteira de melhor prática revelada antes que em propriedades de tendência central das fronteiras.
- n) Gera um único escore de desempenho, determinado em relação às outras unidades do conjunto;
- o) Torna possível diferenciar entre unidades eficientes e ineficientes;
- p) Define os recursos e o nível de ineficiência para cada unidade;
- q) Pode capturar deficiências específicas, que não podem ser detectadas por outras técnicas.
- r) Tem foco na fronteira de melhor desempenho em vez de foco nas tendências centrais envolvendo a população de DMU's.

A habilidade de gerar um único indicador de desempenho a partir da razão ponderada entre produtos e insumos é para JOHNES (1996) o grande atrativo do método.

5.5. Limitações e problemas na aplicação

Apesar de seus atrativos, o método apresenta algumas limitações, as quais são apontadas por DYSON, THANASSOULIS e BOUSSOFIANE (1991) e também por CRAYCRAFT (1999):

- a) Por ser uma técnica de ponto extremo, a análise é sensível a ruídos, tais como erros de medição ou valores extremos (*outliers*);
- b) À medida que cresce o número de variáveis, aumenta também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo;
- c) Sendo a DEA uma técnica não paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas;
- d) Como a DEA resolve um programa linear para cada unidade sob análise, problemas extensos podem levar a um tempo computacional elevado;

- e) A DEA estima bem o desempenho “relativo”, mas converge muito vagarosamente para o desempenho “absoluto” porque está baseado em dados observados e não no ótimo ou no desejável.

Para a primeira limitação, uma análise exploratória dos dados é recomendável, como de resto em qualquer outra técnica que lide com dados quantitativos. Tal atitude pode identificar potenciais pontos extremos (*outliers*). No caso da segunda limitação, o aumento no número de variáveis pode levar ao aparecimento na fronteira de unidades “especializadas”, isto é, aquelas que se tornam eficientes ponderando excessivamente um produto ou insumo para o qual as demais unidades destinam pouca importância. Uma regra prática é observar para que o número de variáveis não exceda a um terço do número de unidades (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984). A terceira limitação vem estimulando um campo crescente de pesquisa em DEA. COOPER, SIEFORD e TONE (2000) relatam alguns trabalhos importantes que tratam da variabilidade dos dados, da utilização da DEA como estimador da concavidade e monotonicidade de fronteiras estocásticas, da comparação entre a DEA e COBB-DOUGLAS ², juntamente com variáveis *dummy*, para confirmar a consistência dos escores eficientes e ineficientes. A comparação entre a DEA e outros métodos paramétricos serve, em realidade, como um *crosscheck*, dando consistência aos resultados obtidos via DEA ou através de outras abordagens. Contudo, os autores reconhecem que ainda há muito a progredir, pois os casos citados utilizam vários insumos e um produto. O desafio, segundo os mesmos autores, está em analisar situações em que ocorram vários insumos e produtos ou em desenvolver formas de identificar e estimar ineficiências específicas em insumos e produtos. Em outro campo de pesquisa, vários trabalhos lidam com amostras e, para confirmar a robustez dos resultados, utilizam estatística não paramétrica como *rank statistics* (BROCKET e GOLANY, 1996; SUEYOSHI, 1999; SUEYOSHI e AOKI, 2001).

² COBB-DOUGLAS (1928) desenvolveram a função de produção base de muitas teorias sobre o assunto.

Tratava-se do produto ser uma função direta de quantidade de trabalho, capital e matéria-prima.

O problema ocasionado pela quarta limitação tem sido minimizado com *softwares* específicos para DEA e com o aumento da capacidade de processamento dos computadores. Por fim, com respeito ao quinto item, é oportuno ressaltar que o método não se presta à elaboração de *rankings* absolutos, posto que o indicador por ele fornecido é relativo. Do ponto de vista do usuário, especialmente do leigo, a crítica que se faz é que a DEA não é de fácil compreensão, especialmente no emprego do esquema de pesos e de sua formulação matemática (SHIM, 1999). Entrevistando altos executivos de três indústrias manufatureiras, AL-SHAMMARI (1999) obteve como resposta que a DEA não pode substituir outras medidas parciais de lucratividade (*ratio analysis*), nem pode ser visto como um substituto para outras medidas subjetivas de avaliação, como a qualidade dos produtos, a satisfação dos clientes etc. Entretanto, os entrevistados concordaram que a DEA fornece novas percepções sobre o desempenho organizacional, indisponíveis em outros métodos de avaliação. Para as unidades ineficientes, a DEA é visto como uma ferramenta auxiliar no planejamento de realocação de recursos para gerar melhores produtos. METTERS, FREI e VARGAS (1999) reforçam que a DEA é o início da análise, não o fim.

Complementarmente, THANASSOULIS (1991) aponta ainda:

- a) Existe dificuldade em agregar diferentes aspectos de eficiência, especialmente em casos onde as DMU's desenvolvem atividades múltiplas;
- b) Apresenta insensibilidade a componentes intangíveis e categóricas, como análise da qualidade de serviços bancários, por exemplo.

A conclusão é que, quando adequadamente utilizado, a DEA traz contribuições importantes ao campo das medidas quantitativas de desempenho. A prova está na crescente aplicação do método a virtualmente todos os setores, o que faz crer que suas vantagens suplantam as críticas e/ou limitações.

5.6. Comparações da DEA com outras técnicas.

DEA não é a única técnica de *benchmarking*. Há dois outros métodos bastante utilizados: análise de regressão e análise de fronteira estocástica. Esses dois métodos são estocásticos, ao passo que a DEA é determinístico. A análise de regressão é um método de ponto médio. A fronteira estocástica e a DEA são métodos de ponto extremo. A análise de regressão é a mais conhecida entre as três técnicas, sendo largamente difundida e utilizada, principalmente em econometria. Nessa técnica, cada unidade é comparada com uma média, não ficando evidente de imediato o que essa média representa (NORMAN e STOKER, 1991). A análise de regressão é muito útil para inferências, mas exige que se estabeleça a função que será ajustada aos dados, sendo, portanto, paramétrica. A fronteira estocástica é o método que mais se aproxima da DEA, pois também tem a característica de construir uma fronteira de máximo desempenho. O método está baseado em suposições estatísticas que permitem estimar a fronteira dos dados observados. Ele assume uma representação paramétrica da tecnologia junto com um termo de erro composto de duas partes. Uma parte é o ruído estatístico, que geralmente segue uma distribuição normal. A outra parte representa a ineficiência, estimada através de uma distribuição específica univariada, tal como uma exponencial, gama ou normal truncada (BANES, 1990, *apud* LIEBENSTEIN e MAITAL, 1992).

Contudo, também é um método paramétrico, de formulação complexa e raramente compreendida, devido à falta de conhecimento da correta forma funcional. Portanto, esse método pode estar sujeito à escolha de uma função inapropriada (CRAYCRAFT, 1999). Tanto a análise de regressão como a fronteira estocástica tem a vantagem de permitir a formulação de hipóteses. Porém, foram preteridos pela DEA por serem paramétricos, necessitando da intervenção de especialistas. A Figura 5.4 mostra, para o caso de um insumo e um produto, a comparação entre a análise de regressão (linha reta), um hipotético desempenho ótimo e absoluto (linha pontilhada) e o desempenho relativo da DEA (retas unindo os pontos extremos). A tabela 5.1 sumariza as diferenças entre os três métodos.

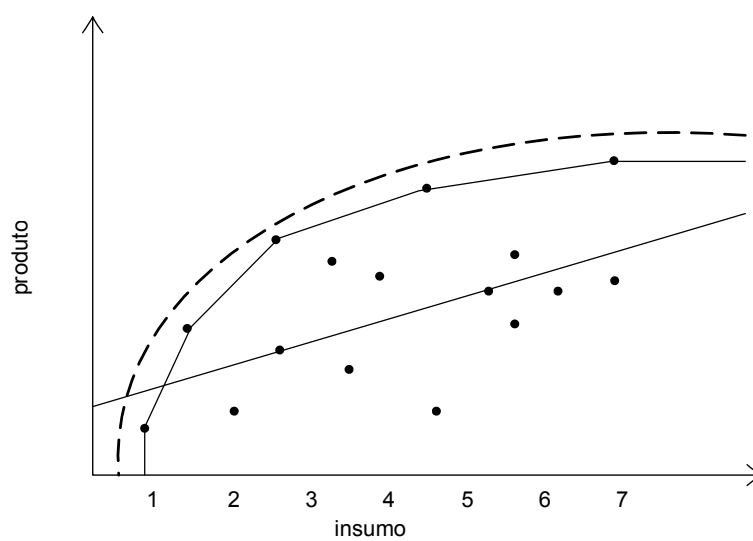


Figura 5.4: Comparação entre DEA, a análise de regressão e o desempenho absoluto.

Fonte : CHARNES *et al.*, (1996)

Problema	Análise por DEA	Análise de regressão	Fronteira estocástica
Vários insumos e produtos	Simple	Complexo e raramente compreendido	Complexo e raramente compreendido
Especificação da forma funcional	Não é necessário	É necessário e pode ser incorreta	É necessário e pode ser incorreta
Outliers ou observações não usuais	Avaliação incorreta da eficiência	Não é tão sensível	Não é tão sensível
Tamanho da amostra	Pequenas amostras podem ser adequadas	Amostras de tamanho moderado. Estatísticas tornam-se irrealistas se a amostra for muito pequena e fatores importantes podem ser omitidos da amostra	São necessárias grandes amostras
Fatores exploratórios altamente colineares	Melhor discriminação	Possível perda de interpretação de correlação	Possível perda de interpretação de correlação
Os fatores exploratórios tem uma baixa correlação	Todos os escores de eficiência tendem a ser próximo da unidade	Não há problema	Não há problema
Ruído, tais como erro de medição	Altamente sensível	Afetado, mas não tão severamente como DEA	Modelado especificamente embora seja necessária uma forte suposição sobre a distribuição
Verificação, incluindo seleção de variáveis	É possível efetuar análise de sensibilidade, mas é complexa, sendo mais subjetiva	Testes estatísticos diretos	Testes estatísticos diretos

Tabela 5.1: Comparação entre técnicas.

Fonte: *Civil Aviation Authority*, 2000.

Apresentado o conceito de DEA, suas vantagens e limitações, segue capítulo dedicado a aplicação da proposição inicial de avaliação de desempenho no decorrer do tempo de uma indústria com indicação dos seus pontos de *benchmarking*.

Para execução de tal análise, utilizou-se o software denominado EMS (*Efficiency Measurement System*), versão 1.3.0, utilizado neste estudo, que foi desenvolvido em 1998, por Hölger SCHEEL, professor titular da Universidade de Dortmund, Alemanha.

O software é livre para uso acadêmico e pode ser instalado diretamente do site da universidade pelo *link* <http://www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems/> .

Para descrição do funcionamento do software e interpretação dos resultados, vide anexo I.

6. Dados, análise e resultados.

6.1. Apresentação do objeto de aplicação do estudo

O objeto de aplicação do estudo de Análise Envoltória de Dados escolhido trata-se de uma empresa *world class*, fabricante de módulos, ou sistemas automotivos. Presente em 27 países, o grupo possui 160 plantas produtivas localizadas nos cinco continentes. Atualmente com mais de 60.000 colaboradores apresentou um faturamento total no ano de 2003 de €10,1 bilhões, e de €2.467,4 milhões no terceiro trimestre de 2004, sendo apenas 1,3% deste resultado resultante de operações no Mercosul.

No ranking mundial de fornecedores dos módulos específicos por ela fabricados, apresenta posicionamento de destaque, apresentado na tabela abaixo:

	Posição Mundial	Posição na Europa
Bancos	3	1
cockpit	2	1
Portas	2	1
Módulos acústicos	4	2
Escapamentos	2	1
Front - end	2	1

Tabela 6.1: Ranking mundial de fornecedores de módulos automotivos.

Por se tratar de uma empresa alvo de *benchmarking* mundial, líder absoluta na Europa em fornecimento de módulos automotivos e com constante evolução de processos, o escopo da aplicação da Técnica DEA (*Data Envelopment Analysis*) se apresentará de forma diferenciada dos seus usos mais comuns, como a comparação entre empresas concorrentes, com o objetivo de buscar o *benchmarking*, ou ainda, a comparação de empresas de um mesmo grupo corporativo, já que todas as empresas do grupo apresentam as mesmas diretrizes e objetivos traçados, devidamente relacionados com o grau de desenvolvimento que se encontram.

Assim sendo, a aplicação da DEA se dará no acompanhamento da evolução do desempenho de uma das plantas instalada no Brasil no decorrer do tempo, baseado nos trabalhos de TULKENS (1993) e PEREIRA (1998), especificamente, dos últimos anos, buscando com isso indicar os períodos de maior eficiência técnica, tomando como base, dados de mão de obra, máquinas disponíveis e produção realizada.

No Brasil, as empresas do grupo tiveram sua fundação entre os anos de 1997 e 1998, como empresas separadas por grupos de sistemas automotivos produzidos. Estas tiveram a fusão decretada em meados de 2003 tornando todas as empresas parte de um mesmo grupo atuante no Brasil sob um mesmo comando. O grupo conta agora com oito plantas produtivas, atuantes nos segmentos de bancos para automóveis, sistemas de interior (*cockpit* e painéis de porta) e sistemas de exaustão (escapamentos), sendo a matriz localizada no Paraná, fabricante de estruturas metálicas de bancos para automóveis, mecanismos e componentes para bancos automotivos e ainda capas para alguns modelos destes bancos.

Destas plantas, o alvo do estudo desenvolvido se trata de uma parcela desta planta matriz, denominada agora de UAP (Unidade Autônoma de Produção), fabricante de capas para bancos de automóveis. Conta atualmente com 170 funcionários, trabalhando em dois turnos de 40 horas semanais e com faturamento médio mensal de R\$ 2,4 milhões.

A UAP analisada, desde sua fundação em 1998, vem passando por intensas e constantes mudanças buscando melhores resultados mês a mês, visando à redução dos insumos necessários para a fabricação de produtos. Estas mudanças, definidas localmente pela gerência ou pela diretoria e acionistas, causam efeitos diretos no resultado apresentado.

Como agravante a alta rotatividade de gestores, gerentes e diretores nas plantas fez com que as filosofias de desenvolvimento em prática na planta no decorrer dos tempos não apresente “linearidade” de estratégias e de ações. Após a fusão das empresas, esta dita linearidade ou direcionamento das ações tem se tornado muito mais clara.

Desta forma, definiu-se como DMU's os períodos mensais de janeiro do ano 2000 até junho de 2004, desconsiderados os meses de dezembro de cada ano, totalizando 50 unidades. A justificativa para esta desconsideração se encontra mais a frente neste capítulo. Nesse período, a planta que no início contava com apenas um cliente de grande porte incorporou uma nova conta, de um segundo cliente atualmente responsável por 55% do faturamento da planta.

A partir de julho de 2004, a tecnologia de produção utilizada foi mudada, quando se evoluiu do processo de produção em célula para o processo de produção em linha. Como visto em capítulo anterior, é premissa da utilização de DEA que as DMU's tenham mesma forma produtiva, assim não se pode utilizar os dados posteriores a este período para uma análise por este método.

O alto número de variáveis responsáveis pelas restrições do modelo escolhido será descrito a seguir, assim como seu agrupamento para execução da análise de desempenho.

6.2. Processos utilizados na planta e seu efeito sobre os insumos.

Simplificadamente, o diagrama abaixo simboliza o processo produtivo da planta e seus principais setores:

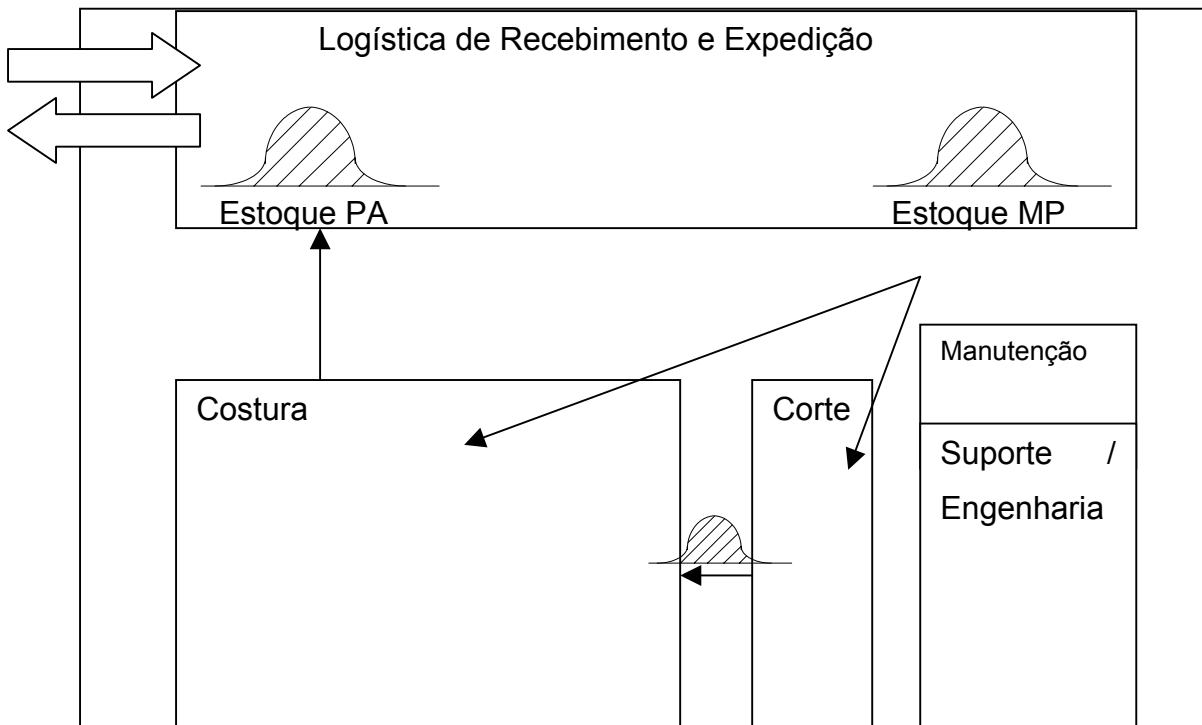


Figura 6.1: Esquema de áreas envolvidas na produção da empresa.

Onde:

PA = Produto acabado

MP = Matéria prima

 Representação gráfica de estoque

Descrevem-se abaixo os principais processos ou setores da planta analisada, suas variáveis associadas assim como seu impacto no desempenho da empresa ou na sua eficiência técnica como insumo.

6.2.1. Logística de Recebimento:

O processo de recebimento do material conta com mão de obra especializada, composta por funcionários com habilidades polivalentes, atuando como operadores de empilhadeira e almoxarifes. Tem baixo impacto na avaliação do desempenho da produção da planta, porém relevante para a análise como determinada. Tem a função básica de controlar os estoques e abastecer os setores de corte e costura com tecidos, não-tecidos e acessórios de costura. Terá seu valor considerado dentro de uma variável de mão de obra de suporte, utilizada nesta análise, descrita mais adiante.

De tal processo, e sua eficiência, originam-se dados como nível de estoque, giro de estoque, custo absoluto de material estocado, entre outros indicadores de qualidade de fornecedores aqui não mencionados. Estes dados tratam de valores que gerem o desempenho financeiro da empresa e sua lucratividade mensal, mas não a eficiência técnica da produção, como abordado neste trabalho.

6.2.2. Setor de corte:

Fundamental para o processo produtivo da planta, é o setor responsável pelo corte de peças a serem costuradas, assim como sua inspeção e controle de qualidade.

É composto de mão de obra especializada e duas máquinas de corte CAD/CAM totalmente automatizadas, com tempo de abertura de produção, ou seja, tempo em horas-máquina disponível, constante. Neste caso, a possível variável de “horas máquina de corte disponível” se torna praticamente uma constante, com variação apenas das paradas de manutenções preventivas ou corretivas, mas de impacto irrelevante neste trabalho.

Por ser um recurso que independe de operação manual para o processo, somente para abastecimento e inspeção das peças, não sujeito a variações de habilidade, a variação que ocorre em suas horas de trabalho efetivo se apresenta

como uma proporção direta do número de carros produzidos, ou seja, para cada carro produzido existe um valor pré-definido de material a ser beneficiado, proporcional ao número de carros produzidos. Seu valor não será considerado para a análise desta eficiência devido ao baixo impacto causado pela metodologia aplicada.

6.2.3. Setor de costura:

Trata-se do setor com maior número de empregados, e com maior impacto na eficiência produtiva da planta. O número de funcionários é proporcional ao volume de capas produzidas, levando em consideração o fator tempo de produção de cada produto.

É constituído de máquinas de costura automáticas de três modelos distintos, mas com funções similares, agrupadas para estudo simplesmente como máquinas de costura. O tempo de abertura de produção é constante, mas a variação do número de máquinas é considerável no decorrer do tempo, devido à facilidade de aluguel de máquinas provocada por súbito aumento de cadência ou ainda compra de novas unidades de acordo com entrada de novos projetos ou aumento do consumo firmado pelo cliente. É considerado de grande impacto no cálculo da eficiência técnica da produção.

A mão de obra empregada neste setor se compõe da denominada mão de obra direta (relacionado diretamente com a produção), e é composta por empregados com conhecimentos similares, diferindo apenas em sua habilidade manual e velocidade de produção, muito peculiares ao indivíduo. Nesta análise, considerado simplesmente como um elemento com habilidade de operar as máquinas de costura sem relevar sua habilidade, tem uma variável especial para este estudo denominada “mão de obra direta”. Apresenta grande variação devido ao fato de existir considerável rotatividade de operadores, contratação de funcionários temporários terceirizados para suprir aumentos súbitos de cadências específicas, projetos temporários, longos períodos de treinamento de novos funcionários e horas extras constantes para suprir a demanda do cliente.

6.2.4. Logística de expedição:

Da mesma forma que a logística de recebimento é tratado como um departamento de suporte, contando com mão de obra, composta por funcionários polivalentes, atuando como operadores de empilhadeira e almoxarifes. Muitos deles se revezam com o grupo de colaboradores da logística de recebimento, e vice-versa, se ajudando mutuamente. Tem muito baixo impacto na avaliação do desempenho da produção da planta, e deve ser agrupado à variável mão de obra indireta para ter relevância.

De tal processo e sua respectiva eficiência, originam-se indicadores de qualidade e produtividade diversificados, como o MPM (*Misdeliveries per million*) valor agregado de estoque, giro de estoque, entre outros aqui não mencionados, e não utilizados neste estudo como sugerido, apesar de terem importante papel no desempenho financeiro da fábrica.

6.2.5. Manutenção:

Setor responsável pelo bom funcionamento de todos os meios de produção da planta assim como dos meios de movimentação da logística. Devido à variação de número de horas trabalhadas dedicadas à manutenção da planta no decorrer do tempo, terá seu valor considerado relevante para o estudo, porém agrupado à variável de mão de obra indireta, juntamente com os outros dados de horas trabalhadas por período de outros setores que empregam mão de obra indireta.

6.2.6. Supervisão:

No decorrer de muito tempo, a planta contou com número fixo de supervisores, trabalhando em horários fixos. Com a mudança da filosofia da empresa

e a maior preocupação com o ser humano, houve significativo aumento do número de supervisores e setorização de atuação dos mesmos. Para se tornar relevante para o estudo, terá seu valor agrupado na mesma variável de horas de trabalho indireta, denominada de mão de obra indireta.

6.2.7. Engenharia:

Da mesma forma que aconteceu com os supervisores, a mão de obra ligada à engenharia, seja de métodos, produto, processos, têxtil ou qualidade teve este ano considerável reforço de mão de obra, e por consequência de tempo de trabalho dedicado ao suporte do processo produtivo.

Da mesma forma, considerada mão de obra indireta pela empresa, terá seus dados agrupados na mesma variável do caso anteriormente citado.

A influência de demais setores, como gerência, recursos humanos, segurança do trabalho, entre outros menos significativos serão desprezados neste estudo.

6.3. As variáveis de insumos

Após conhecer os processos mais importantes da empresa com influência direta sobre a produção e sua eficiência, podem-se definir então as três variáveis de insumos a utilizar na análise por DEA, descritas abaixo:

a) Variável “MOD”

No banco de dados para a aplicação da técnica DEA, a variável MOD, apresenta os valores de horas totais de mão de obra direta (relacionada diretamente com a produção), trabalhadas no período analisado. Contempla o número de trabalhadores envolvidos na costura, multiplicado pelo total líquido de horas trabalhado por cada um deles, incluídas horas extras contratados temporários, e

descontados tempos padrão de reuniões, almoço, lanches, ausências, faltas justificadas ou não, férias e afastamentos. O valor resultante é, portanto, o valor líquido de todas as horas de costura efetiva da planta no mês analisado.

b) Variável “MOI”

Toda e qualquer mão de obra de suporte considerada relevante para o estudo está contemplada nos valores assumidos por esta variável denominada MOI, que é contração de mão de obra indireta (mão de obra dedicada a suporte da produção). Nela se agrupam mão de obra de logística de recebimento ou expedição, manutenção, engenharias de produto, métodos e processos, supervisão e qualidade.

Da mesma forma que a variável anteriormente apresentada, são consideradas somente as horas em que os funcionários se encontravam na empresa. Neste caso não se pode garantir que são horas de trabalho efetivamente realizadas por cada funcionário, pois não há controle rígido sobre a mão de obra indireta, podendo o mesmo estar presente na empresa, porém trabalhando ou dando suporte para outras áreas e não realmente para a planta analisada.

c) Variável “MC”

Nesta variável são agrupados todos os tempos de disponibilidade de máquinas de costura, indiferentemente do modelo ou tipo de costura que realizem. Desta forma, o valor apresentado é o total de horas do mês, descontado os dias não trabalhados e tempos previstos para manutenções preventivas programadas. Não são descontadas horas de máquina parada por defeito grave, manutenções longas, falta de peças no almoxarifado ou falta de operadores para as máquinas, pois as mesmas se encontram computadas no ativo da empresa ou nas despesas com aluguel, independentemente do seu uso ou não.

6.4. Os produtos e suas variáveis

Essencialmente, a planta analisada produz diversos tipos de capas para banco de automóveis. Estas capas para bancos de automóveis possuem características diversificadas que fazem com que não possam simplesmente ser agrupadas como um único produto.

Originalmente a empresa faz a divisão dos produtos produzidos tomando como base o projeto à que atendem, ou seja, agrupadas como capas para um determinado modelo de automóvel. Para esta análise tal agrupamento tornaria a utilização da DEA comprometida devido ao grande número de variáveis de produtos, fazendo com que a restrição de uso da DEA sobre o número de DMU's ser no mínimo 3 vezes maior que o número de variáveis analisadas não fosse cumprida, de acordo com a recomendações de NUNAMAKER (1985).

Desta forma buscou-se uma nova maneira de agrupar os produtos industrializados pela planta, dividindo em dois grandes grupos. O de produtos complexos e de produtos simples. As características observadas para esta junção de produtos em somente duas variáveis são a) o tempo padrão de produção das capas para bancos e também b) o número de componentes utilizados. A identificação dos projetos e clientes da empresa são irrelevantes para o estudo e não serão citados a pedido da mesma. As variáveis criadas a partir desta consideração são:

a) Variável “simples”

Apresenta o valor absoluto de capas unitárias produzidas para formar os conjuntos de capas para carros considerados de menor complexidade. Compõe as capas de carros base ou com pequeno numero de acessórios costurados, com tempo de costura do conjunto de capas que formam o total do automóvel em torno de 45 a 72 minutos. Neste conjunto, o tempo maior compreende o de carros com maior número de bancos, porém de pouca complexidade, sendo o tempo individual de cada capa muito similar, permitindo tal agrupamento.

b) Variável “complexos”

Descreve o valor absoluto de capas, em unidades, produzidas para formar os conjuntos de capas de automóveis mais luxuosos, em tecido mais delicado ou aveludado ou ainda capas de couro, raramente produzidas na empresa. Apresentam tempos de conjunto na faixa de 89 a 115 minutos, podendo ser agrupados pelo mesmo critério utilizado na variável anterior.

Com estas variáveis apresentadas, torna-se possível a utilização da técnica escolhida de maneira que a qualidade dos resultados não seja prejudicada.

Desconsidera-se neste estudo carros de volume muito baixo e com tempo de capa muito acima da média geral, como utilitários e furgões. Da mesma maneira, os projetos temporários, visando exportação, com duração menor do que seis meses também serão desconsiderados.

6.5. Aplicação dos dados, resultados e discussão.

A aplicação do modelo proposto, baseado no modelo CCR, com retorno de escala constante, voltado para insumos sobre os dados processados constando no Anexo II, resultou em 50 diferentes *scores* de produtividade técnica, levando em conta cada período analisado.

Os *scores* calculados e o ranking dos períodos de maior produtividade estão demonstrados no gráfico 6.2 e também nas tabelas do Anexo III.

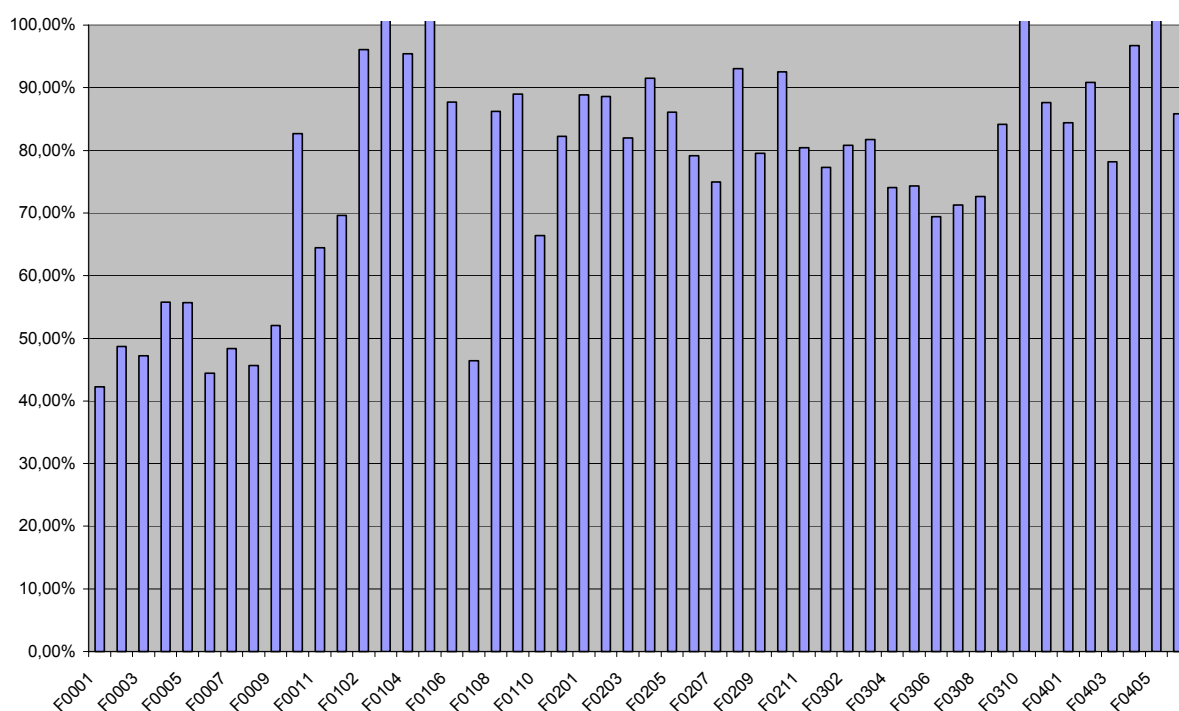


Figura 6.2: Representação gráfica dos scores.

Fonte: Resultados da análise DEA

Nota-se pela análise gráfica, que períodos iniciais da análise contam com baixa produtividade técnica. O motivo desta baixa produtividade se atribui à pouca utilização dos recursos disponíveis na empresa. Todos os setores eram super dimensionados para o período e os funcionários estavam em constante treinamento devido à introdução periódica de novos produtos.

Em novembro do ano 2000 (F0011), um pico de produção do cliente fez com que os horários de trabalho fossem estendidos, trabalhando em turnos de 12 horas. Mesmo com o super dimensionamento de equipamentos, a eficiência da produção se mostrou melhor neste mês, porém como um ponto isolado.

A partir de fevereiro de 2001 (F0102), um número maior de contratações passou a ser realizado, prevendo a entrada em produção de novos produtos para o novo cliente. Logo após, mais equipamentos foram adquiridos, mas em número reduzido. O maquinário da planta era então otimizado. Com turnos estendidos para suprir a necessidade devido a treinamentos realizados e produção do primeiro cliente

em alto volume (aumento da demanda), os meses subseqüentes se mostraram com melhor desempenho.

A partir deste período, oscilações de demanda causavam ações como contratação de temporários e aluguel ou compra de novas máquinas. Da mesma forma períodos de parada das montadoras, que raramente se davam há um mesmo instante causavam ociosidade das máquinas. As horas não trabalhadas eram compensadas em sistema de banco de horas, não contabilizadas neste estudo,

No gráfico anterior notam-se os períodos de maior oscilação, com queda no desempenho da empresa.

Em outubro de 2003 (F0310), todos os recursos disponíveis foram utilizados para suprir outro aumento de demanda dos clientes. Na análise realizada, o resultado mostra uma eficiência igual a 100%, assim como os períodos de março e maio de 2001 e maio de 2004 (F0103, F0105 e F0405 respectivamente). Porém, fatalmente, muito sacrifício por parte dos operadores de máquinas e dos setores de suporte foi necessário para atingir tais níveis de produção com revezamento em turnos de 12 horas e trabalho aos fins de semana. Apesar de tal “super” desempenho, o lado humano da empresa se sentira abalado e fatores não facilmente mensuráveis, como insatisfação pessoal e stress surtiam seus efeitos na qualidade dos produtos.

Notavelmente, no ano de 2004, os níveis de demanda do cliente chegaram a níveis ainda mais elevados. Tal demanda fez com que a fábrica e seus colaboradores trabalhassem em turnos estendidos até causar abertura do terceiro turno de produção. A eficiência da produção se mantinha muito boa, porém o nível de estresse dos recursos humanos estava elevadíssimo.

A partir de julho de 2004, o sistema de produção migrou da produção em célula para a produção em linha, onde uma única capa teve seu processo produtivo dividido em vários postos de trabalho. Estas ações iniciadas em julho, gradativamente até novembro de 2004, trouxeram de volta aos colaboradores da planta melhores condições de trabalho. Devido a limitações da técnica, este período não será analisado neste trabalho.

Da mesma forma, os meses de dezembro de cada ano foram desconsiderados nesta análise pelos motivos abaixo citados:

- 1) Devido ao fato de ocorrer extrema redução de estoques (os estoques da empresa devem ser reduzidos ao máximo a fim de reduzir o ativo circulante da empresa para o fechamento contábil) e diminuição de cadência dos clientes, o processo produtivo diminui consideravelmente a partir de meados do mês, e os operadores apesar de permanecerem na empresa se alternam em treinamentos e na produção a cadência baixa.
- 2) Os setores de apoio trabalham mais intensamente, tanto em projetos e adaptações de engenharia quanto na manutenção preventiva de equipamentos. Esta influência de mão de obra indireta se torna muito expressiva nesta análise impossibilitando a validação dos resultados quando da comparação de resultados com o indicador atual, feita mais adiante neste capítulo.

6.5.1. Comparação dos resultados alcançados.

A empresa possui diversos indicadores de qualidade e produtividade, neste caso o indicador mais adequado para comparação e validação do método é o denominado PPH (*Parts-Person-Hour*). Este indicador avalia a eficiência de cada operador individualmente. A média de todas as eficiências individuais gera a eficiência de um projeto ou grupo de produção e a média de todos os grupos ou projetos gerava o indicador da planta como um todo.

Este indicador é baseado no tempo padrão de produção da peça (neste caso, das capas para bancos de automóveis). Cada capa possui um tempo padrão estipulado inicialmente pela engenharia de métodos, se utilizando técnicas como o MTM (*Methods-Time Measurement*), onde o método de produção determina o tempo. Para capas em série a cronoanálise é o método utilizado para aquisição e atualização dos dados de tempo padrão, conforme regras do grupo para medição. Tempos padrão eram utilizados somente para cálculo de mão de obra anteriormente, mas não para medir a eficiência de cada linha de produção ou operador.

O PPH pode ser resumidamente ilustrado como:

$$PPH = \frac{C \times p}{t}$$

Onde:

C = coeficiente de tempo padrão em unidade de tempo

p = peças produzidas em número absoluto

t = tempo total de abertura de produção em unidade de tempo

Este indicador utiliza um coeficiente diferenciado para cada peça produzida a fim de que o valor da eficiência unitária seja definido como um número de interesse da empresa e não a unidade.

Comparando-se o PPH atingido pela produção com o PPH teórico o que se tem é a eficiência da produção real em relação ao que seria atingido se todos trabalhassem no tempo teórico de cada produto, ou seja, é a relação em porcentagem da eficiência técnica da operação executada, sem levar em consideração fatores externos à produção, ociosidade de equipamentos ou equipe de suporte.

Os valores obtidos pelo método DEA, utilizando vários insumos e produtos no decorrer do tempo, foram então comparados com o indicador utilizado pela empresa a fim de verificar a relação entre as eficiências de produção.

O resultado da comparação segue abaixo (tabela 6.2) para o períodos a partir de janeiro de 2002 (F0201), devido à falta de dados divulgados com fontes confiáveis para os períodos anteriores.

Para a validação dos resultados alcançados por DEA, é feita a regressão linear da reta criada pela tendência dos pontos de eficiência transpostos em gráfico (figura 6.3), onde se compara os valores obtidos por DEA com os valores obtidos pelo PPH da empresa, onde se assume que o maior valor do PPH absoluto obtido (19,45) é equivalente a 100% do maior valor de eficiência obtida por DEA.

Assim criou-se a variável PPH%, representado na tabela abaixo, onde por proporcionalidade assume-se o valor do PPH percentual de cada DMU em relação ao maior PPH do período escolhido, que assume o valor de 100%, equivalente a 100% do valor da maior eficiência aplicando DEA como descrito anteriormente.

Período	DEA	PPH Absoluto	PPH%
F0201	88,88%	17,36	89,25 %
F0202	88,61%	15,88	81,65%
F0203	81,99%	16,11	82,83%
F0204	91,52%	16,31	83,86%
F0205	86,06%	15,97	82,11%
F0206	79,12%	14,44	74,24%
F0207	74,93%	14,99	77,07%
F0208	93,04%	16,49	84,78%
F0209	79,54%	14,84	76,30%
F0210	92,51%	16,74	86,07%
F0211	80,45%	14,99	77,07%
F0301	77,29%	14,43	74,19%
F0302	80,80%	14,78	75,99%
F0303	81,69%	14,73	75,73%
F0304	74,08%	14,55	74,81%
F0305	74,31%	14,81	76,14%
F0306	69,41%	14,56	74,86%
F0307	71,30%	14,85	76,35%
F0308	72,64%	14,44	74,24%
F0309	84,17%	14,73	75,73%
F0310	100,00 %	19,45	100,00%
F0311	87,65%	16,87	86,74%
F0401	84,42%	15,84	81,44%
F0402	90,83%	16,51	84,88%
F0403	78,19%	14,27	73,37%
F0404	96,74%	17,24	88,64%
F0405	100,00 %	18,45	94,86%
F0406	85,86%	15,81	81,29%

Tabela 6.2: Comparação entre DEA e indicador da empresa com aplicação de proporcionalidade.

Fonte: Resultados da análise DEA

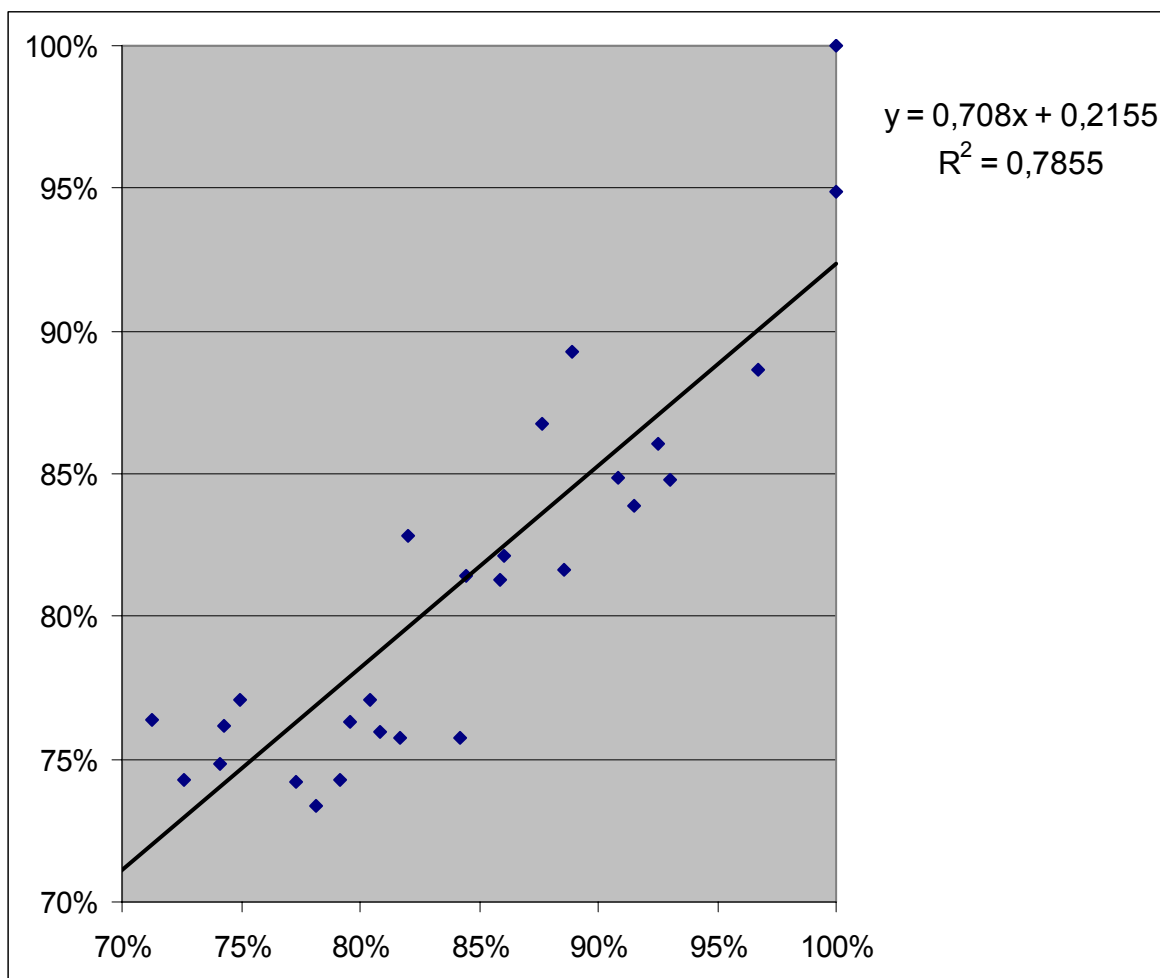


Figura 6.3: Regressão linear para validação dos dados.

Fonte: Resultados da análise DEA

As diferenças e oscilações que ocorrem entre os indicadores de eficiência relativa se devem ao fato de, em DEA, se utilizar mais de um insumo e mais de um único produto, mesmo assim, nota-se que os valores apresentados em ambos os meios de avaliação de desempenho, embora não serem expressos em uma mesma grandeza para cada período analisado, apresentam considerável correlação de valores no decorrer do tempo, confirmado pelo coeficiente R^2 de 0,7855, próximo da unidade.

6.5.2. Os períodos de *benchmarking*.

Ainda, a análise dos dados por DEA permite que se identifique para cada período ineficiente indicado o período relativo àquele que se apresenta como *benchmarking*, possibilitando que a empresa faça uma retrospectiva dos fatos ocorridos no período indicado como *benchmark* a fim de guiar as ações gerenciais para que tenham a mesma direção das executadas no período de melhor desempenho.

Cita-se um período aleatório, indicado na tabela abaixo.

	DMU	Score	Benchmarks	{S} mod {I}	{S} moi {I}	{S} mc {I}	{S} simples {O}	{S} complexos {O}
43	F0310	100,00%	23					
44	F0311	87,65%	16 (0,05) 43 (0,74) 49 (0,09)	0	0	264,75	0	0
45	F0401	84,42%	16 (0,19) 43 (0,55) 49 (0,11)	0	0	2297,18	0	0
46	F0402	90,83%	43 (0,92)	85,93	0	1216,27	991,51	0
47	F0403	78,19%	16 (0,27) 49 (0,50)	1137,21	0	3656,35	0	0
48	F0404	96,74%	43 (0,18) 49 (0,80)	877,91	0	377,13	0	0
49	F0405	100,00%	25					
50	F0406	85,86%	16 (0,04) 43 (0,04) 49 (0,81)	0	0	407,59	0	0

Tabela 6.3: Período ineficiente e seu *benchmark*.

Fonte: Resultados da análise DEA

Nota-se nesta tabela, extraída da tabela de resultados por análise DEA (ANEXO III) que para cada período ineficiente (com *score* menor que 100%) existe um indicador do período *benchmark* para este.

Como exemplo, o período 46, correspondente a fevereiro de 2004, tem como benchmark o período 43, correspondente a março do mesmo ano, com intensidade, “*lambda*”, de 0,92.

Para a compreensão da intensidade *lambda*, a mesma corresponde graficamente a porcentagem da influência do ponto de eficiência sobre o ponto de ineficiência, simplificada e exemplificada no exemplo abaixo, onde se assume como DMU's e variáveis, a tabela a seguir.

	mdo {I}	p1 {O}	p2 {O}
F01	100	500	500
F02	105	400	500
F03	110	500	300
F04	90	550	550
F05	80	600	300
F06	76	350	600
F07	106	450	500

Tabela 6.4: Exemplo simplificado para compreensão da intensidade *lambda*

	DMU	Score	Benchmarks	{S} mdo {I}	{S} p1 {O}	{S} p2 {O}
1	F01	81,82%	4 (0,91)	0	0	0
2	F02	69,47%	4 (0,47) 6 (0,40)	0	0	0
3	F03	63,36%	4 (0,18) 5 (0,67)	0	0	0
4	F04	100,00%	4			
5	F05	100,00%	1			
6	F06	100,00%	2			
7	F07	73,00%	4 (0,69) 6 (0,20)	0	0	0

Tabela 6.5: Dados do exemplo analisados por DEA

Neste caso simples exemplificado, tomado como base a DMU 3 com eficiência 63,36% e *benchmarks* o DMU 4 a intensidade 0,18 e o DMU 5 a 0,67. Graficamente, como ilustrado abaixo, significa afirmar que, se a DMU 3 fosse eficiente, os resultados estariam mais próximos do desempenho da DMU 5 do que da DMU 4 na intensidade especificada.

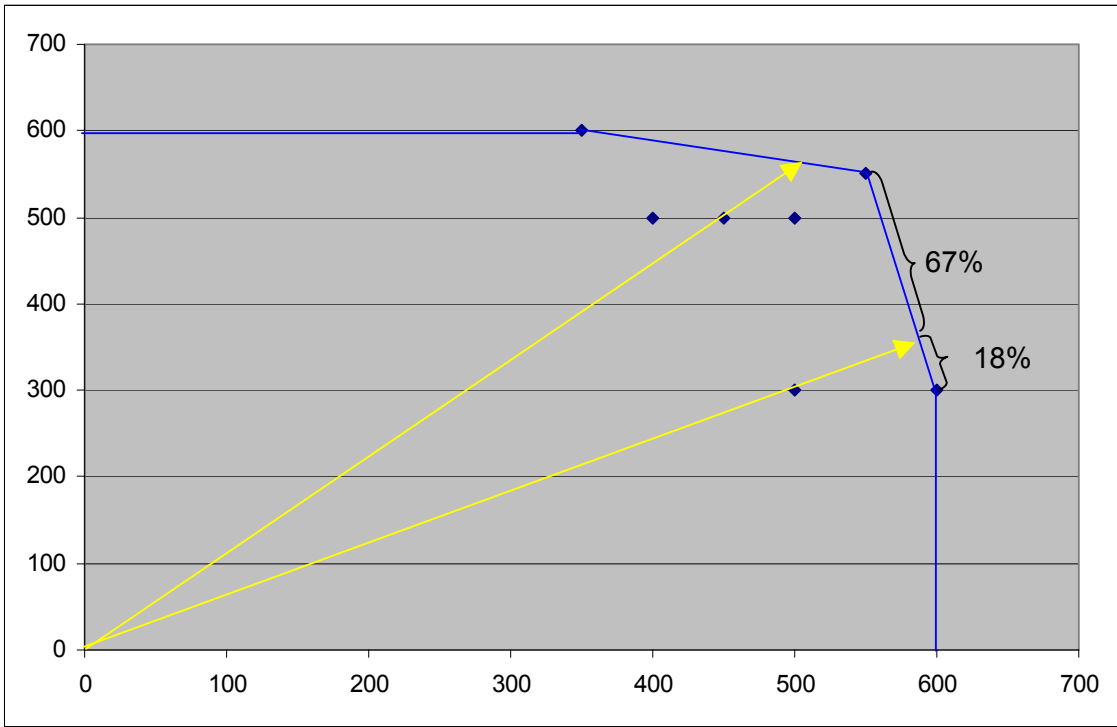


Figura 6.4: Intensidade Λ graficamente.

7. Conclusões e recomendações

Conclui-se que o objetivo básico do trabalho apresentado, resumido em revisões bibliográficas de assuntos pertinentes ao contexto e avaliação do desempenho no decorrer do tempo de uma indústria por meio da técnica DEA foi alcançado, lançando à indústria analisada um novo foco para avaliação de seu desempenho.

Os dados coletados no sistema de qualidade da empresa, baseados em documentos da produção e planilhas do departamento de recursos humanos poderão ser constantemente monitorados com o intuito de serem efetivamente utilizados na medição do desempenho relativo da empresa. Essa utilização efetiva possibilitará uma visão global do processo produtivo, a fim de saber se a empresa apresenta seus níveis de eficiência com tendência positiva de evolução com o decorrer do tempo. Considera-se muito importante o monitoramento da tendência de evolução, mais ainda do que um valor absoluto de desempenho, podendo com isso saber o “caminho” que as diretrizes gerenciais devem tomar, e se as ações que estão sendo implementadas estão surtindo o efeito esperado ou planejado.

O método atual de cálculo de desempenho da produção da planta não será invalidado por ser um padrão homologado em todo o grupo, e, a princípio, a aplicação de análise por DEA não será incorporada à empresa, mas os resultados apresentados pela técnica DEA trouxeram curiosidade aos gestores em poder medir outros fatores externos nunca computados no desempenho produtivo das plantas do grupo em um único indicador. Todos sempre foram medidos em indicadores isolados, deixando vaga a relação existente entre eles.

Recomenda-se, no caso de continuidade de aplicação desta técnica, que com o decorrer do tempo, à medida que o número de DMU's aumente, o agrupamento de dados a serem analisados seja diminuído, ou novos dados sejam inseridos à análise aumentando a confiabilidade na avaliação. Da mesma maneira, recomenda-se definir pesos para cada variável analisada de acordo com o papel de cada variável no processo como um todo.

Da mesma forma, por DEA ser uma técnica *a priori* criada para poder medir a eficiência relativa de dados não facilmente mensuráveis, foi lançada à empresa aplicações e sugestões de tipos de dados que poderão ser manuseados e analisados pela empresa, como satisfação (ou insatisfação) no trabalho e sua relação com a qualidade dos produtos fabricados, ou qualidade percebida pelo cliente. Estas avaliações apresentam dificuldades em gerar um índice de desempenho de maneira perfeitamente legível.

Ainda, sugere-se DEA como uma maneira de comparar a performance de indivíduos atuantes no processo produtivo, definindo quais operadores apresentam um maior conjunto de habilidades para executar determinadas tarefas. Atualmente, estas habilidades são medidas separadamente e agrupadas em uma matriz, denominada matriz de poli competências, mas não apresenta um valor de eficiência para cada operador analisado e sim um conjunto de comentários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, L. **Avaliação Cruzada da produtividade dos departamentos acadêmicos da UFSC utilizando DEA (Data Envelopment Analysis)**. Florianópolis, 2000. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

ALI, A. I., e SEIFORD, L. M. **The mathematical programming approach to efficiency analysis**. In: Fried, Lovell & Schmidt (Orgs.). **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. New York: Oxford University, 1993.

ALLEN R., ATHANASSOPOULOS A., DYSON R., THANASSOULIS E. **Weights restrictions and value judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, development and future directions**. Annals of Operations Research, 1997. AL-SHAMMARI, M. **Optimization modeling for estimating and enhancing relative efficiency with application to industrial companies**. European Journal of Operational Research, v. 115, n.3, p. 488-496, 1999.

ARROW, K. H.; CHENERY, MINHAS B. e SOLOW R. **Capital-labor substitution and economic efficiency**, Ver. of Ec. and Statistics, 43, 1961.

AZAMBUJA, A. M. V. **Análise de eficiência na gestão do transporte urbano por ônibus em municípios brasileiros**. Florianópolis, 2002. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

BADIN, N. T. **Avaliação da produtividade de supermercados e seu benchmarking**. Florianópolis, SC: UFSC, 1997. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

BALM, G.J. **Benchmarking and gap analysis: what is the next milestone?**, *Benchmarking for Quality Management and Technology*, Vol. 3 No.4, pp.28-33., 1996.

BANKER, R.D.; CHARNES, A. & COOPER, W.W. **Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis**. *Management Science*, **30**, 1078-1092, 1984.

BATTESE, G. E. and COELLI, T. J. (Eds.) **Efficiency and Productivity Measurement**, Journal of Productivity Analysis, vol. 8(4), 1997.

BECKENKAMP, M. T. **ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS: considerações sobre o estabelecimento de restrições para os multiplicadores ótimos**. Florianópolis, 2002. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

BELLONI, A.J. **Uma Metodologia de Avaliação da Eficiência Produtiva de Universidades Federais Brasileiras**. Florianópolis, 2000. Tese de Doutorado, UFSC, 2000.

BERECHMAN, J. **Costs, Economies of Scale and Factor Demand in Bus Transport**. Journal of Transport Economics and Policy XVII(1). Jan. pp. 7-24, 1983.

BERECHMAN, J. **Public Transit Economics and Deregulation Policy**. Elsevier, Amsterdam, 1993

BONILHA, U. **Qualificação Docente em Desempenho Discente no Ensino Fundamental Brasileiro: Um Enfoque por Fronteiras de Produção com Múltiplos Insumos e Múltiplos Produtos**. Florianópolis, 2002. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

BOUSSOFIANE, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. **Applied Data Envelopment Analysis**. European Journal of Operational Research, 52, 1-15, 1991.

BOXWELL JR., Robert J. **Vantagem competitiva através do benchmarking**. Tradução de José Carlos Barbosa dos Santos. São Paulo : Makron, 1996.

BRITO, S. G., **Medidas completas de eficiência técnica**. Florianópolis, 2003. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

BROCKETT, P. L., GOLANY, B. **Using rank statistics for determining programmatic efficiency differences in Data Envelopment Analysis**. Management Science, v. 42, n. 3, p. 466-472, March 1996.

CAMP, Robert C. **Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance**. Milwaukee, WI: ASQC Quality Press, 1989.

CAMP, Robert C. **Business Process Benchmarking; Finding and Implementing Best Practices**. Milwaukee, WI: Quality Press, 1995.

CAMP, Robert C. **Benchmarking: Identificando, analisando e adaptando as melhores práticas da administração que levam à maximização da performance empresarial**, São Paulo: Pioneira, 1993.

CASU, B.; MOLYNEUX, P. A **Comparative Study of Efficiency in European Banking**, Wharton School Center for Financial Institutions, University of Pennsylvania, 2000.

CESPEDES, J. C. **Eficiência da produção: um enfoque Bayseano**. São Paulo, 2003. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, 2003.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. **Measuring the Efficiency of Decision Making Units**. *European Journal of Operations Research*, 2(6), 429-444, 1978.

CHARNES, A. *et. al.* **Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications**. Norvell: Kluwer Academic Press, 2 ed. 1996.

CHARNES, A.; ROUSSEAU J.J.; SEMPLE J.H. **Sensitivity and Stability of Efficiency Classifications in Data Envelopment Analysis**, *The Journal of Productivity Analysis*, 1996.

CIVIL AVIATION AUTHORITY. **The use of benchmarking in the airport reviews**. Civil Aviation Authority. Economic Regulation Group, Consultation Paper, dez. 2000. Disponível em: <http://www.caaerg.co.uk>.

COBB, C. e Douglas D., **A theory of production**, *Am. Ec. Review*, 18 (March, supplement), 1928.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M. & TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. Kluwer Academic, Boston, 2000.

CRAYCRAFT, C. **A review of statistical techniques in measuring efficiency.** Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management, v. 11, n. 1, p. 19-27, spring 1999.

DAY, Diana L. *et al.* **Strategic Leaders or Strategic Groups: A Longitudinal Data Envelopment Analysis of the U. S. Brewing Industry.** European Journal of Operational Research, 80 , 1985.

De BORGER, Bruno L. **Cost and productivity in regional bus transportation: the Belgian case.** The Journal of Industrial Economics, v. 23, p. 37-54, September 1984.

FÄRE R., LOVELL C.A.K **Measuring the technical efficiency of production,** Journal of Economic Theory, 1978.

FARRELL, M. J.; **The Measurement of Productive Efficiency.** Journal of the Royal Statistical Society, Series A, part III, p. 253-290, 1957.

FRIED, G., LOVELL, C.A.K., SCHMIDT, S.S. **The Measurement of Productive Efficiency - Techniques and Applications.** Oxford University Press, 1993.

FRIED, H; LOVELL. C.A.K.; SCHMIDT P. **Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications.** New York: Oxford University, 1993.

GOLANY, B.; ROLL Y. **An Application Procedure For DEA.** Omega (Uk), v. 17, n. 3, p. 237-50, 1989.

GREENE, W.H. **The econometric approach to efficiency analysis In: The measurement of productive efficiency.** New York: Oxford University Press, 1993

HENSHER, D. A. **Editorial. Transportation Research A.** Vol. 26A, N. 6, pp. 433-434, 1992.

HUSAIN, N.; ABDULLAH, M. & KUMAN, S.. **Evaluating Public Sector Efficiency With Data Envelopment Analysis (DEA): a Case Study in Road Transport Department, Selangor, Malaysia.** *Total Quality Management*, 11, S830-S836, 2000.

JIMENEZ HERRERA N. A.; **Análisis de competitividad para países latinoamericanos identificando áreas potenciales de integración económica**

regional. Bogotá D.C., 2003. Dissertação de mestrado em engenharia industrial, 2003.

JOHNES, J. Performance assessment in higher education in Britain. **European Journal of Operational Research**. Londres: v. 89, p. 18-33, 1996.

KAO, C. ; YANG, Y. C., **Reorganization of Forest Districts on Efficiency Measurement**. European Journal of. Operations Research., v. 58, p. 356-62, 1992.

KASSAI, S. **Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. São Paulo, 2002. Tese de doutorado, Faculdade de economia, Universidade de São Paulo, 2002.

KIM, Moshe, **Total factor productivity in bus transport**, Journal of Transport Economics and Policy, vol. XIX, nº2, Maio 1985.

KOOPMANS, T.C. **Analysis of production as an efficient combination of activities** in: **Advity Analysis of production an Allocation**, T.C. KOOPMANS ed. Wiley, New York, 1951.

KUOSMANEN, T.; CHERCHYE, L.; SIIPIÄINEN, T. **The law of one price in data envelopment analysis: restricting weight flexibility across firms**. Disponível em <http://econwpa.wustl.edu:80/eps/mic/papers/0312/0312006.pdf>, 2003

LEIBENSTEIN, H., MAITAL, S. **Empirical estimation and partitioning of X-efficiency: a data envelopment approach**. The American Economic Review, v. 82, n. 2, p. 428-433, 1992.

LEIBFRIED, Kathleen H. J., McNAIR, C. J.. **Benchmarking – Uma ferramenta para a melhoria contínua**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Campus, 1994.

LINS, M.P.E. & MEZA, L. A. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de Apoio à Decisão**. Editora da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

LOPES, A. L. M. **Um Modelo de Análise Envoltória de Dados e Conjuntos Difusos para Avaliação Cruzada da Produtividade e Qualidade de Departamentos Acadêmicos - Uma Aplicação na UFSC -**, Florianópolis, 1998. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

LOVELL, C., FRIED, H. O.; SCHMIDT, S. S. **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. New York: Oxford University, 1993.

MARINHO, A., **Estudo da eficiência em alguns hospitais públicos e privados com a geração de rankings**. Rio de Janeiro, IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), 2001.

METTERS, R. D., FREI, F. X., VARGAS, V. A. **Measurement of multiple sites in service firms with Data Envelopment Analysis**. *Production and Operations Management*, v. 8, n. 3, 264-281, Fall 1999.

MOITA, M. H. V. **Um modelo para avaliação da eficiência técnica de professores universitário utilizando análise envoltória de dados: o caso dos professores da área de engenharias**. Florianópolis, 2002. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MOREIRA, D.A. **Dimensões do Desempenho em Manufatura e Serviços**. São Paulo: Pioneira (Biblioteca Pioneira de Administração e Negócios) , 1996.

MOREIRA, D.A. **Medida da Produtividade na Empresa Moderna**. São Paulo: Pioneira (Biblioteca Pioneira de Administração e Negócios), 1991.

NARASIMHAN, R.; TALLURI S.; DAS A. **Exploring flexibility and execution competences of manufacturing firms**. *Journal of Operations Management*, 2004. Disponível em www.sciencedirect.com

NIEDERAUER, C. A. P. **ETHOS: um modelo para medir a produtividade relativa de pesquisadores baseado na análise envoltória de dados**. Florianópolis, 2002. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

NOLAN, J. F. Determinants of productive efficiency in urban transit, **Logistics and Transportation Review**, v. 32, n. 3, p. 319-342, set. 1996.

NORMAN, M. & STOKER, B. **Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance**. West Sussex, John Wiley, 1991.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2001.

NOVAES, Antonio G. N. **Rapid-transit efficiency analysis with the assurance-region DEA method**. Pesquisa Operacional, v.21, n°2, p. 179 – 197, 2001.

NUNAMAKER, T. R. **Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: a critical evaluation**. Managerial and Decision Economics, v. 6, n.1, p. 293-323, 1985.

OBENG, K.; ASSAR, N. AND BENJAMIN, J. **Total Factor Productivity in Transit Systems: 1983-1988**. Transportation Research A, Vol. 26A, N. 6, pp. 447-455, 1992.

OUM, T. H.; TRETHERWAY, M. W. AND WATERS,II, W. G. **Concepts, Methods and Purposes of Productivity Measurement in Transportation**. Transportation Research A, vol. 26A, N.6, pp. 493-505, 1992.

PAIVA, F. C. **Eficiência Produtiva de programas de ensino de pós-graduação de engenharias: um aplicação do método análise envoltória de dados - DEA**. Florianópolis, 2000. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

PAIVA, Ruy M. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura : uma reformulação. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v.5, n.1. p. 117-161, 1975.

PARIDI, J. C.; REHM.; SCHAFFNIT, C. **Performance analysis for engineering design teams at bell Canada using DEA**. Center for management of technology and entrepreneurship, University of Toronto, may, 1998.

PEARSON, Kate. Data envelopment analysis: an explanation. **Bureaus of Industry Economics** (Working Paper), Canberra, n° 83, 1993.

PEREIRA, M. F.; SILVEIRA, J. S. T.; LANZER, E. A. **Indicadores de desempenho técnico de uma empresa de confecções, frente a implantação de inovações tecnológicas**. Recife, RECITEC, 1998.

RANSLEY, D. L. ***Do's and Don'ts of R&D Benchmarking***. Research & Technology Management. Setembro/outubro, 1994.

REINALDO, R. R. P. **Avaliando a eficiência em unidades de ensino fundamental de fortaleza - CE, usando a análise envoltória de dados (DEA)**. Florianópolis, 2002. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SANTOS, A.; CASA NOVA S.P.C. **Proposta de um modelo estruturado de análise de demonstrações contábeis**, RAE-eletrônica, v.4, n.1, Art 8, jan./jul. 2005.

SHIM, W. **A novel approach to the evaluation of research libraries in the U.S.** School of Communication, Information and Library Studies (SCILS), Rutgers University, New Brunswick, NJ., October 1999. Ph. D. Dissertation.

SOUZA, D. P. H. **Avaliação de métodos paramétricos e não-paramétricos na análise da eficiência da produção de leite**. São Paulo, 2003. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, 2003.

STEERING COMMITTEE FOR THE REVIEW OF COMMONWEALTH. State Service Provision. **Data envelopment analysis: a technique for measuring the efficiency of government service delivery**. Melbourne, 1997.

STURION, L. **Uma Avaliação do potencial da análise envoltória de dados (DEA) no diagnóstico da produtividade de unidades de produção agropecuária**. Florianópolis, SC: UFSC, 1996. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

SUEYOSHI, T. **DEA non-parametric ranking test and index measurement: slack-adjusted DEA and an application to Japanese agriculture cooperatives**. Omega, v. 27, n. ?, p. 315-326, 1999.

SUEYOSHI, T., AOKI, S. **A use of a nonparametric statistic for DEA frontier shift: the Kruskal and Wallis rank test**. Omega, v. 29, n. ?, p. 1-18, 2001.

TAYLOR, Frederick W. **Princípios de administração científica** / Frederick Winslow Taylor ; trad. Arlindo Vieira Ramos.- 7.^a ed.- São Paulo : Atlas, 1970.

TOREZAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na Agricultura. Uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas**. Florianópolis,

1998. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

TULKENS, H. **On FDH Efficiency Analysis: Some Methodological Issues and Applications to Retail Banking, Courts and Urban Transit**, The Journal of Productivity Analysis, 1993.

TUTORIAL IN DEA. Disponível na internet. Em <http://members.tripod.com/moezh/DEAtutorial/DEAtutorial.html> . Acessado em 21 jan./2005.

WATSON, H. Gregory, P. A. **Benchmarking Strategic**. São Paulo: Makron Books, 1994.

ZAIRI, Mohamed, LEONARD, Paul - **Benchmarking Prático: O Guia Completo**. São Paulo. Atlas, 1995.

ANEXOS

ANEXO I

SOBRE O SOFTWARE EMS

Entrada de dados e definições sobre o modelo.

Tal software, possibilita ao usuário se utilizar de tabelas em Microsoft Excel ou tabelas de texto com tabulação para separação da valores (salvo em extensão .txt). No caso da utilização de tabelas do Excel, as exigências a seguir devem ser cumpridas:

- O nome da planilha deve se chamar data.xls;
- A primeira linha deve conter os nomes das variáveis, primeiramente os insumos e em seguida os produtos;
- Os nomes de variáveis devem conter a simbologia {I} ou {O}, para variáveis Input (insumos) ou Output (produtos) respectivamente;
- A primeira coluna da planilha deve conter os nomes das DMU's.

	<i>Cost {I}</i>	<i>stuff {I}</i>	<i>clients {I}</i>	<i>revenue {O}</i>	<i>satisfaction {O}</i>
F1	152,65	129,95	128,63	122,85	154,12
F2	138,92	134,55	157,66	153,48	171,37
F3	137,19	115,32	106,78	131,6	144,7
F4	74,9	95,25	63,25	81,31	73,78
F5	98,47	88,5	117,57	98,56	105,04
F6	91,93	82,08	155,2	98,22	73,71
F7	74,51	59,96	61,14	62,56	42,89
F8	91,06	106	235,15	109,85	121,86
F9	64,7	64,7	51,73	50,86	32,98

Tabela 1: Exemplo de tabela de dados para EMS.

Fonte: Tutorial EMS

Ainda, o software permite a adição de pesos as variáveis, conforme descrito por ALLEN, ATHANASSOPOULOS, DYSON e THANASSOULIS (1997). Estes valores devem ser contemplados em tabela de dados a parte conforme exigências a seguir:

- O nome da planilha de pesos deve se chamar *Weights.xls*;
- Pode estar contida como planilha do arquivo *Data.xls* mas pode também ser um arquivo separado;
- A primeira linha (nomes das variáveis) deve ser idêntica a planilha de dados;
- A primeira coluna deve conter os nomes das restrições.

	<i>Cost {I}</i>	<i>stuff {I}</i>	<i>clients {I}</i>	<i>revenue {O}</i>	<i>satisfaction {O}</i>
MRS1	1	-1	0	0	0
MRS2a	0	0	0	1	-0,3
MRS2b	0	0	0	-1	3

Tabela 2: Exemplo de tabela de pesos para EMS.

Fonte: Tutorial EMS

Ao iniciar o uso do software após carregar os dados, é a seleção do formato de apresentação dos resultados. Deve ser feita visando à seleção do número de casas decimais apresentados e ainda:

- A utilização dos pesos puros (*shadow prices*) ou virtuais (pesos multiplicados pelos valores de *inputs* e *outputs*);
- A estrutura tecnológica, se envelopamento convexo ou não convexo;
- O retorno de escala, se constante ou variável e ainda se *nondecreasing* ou *nonincreasing*;
- A distância ou tipo de medição de eficiência em relação a fronteira de eficiência, se radial, aditiva, média máxima ou média mínima;
- A orientação, se para insumos (*inputs*), produtos (*outputs*) ou sem orientação;

Referente distância ou tipo de medição radial, FARREL (1957) comenta que esta indica melhorias necessárias quando todos os fatores relevantes são melhorados por um mesmo fator equiproporcional. Adequado para interpretação de preços (redução de custos / aumento de rendimentos), mas não indica a eficiência de KOOPMANS.

$$\begin{aligned} \text{non-oriented:} & \quad \max\{\theta \mid ((1 - \theta)X^k, (1 + \theta)Y^k) \in \mathcal{T}\} \\ \text{input:} & \quad \min\{\theta \mid (\theta X^k, Y^k) \in \mathcal{T}\} \\ \text{output:} & \quad \max\{\phi \mid (X^k, \phi Y^k) \in \mathcal{T}\} \end{aligned}$$

Fonte: Tutorial EMS apud FARREL (1957)

Quanto a forma aditiva, CHARNES, COPER, GOLANY, SEIFORD e STUTZ (1985) declaram que quantifica e soma máxima de melhorias absolutas (redução de insumos / aumento de produtos medidos em folgas). Isto leva a uma interpretação de preços (como a diferença entre lucros atual e máximo) e ainda indica a eficiência de KOOPMANS.

$$\begin{aligned} \text{non-oriented:} & \quad \max \left\{ \sum_i s_i + \sum_j t_j \mid (X^k - s, Y^k + t) \in \mathcal{T}, (s, t) \geq 0 \right\} \\ \text{input:} & \quad \max \left\{ \sum_i s_i \mid (X^k - s, Y^k) \in \mathcal{T}, s \geq 0 \right\} \\ \text{output:} & \quad \max \left\{ \sum_j t_j \mid (X^k, Y^k + t) \in \mathcal{T}, t \geq 0 \right\} \end{aligned}$$

Fonte: Tutorial EMS apud FARREL (1957).

Referente a forma de média máxima, FÄRE, LOVELL (1978) afirmam quantificar a média máxima de melhorias relativas (redução de insumos / aumento de produtos, medidos em porcentagens). Não existe interpretação de preços direta, mas é também um indicador para a eficiência de KOOPMANS (para dados positivos).

$$((1-\theta)\odot X^k, (1+\phi)\odot Y^k) := ((1+\theta_1)X_1^k, \dots, (1+\theta_m)X_m^k; (1+\phi_1)Y_1^k, \dots, (1+\phi_n)Y_n^k).$$

$$\begin{aligned} \text{non-or.:} & \quad \max \left\{ \frac{\sum_{i: X_i^k > 0} \theta_i + \sum_{j: Y_j^k > 0} \phi_j}{\sum_{i: X_i^k > 0} 1 + \sum_{j: Y_j^k > 0} 1} \mid (\theta, \phi) \geq 0, \right. \\ & \quad \left. ((1-\theta)\odot X^k, (1+\phi)\odot Y^k) \in \mathcal{T} \right\} \\ \text{input:} & \quad \min \left\{ \frac{\sum_{i: X_i^k > 0} \theta_i}{\sum_{i: X_i^k > 0} 1} \mid (\theta \odot X^k, Y^k) \in \mathcal{T}, \theta \leq \bar{1} \right\} \\ \text{output:} & \quad \max \left\{ \frac{\sum_{j: Y_j^k > 0} \phi_j}{\sum_{j: Y_j^k > 0} 1} \mid (X^k, \phi \odot Y^k) \in \mathcal{T}, \phi \geq \bar{1} \right\} \end{aligned}$$

Onde o símbolo \odot as componentes do produto de 2 vetores.

Fonte: Tutorial EMS apud FARREL (1957).

Ainda sob a forma de media mínima, CHARNES, ROUSSEAU e SEMPLE (1996) mencionam que quantifica a média mínima de melhorias relativas que é necessariamente para tornar-se fracamente eficiente. Fracamente eficiente significa que não existe um ponto na tecnologia utilizada que é melhor em todo insumo e produto. Não apresenta uma interpretação direta do preço nem mesmo é um indicador para a eficiência KOOPMANS, mas é unidade invariante.

$$\begin{aligned} \text{non-or.:} & \quad \min \left\{ \frac{\sum_{i: X_i^k > 0} \theta_i + \sum_{j: Y_j^k > 0} \phi_j}{\sum_{i: X_i^k > 0} 1 + \sum_{j: Y_j^k > 0} 1} \mid (\theta, \phi) \geq 0, \right. \\ & \quad \left. ((1-\theta)\odot X^k, (1+\phi)\odot Y^k) \in \partial\mathcal{T} \right\} \\ \text{input:} & \quad \max \left\{ \frac{\sum_{i: X_i^k > 0} \theta_i}{\sum_{i: X_i^k > 0} 1} \mid (\theta \odot X^k, Y^k) \in \partial\mathcal{T}, \theta \leq \bar{1} \right\} \\ \text{output:} & \quad \min \left\{ \frac{\sum_{j: Y_j^k > 0} \phi_j}{\sum_{j: Y_j^k > 0} 1} \mid (X^k, \phi \odot Y^k) \in \partial\mathcal{T}, \phi \geq \bar{1} \right\} \end{aligned}$$

Fonte: Tutorial EMS apud FARREL (1957).

Existe ainda disponível o conceito de supereficiência, apontado por ANDERSEN e PETERSEN (1993). Utilizando este conceito disponível ao executar o modelo selecionado as eficiências das unidades consideradas ineficientes se mantêm, porém para as DMU's eficientes o score é computado indicando a máxima

mudança radial praticável de tal maneira que a unidade ainda se mantém eficiente. Formalmente, é definida como um *score* padrão, mas a DMU avaliada é excluída de confinamento. Caso no modelo executado a partir de uma planilha o resultado for a expressão “*BIG*”, o significado prático é que se pode arbitrariamente aumentar os insumos (para orientação para insumo) ou diminuir os produtos (orientação para produto) sem que a DMU deixe de ser eficiente.

Apresentação dos Resultados

Após executado o modelo selecionado o software irá criar uma nova planilha no formato padrão Microsoft Excel com as seguintes informações:

1. *DMU name*, ou nome da DMU inserido na planilha de dados;
2. *SCORE*, ou eficiência relativa como definido anteriormente;
3. *WEIGHTS* que serão os *shadow prices* $\{W\}$ ou ainda *inputs/outputs* virtuais $\{V\}$, componentes da eficiência total. Obrigatoriamente devem resultar na unidade quando somados;
4. *BENCHMARKS*
 - i. Para unidade ineficientes: a DMU referência com sua correspondente intensidade *lambda* como suporte.
 - ii. Para unidades eficientes o número da DMU ineficiente que teve esta como indicada para *benchmarking*.
5. *SLACKS* (folgas S) ou *FACTORS* (fatores F), onde o primeiro se aplica aos modelos radiais ou aditivos enquanto o segundo para modelos de mínima e máxima média.

	DMU	Score	Cost (I)(V)	stuff (I)(V)	client (I)(V)	reven (I)(V)	satisf.	Benchmarks	(S) Cost (I)	(S) stuff (I)	(S) client (I)	(S) reven	(S) satisf.
1	F1	80,51%	0,11	0,84	0,05	0,00	0,81	22 (0,45) 33 (0,28) 37 (0,25)	0,00	0,00	0,00	5,64	0,00
2	F2	87,82%	0,15	0,85	0,00	0,13	0,75	22 (0,05) 37 (0,78) 48 (0,27)	0,00	0,00	7,27	0,00	0,00
3	F3	86,28%	0,10	0,86	0,04	0,12	0,75	22 (0,19) 33 (0,32) 37 (0,20) 48 (0,29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	F4	80,97%	0,84	0,00	0,16	0,81	0,00	33 (0,27) 35 (0,20)	0,00	13,85	0,00	0,00	5,55
5	F5	81,48%	0,15	0,85	0,00	0,12	0,69	22 (0,02) 37 (0,40) 48 (0,31)	0,00	0,00	9,04	0,00	0,00
6	F6	80,59%	0,41	0,59	0,00	0,81	0,00	35 (0,26) 48 (0,37)	0,00	0,00	21,54	0,00	9,70
7	F7	71,54%	0,42	0,47	0,11	0,72	0,00	33 (0,15) 35 (0,04) 48 (0,28)	0,00	0,00	0,00	0,00	17,15
8	F8	87,83%	1,00	0,00	0,00	0,47	0,41	35 (0,10) 37 (0,60)	0,00	4,85	13,07	0,00	0,00
9	F9	60,29%	0,38	0,53	0,10	0,60	0,00	33 (0,17) 35 (0,11) 48 (0,03)	0,00	0,00	0,00	0,00	16,94
10	F10	81,97%	0,84	0,00	0,16	0,66	0,16	33 (0,01) 35 (0,05) 37 (0,47)	0,00	1,51	0,00	0,00	0,00
11	F11	93,39%	0,43	0,44	0,13	0,93	0,00	33 (0,28) 35 (0,07) 48 (1,28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
12	F12	77,67%	0,37	0,48	0,15	0,78	0,00	33 (0,06) 35 (0,23) 48 (0,25)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86
13	F13	83,68%	0,40	0,60	0,00	0,84	0,00	35 (0,21) 48 (0,27)	0,00	0,00	17,13	0,00	34,35
14	F14	99,44%	0,85	0,00	0,15	0,99	0,00	33 (0,35) 35 (0,25)	0,00	3,48	0,00	0,00	23,97
15	F15	90,03%	0,85	0,00	0,15	0,00	0,90	33 (0,16) 37 (0,59)	0,00	9,37	0,00	10,09	0,00
16	F16	81,79%	1,00	0,00	0,00	0,45	0,37	35 (0,20) 37 (0,48)	0,00	1,68	28,73	0,00	0,00
17	F17	89,86%	0,97	0,00	0,03	0,00	0,90	33 (0,98) 37 (0,06)	0,00	17,87	0,00	5,19	0,00
18	F18	68,11%	0,36	0,51	0,13	0,68	0,00	33 (0,13) 35 (0,19) 48 (0,07)	0,00	0,00	0,00	0,00	12,14
19	F19	94,69%	0,39	0,61	0,00	0,95	0,00	35 (0,53) 48 (0,51)	0,00	0,00	4,23	0,00	22,65
20	F20	68,83%	0,95	0,00	0,05	0,69	0,00	33 (0,30) 35 (0,02)	0,00	1,43	0,00	0,00	28,75
21	F21	79,23%	0,37	0,51	0,11	0,79	0,00	33 (0,19) 35 (0,17) 48 (0,09)	0,00	0,00	0,00	0,00	13,02
22	F22	105,29%	0,09	0,91	0,00	0,00	1,05		8				
23	F23	74,94%	0,35	0,53	0,12	0,75	0,00	33 (0,17) 35 (0,20) 48 (0,00)	0,00	0,00	0,00	0,00	21,39
24	F24	63,10%	0,10	0,86	0,04	0,00	0,63	22 (0,20) 33 (0,24) 37 (0,36)	0,00	0,00	0,00	22,73	0,00
25	F25	60,94%	0,35	0,48	0,17	0,61	0,00	33 (0,01) 35 (0,26) 48 (0,15)	0,00	0,00	0,00	0,00	7,88
26	F26	55,76%	0,43	0,57	0,00	0,56	0,00	35 (0,08) 48 (0,23)	0,00	0,00	14,63	0,00	11,45
27	F27	34,86%	0,38	0,49	0,13	0,35	0,00	33 (0,05) 35 (0,06) 48 (0,07)	0,00	0,00	0,00	0,00	13,70
28	F28	92,67%	0,96	0,00	0,04	0,00	0,93	33 (0,46) 37 (0,06)	0,00	45,97	0,00	17,98	0,00
29	F29	77,38%	0,85	0,00	0,15	0,77	0,00	33 (0,23) 35 (0,16)	0,00	3,58	0,00	0,00	21,91
30	F30	56,11%	0,39	0,47	0,14	0,56	0,00	33 (0,05) 35 (0,08) 48 (0,16)	0,00	0,00	0,00	0,00	26,45
31	F31	96,28%	0,96	0,00	0,04	0,00	0,96	33 (0,74) 37 (0,07)	0,00	20,80	0,00	16,11	0,00
32	F32	87,70%	0,90	0,00	0,10	0,00	0,88	33 (0,40) 37 (0,37)	0,00	2,17	0,00	0,62	0,00
33	F33	164,81%	0,00	0,00	1,00	1,65	0,00		33				
34	F34	74,83%	0,36	0,53	0,11	0,75	0,00	33 (0,20) 35 (0,20) 48 (0,00)	0,00	0,00	0,00	0,00	11,63
35	F35	116,39%	1,00	0,00	0,00	1,16	0,00		27				
36	F36	96,83%	0,84	0,00	0,16	0,97	0,00	33 (0,31) 35 (0,23)	0,00	14,66	0,00	0,00	5,51
37	F37	110,04%	1,00	0,00	0,00	0,00	1,10		20				
38	F38	81,22%	0,37	0,52	0,11	0,81	0,00	33 (0,22) 35 (0,19) 48 (0,04)	0,00	0,00	0,00	0,00	14,75
39	F39	81,90%	1,00	0,00	0,00	0,00	0,82	37 (0,70)	0,00	1,14	14,31	1,11	0,00
40	F40	86,19%	0,89	0,00	0,11	0,86	0,00	33 (0,35) 35 (0,12)	0,00	1,73	0,00	0,00	18,08
41	F41	75,06%	0,37	0,55	0,08	0,57	0,18	33 (0,01) 35 (0,05) 37 (0,41) 48 (0,01)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	F42	75,93%	0,11	0,84	0,06	0,00	0,76	22 (0,51) 33 (0,14) 37 (0,47)	0,00	0,00	0,00	8,45	0,00
43	F43	75,21%	0,10	0,85	0,06	0,00	0,75	22 (0,28) 33 (0,02) 37 (0,63)	0,00	0,00	0,00	16,66	0,00
44	F44	97,92%	0,08	0,88	0,04	0,12	0,85	22 (0,09) 33 (0,13) 37 (0,63) 48 (0,02)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	F45	74,01%	0,82	0,00	0,18	0,74	0,00	33 (0,22) 35 (0,24)	0,00	5,18	0,00	0,00	6,63
46	F46	75,16%	1,00	0,00	0,00	0,00	0,75	37 (0,71)	0,00	11,27	5,39	4,48	0,00
47	F47	58,02%	0,87	0,00	0,13	0,00	0,58	33 (0,37) 37 (0,72)	0,00	4,48	0,00	0,29	0,00
48	F48	117,41%	0,00	1,00	0,00	1,17	0,00		21				

Figura 2: Apresentação dos resultados pelo software EMS.

FONTE: EMS

ANEXO II

TABELA DE DADOS

ANEXO III

TABELA DE RESULTADOS