

LÍLIAN FRAGA MOREIRA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E DA PRODUTIVIDADE DA  
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como parte  
das exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Economia, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

**T**

**M838a  
2010**

**Moreira, Lillian Fraga, 1984-**

**Avaliação da eficiência técnica e da produtividade da  
indústria automobilística brasileira / Lillian Fraga Moreira.  
- Viçosa, MG, 2010.**

**xi, 89f. : il (algumas col.) ; 29cm.**

**Inclui anexos.**

**Orientador: Adriano Provezano Gomes.**

**Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.**

**Referências bibliográficas: f. 78-84**

**1. Indústria automobilística - Aspectos econômicos.**

**2. Eficiência industrial. 3. Produtividade industrial.**

**I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.**

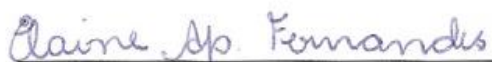
**CDD 22. ed. 338.45**

LÍLIAN FRAGA MOREIRA

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E DA PRODUTIVIDADE DA  
INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como parte  
das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Economia, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 13 de Agosto de 2010.



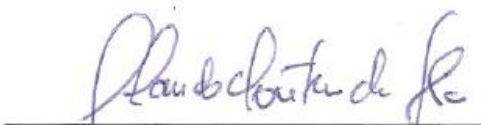
Profa. Elaine Aparecida Fernandes



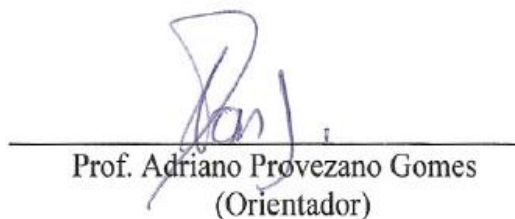
Prof. Francisco Carlos da C. Cassuce



Prof. Evaldo Henrique da Silva



Prof. Orlando Monteiro da Silva  
(Co-orientador)



Prof. Adriano Provezano Gomes  
(Orientador)

*“Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades.  
Lembraí-vos de que as grandes proezas da história foram  
conquistadas do que parecia impossível”*

*Charles Chaplin*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me permitir alcançar todas as graças nessa vida.

À minha querida mãe e meu querido pai, pelo apoio incondicional.

Ao meu amor Igor, presente de Deus, que me faz conhecer a cumplicidade do amor. Você é uma pessoa especial que transmite o amor com seu sorriso.

Às amigas Carol, Gabi, Nara, Paolla, Lívia, Paula e Helena que, nestes anos de convivência, mostraram-me o quão especial e sólida pode se tornar a amizade baseada em diferenças, tornando esse período do mestrado único, trazendo alegria de viver e cumplicidade em muitos momentos.

Ao querido amigo Pedro por sua amizade especial.

Às amigas Mary, Terci e Jaque, Camilla e Liliane, que, apesar da distância, estão sempre presentes na minha vida agraciando-me com amizades verdadeiras.

Ao professor Adriano Provezano Gomes, pela orientação, pela confiança, pela graça de poder desfrutar de sua sabedoria.

Aos conselheiros, professores Orlando Monteiro da Silva e Luis Antônio Abrantes, pela atenção dispensada e, sobretudo pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores Elaine Aparecida Fernandes, Francisco Carlos Cassuce e Evaldo Henrique da Silva, por suas contribuições demasiadamente relevantes para a conclusão deste trabalho.

Ao Departamento de Economia, pela oportunidade de engrandecimento profissional que me foi dada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia.

À Ana e ao Luís, pelo apoio e dedicação. E aos demais funcionários do Departamento de Economia, sempre dispostos a nos ajudar.

A todos os amigos e colegas de mestrado, que, de uma forma ou de outra, contribuíram para este trabalho.

A Capes pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Viçosa pela estrutura e apoio, indispensáveis para a realização desta pesquisa.

## **BIOGRAFIA**

LÍLIAN FRAGA MOREIRA, filha de José do Patrocínio Moreira e Maria Ângela Fraga Zopelar Moreira, nasceu no dia 26 de julho de 1984, na cidade de Caratinga, no Estado de Minas Gerais.

No ano de 2002, ingressou no curso de Ciências Econômicas na Universidade Federal de Viçosa, concluindo o curso em março de 2007.

Em 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Economia no Departamento de Economia da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de tese em agosto de 2010.

## SUMÁRIO

|                                                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS.....                                                         | viii |
| LISTA DE TABELAS.....                                                         | ix   |
| RESUMO .....                                                                  | x    |
| ABSTRACT .....                                                                | xi   |
| 1 INTRODUÇÃO.....                                                             | 1    |
| 1.1 Considerações iniciais.....                                               | 1    |
| 1.2 O problema e sua importância .....                                        | 4    |
| 1.3 Objetivos .....                                                           | 6    |
| 1.3.1 Objetivo geral .....                                                    | 6    |
| 1.3.2 Objetivos específicos:.....                                             | 6    |
| 2 INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA .....                                             | 7    |
| 2.1 Indústria automobilística: histórico .....                                | 7    |
| 2.2 Caracterização do setor automobilístico mundial .....                     | 11   |
| 2.3 Caracterização da indústria automobilística brasileira .....              | 15   |
| 2.4 A análise envoltória de dados aplicada na Indústria Automobilística ..... | 18   |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO .....                                                   | 23   |
| 3.1 Eficiência.....                                                           | 23   |
| 3.1.1 Conceito de eficiência .....                                            | 23   |
| 3.1.2 A análise da eficiência.....                                            | 26   |
| 3.1.3 A eficiência produtiva .....                                            | 33   |
| 3.2 Produtividade .....                                                       | 34   |



|       |                                                            |    |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1 | O conceito de produtividade .....                          | 34 |
| 3.2.2 | A concepção neoclássica sobre produtividade .....          | 36 |
| 3.2.3 | Os rendimentos de escala.....                              | 38 |
| 4     | METODOLOGIA.....                                           | 41 |
| 4.1   | Aspectos gerais da Análise Envoltória de Dados.....        | 41 |
| 4.1.1 | Etapas de aplicação do modelo DEA .....                    | 43 |
| 4.1.2 | Seleção das DMUs .....                                     | 43 |
| 4.1.3 | Seleção das variáveis.....                                 | 44 |
| 4.1.4 | Identificação e aplicação dos modelos .....                | 44 |
| 4.2   | Orientação dos modelos DEA.....                            | 45 |
| 4.3   | Retornos de escala .....                                   | 46 |
| 4.3.1 | Modelo com retornos constantes de escala (CCR ou RCE)..... | 46 |
| 4.3.2 | Modelo com retornos variáveis de escala (BCC ou RVE) ..... | 49 |
| 4.4   | Análise de janela .....                                    | 51 |
| 4.5   | O Índice de Malmquist.....                                 | 52 |
| 4.5.1 | O índice de Malmquist e a função distância .....           | 53 |
| 4.6   | Fontes de dados.....                                       | 56 |
| 5     | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                              | 57 |
| 5.1   | Análise de eficiência.....                                 | 57 |
| 5.2   | Análise de janela .....                                    | 59 |
| 5.3   | Índice de Malmquist .....                                  | 70 |
| 6     | CONCLUSÕES.....                                            | 76 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                           | 78 |
|       | ANEXOS .....                                               | 85 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Concentração das montadoras por Estado .....                                                                                                      | 16 |
| Figura 2 - Faturamento do setor automobilístico brasileiro e sua participação no PIB Industrial .....                                                        | 17 |
| Figura 3 - Ilustração dos diferentes conceitos de eficiência.....                                                                                            | 26 |
| Figura 4 - Isoquanta de Fronteira .....                                                                                                                      | 29 |
| Figura 5 - Fronteira de eficiência .....                                                                                                                     | 32 |
| Figura 6 - Orientação dos Modelos DEA .....                                                                                                                  | 45 |
| Figura 7 - Exemplo de aplicação do Modelo CCR com orientação produto .....                                                                                   | 48 |
| Figura 8 - Exemplo de aplicação do Modelo BCC com orientação produto .....                                                                                   | 50 |
| Figura 9 - Rendimentos constantes, rendimentos variáveis e rendimentos de escala de cada montadora entre os anos de 2004 e 2008 .....                        | 64 |
| Figura 10 - Rendimentos constantes, rendimentos variáveis e Rendimentos de escala da indústria automobilística brasileira entre os anos de 2004 a 2008 ..... | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Distribuição do mercado mundial de automóveis em 2007 .....                                                          | 13 |
| Tabela 2 - Produção anual (em milhões de unidades) dos principais países produtores de veículos no período de 2003 a 2008 ..... | 15 |
| Tabela 3 - Escores de eficiência técnica das 10 montadoras no ano de 2004 .....                                                 | 58 |
| Tabela 4 - Média das medidas de eficiência de cada janela para o período de 2004 a 2008 com retornos constantes de escala ..... | 60 |
| Tabela 5 - Variação percentual das variáveis utilizadas segundo grupos de mudança na eficiência técnica ( $\Delta ET$ ) .....   | 60 |
| Tabela 6 - Média das medidas de eficiência de cada janela para o período de 2004 a 2008 com retornos variáveis de escala .....  | 62 |
| Tabela 7 - Rendimentos de escala por montadora para cada janela do período de 2004 a 2008 .....                                 | 63 |
| Tabela 8 - Índice de Malmquist para os anos de 2004 e 2008 .....                                                                | 71 |
| Tabela 9 - Funções distância calculadas do ano de 2004 para 2008 .....                                                          | 74 |
| Tabela A - Variáveis utilizadas na mensuração da eficiência de 10 montadoras durante o período de 2004 a 2008 .....             | 85 |
| Tabela B - Análise de janela com rendimentos constantes para 10 montadoras brasileiras no período de 2004-2008 .....            | 87 |
| Tabela C - Análise de janela com rendimentos variáveis para 10 montadoras brasileiras no período de 2004-2008 .....             | 88 |
| Tabela D - Rendimentos de escala para 10 montadoras brasileiras no período de 2004-2008 .....                                   | 89 |

## RESUMO

MOREIRA, LÍlian Fraga, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2010.  
**Avaliação da eficiência técnica e da produtividade da Indústria Automobilística Brasileira.** Orientador: Adriano Provezano Gomes. Co-orientadores: Orlando Monteiro da Silva e Luís Antônio Abrantes

O setor automobilístico é considerado um dos setores mais importantes para a economia mundial. A importância desse setor é ainda maior quando agregada às inovações tecnológicas e produtivas difundidas a partir do seu desenvolvimento, representando, assim, um dos elos econômicos da cadeia produtiva que mais gera renda, emprego e investimentos industriais. Sendo um dos segmentos que mais depende de empréstimos e financiamentos, o setor automobilístico foi um dos primeiros a sofrer os impactos do travamento do crédito ocorrido em 2008. Assim, esta dissertação tem como finalidade principal avaliar a eficiência técnica de um conjunto de 10 montadoras da indústria automobilística brasileira durante o período de 2004 a 2008 através da Análise de Janela. O outro objetivo desta pesquisa é analisar a influência da variação da eficiência técnica e da mudança de tecnologia na produtividade dos produtores através do índice de Malmquist. O método que caracteriza o desenvolvimento da presente pesquisa é DEA – *Data Envelopment Analysis*. Os resultados obtidos são condizentes com a hipótese levantada, ao serem detectados aumentos significativos de eficiência técnica e produtividade, principalmente devido ao progresso tecnológico. Porém, devido ao aumento na capacidade ociosa, as montadoras apresentam ineficiência quanto à escala de produção.

## ABSTRACT

MOREIRA, LÍlian Fraga, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2010.  
**Evaluation of technical efficiency and productivity of the Brazilian Automotive Industry.** Adviser: Adriano Provezano Gomes. Co-Advisers: Orlando Monteiro da Silva and Luis Antônio Abrantes

The automobile industry is considered one of the most important sectors for the global economy. The importance of this sector is even greater when aggregated to technological innovation and productive broadcast from their development, thus representing an economic linkages in the production chain that generates more income, employment and industrial investment. As one of the segments that most depend on loans and financing, the auto sector was among the first to suffer the impacts of the credit crash occurred in 2008. Thus, this thesis aims at evaluating the technical efficiency of a set of 10 automakers in Brazilian automotive industry during the period 2004-2008 through the Window Analysis. The other objective of this research is to analyze the influence of the technical efficiency and technology change in the productivity of automakers through Malmquist index. The method that is characteristic of this research is DEA - Data Envelopment Analysis. The results are consistent with the hypothesis, when detected significant increases in technical efficiency and productivity, mainly due to technological progress. However, due to the increase in idle capacity, the automakers have inefficiency on the scale of production.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

A indústria automobilística é considerada uma das mais importantes atividades industriais da atualidade, com importante relevância na economia mundial. O volume anual de produção desta indústria chega a aproximadamente 50 milhões de unidades, movimentando cerca de 2,5 trilhões de dólares por ano (WOMACK, JONES *et al.*, 1992). Além disso, estima-se que 50% do total de borracha, 25% do total de vidro e 15% do total de aço produzidos no mundo se destinem a essa indústria. Para movimentar este gigantesco setor, mais de oito milhões de funcionários estão empregados diretamente e, para cada emprego direto, mais de cinco indiretos são gerados (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

A importância dessa indústria é ainda maior quando associada às inovações tecnológicas e produtivas difundidas a partir do seu desenvolvimento, sendo pioneira na propagação de novas tecnologias e novos modelos de gestão fabril na medida em que a estrutura de organização da produção adotada por ela serviu de modelo para muitas outras (BERTOLINI, 2004; CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

Desde o início do século XX, com o surgimento do Fordismo implantado pela Ford nos EUA até chegar ao Toyotismo na década de 1970, o setor automobilístico sempre foi constituído por empresas de grande porte, responsáveis pela disseminação de inovações na produção e nos produtos, gerando reflexos em muitos outros setores da economia (SENHORAS, 2005).

Com a utilização de um modelo de sistema de produção em massa, implantado pela Ford, a indústria automobilística se consolidou no mercado a partir da

concentração da produção de veículos nas mãos de um pequeno número de organizações. Na década de 60, as três grandes companhias de automóveis dos Estados Unidos<sup>1</sup>, eram responsáveis por 94% da produção daquele país, enquanto na Alemanha quatro empresas<sup>2</sup>, fabricavam 91% dos veículos. E na Itália, uma empresa, a Fiat, produzia 90% dos veículos daquele país (TOFFLER, 1980).

Já na década de 1970, o surgimento do sistema de produção enxuta no Japão revolucionou novamente a indústria automobilística ao estabelecer uma nova estrutura e organização produtiva, que apresenta uma maior flexibilidade na produção, utilizando uma menor quantidade de recursos, garantindo maior eficiência de produção independentemente de sua escala (BERTOLINI, 2004).

Por volta da metade da década de 1950, em meio ao processo de internacionalização das indústrias mundiais de veículos, o governo brasileiro passou a atrair capital estrangeiro e trouxe a indústria automobilística para o Brasil. A história do setor automobilístico brasileiro pode ser dividida em dois períodos. O primeiro refere-se à sua implantação, que se iniciou em 1957 e durou até o final da década de 1980. O segundo, que teve como origem o processo de abertura comercial e o conseqüente aumento da competitividade interna, dura até os dias atuais e é reflexo das mudanças a que todo o mercado mundial sofreu durante a década de 1990 (SENHORAS e DIAS, 2005).

A indústria automobilística instalou-se no país precisamente em 1956, impulsionada pelo baixo custo da mão-de-obra brasileira, que proporcionava alguma vantagem comparativa em relação às demais indústrias situadas nos países desenvolvidos. O início do setor no Brasil coincidiu com a política de internacionalização da produção de veículos de grandes corporações, além de incentivos oferecidos pelo governo, como protecionismo, instalação de infra-estruturas de rodagem e reformas administrativas.

A fase de implantação da indústria automobilística no Brasil durou até o final da década de 1970, apresentando uma taxa de crescimento anual de 20%. Essa

---

<sup>1</sup> Ford, General Motors e Chrysler

<sup>2</sup> Volkswagen, Opel Audi,e BMW

situação se inverteu durante a década de 1980, devido as sucessivas crises na economia brasileira e no mundo.

Durante a década de 1990, com o processo de abertura econômica e redução das tarifas de importação verificou-se o crescimento de grandes grupos nacionais ou regionais da indústria automobilística, que com o avanço de montadoras norte-americanas na Europa e Ásia, se transformaram em globais, bem como o movimento das empresas européias em direção a um maior posicionamento nos chamados mercados emergentes.

Segundo Coelho e Recupero (2008), o setor automobilístico é um dos mais expressivos da indústria brasileira. Sua capacidade de geração de renda e a existência de encadeamentos para trás e para frente<sup>3</sup> determinam sua importância destacada no cenário nacional. De acordo com os dados divulgados pela ANFAVEA (2009), no ano de 2007, o setor foi responsável por 4,9% do Produto Interno Bruto (PIB) e por 17,3% do PIB industrial do Brasil. São 49 fábricas instaladas em oito estados brasileiros, as quais geram 1,3 milhões de empregos diretos e indiretos, além de uma arrecadação de impostos que chegam a R\$ 25 bilhões anuais.

Uma vez que é representado por poucos grandes grupos empresariais, com alto volume de capital, e uma elevada gama de produtos diferenciados, o setor automobilístico pode ser caracterizado como sendo um oligopólio concentrado e diferenciado, com empresas que atuam no setor de bens de consumo duráveis. Os insumos básicos e bens de capital padronizados exigem, além de economias de escala, um elevado montante de capital inicial mínimo e facilidade de acesso a novas tecnologias e insumos. A estrutura de mercado deste setor é relativamente estável devido à sua alta concentração e existência de barreiras à entrada. E finalmente, suas estratégias combinam o planejamento do excesso de capacidade com a busca de diferenciação e inovação do produto, como forma de ampliar o mercado (SENHORAS, 2005).

Na última década, as tradicionais montadoras européias e norte-americanas passaram por dificuldades financeiras decorrentes do fortalecimento de novas

---

<sup>3</sup> Hirschman (1961) introduziu na literatura os conceitos de encadeamentos para trás e para frente, que permitem a articulação dos elos entre as diversas atividades que integram a estrutura produtiva de determinada economia, conformando suas diversas cadeias produtivas ou cadeias de valor.



montadoras coreanas e japonesas, deslocando significativamente a participação de mercado das montadoras tradicionais e ocupando posição privilegiada no *ranking* dos maiores fabricantes de automóveis e comerciais leves. Fatores como a abertura econômica (globalização), a recessão econômica mundial, e a saturação dos mercados dos países desenvolvidos tem acirrado a concorrência mundial no setor automobilístico, levando as empresas a buscarem estruturas organizacionais mais competitivas e mais compatíveis com as necessidades de cada mercado (BUIAR, 2000).

Assim, o setor automobilístico representa um dos elos econômicos da cadeia produtiva que mais gera renda, emprego e investimentos industriais. Sua importância é estratégica e incide diretamente sobre os empregos e os investimentos diretos e indiretos. Além disso, possui impacto em diversos outros setores, como na produção de máquinas, equipamentos e insumos, e nos serviços de distribuição, comercialização e manutenção.

Em 2008, o excesso de aplicações especulativas no mercado dos *subprime*<sup>4</sup> e a ausência de regulação nos mercados financeiros dos países desenvolvidos levaram à quebra de gigantes do setor financeiro e uma pane no crédito entre as próprias instituições financeiras. O crédito às empresas não financeiras foi rapidamente contaminado por um ambiente de desconfiança e falta de liquidez. O quadro geral foi de uma crise que transbordou do setor financeiro e atingiu fortemente o setor produtivo. Vários setores sofreram com os impactos negativos principalmente o setor automobilístico, essencialmente através do retraimento do crédito.

## **1.2 O problema e sua importância**

Historicamente, a indústria automobilística vem reformulando suas estratégias de acordo com os lugares onde atuam, com novos acréscimos em ciência e tecnologias

---

<sup>4</sup> Créditos hipotecários de taxas variáveis

cada vez mais flexíveis, além de se reajustarem rapidamente às oscilações do mercado (SENHORAS, 2005). Porém, a indústria automobilística foi a primeira grande vítima da crise financeira de 2008. Tanto na indústria europeia quanto na americana, as vendas desmoronaram e nenhuma montadora escapou de uma revisão drástica da perspectiva de seu faturamento.

No Brasil, segundo informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2009), no 4º trimestre de 2008, sentindo os reflexos da crise internacional, a produção industrial recuou 5,2%. O principal impacto negativo veio da indústria automobilística e de autopeças com queda de 22,6%.

Os segmentos mais dependentes de empréstimos e financiamentos foram os primeiros a sofrer os impactos do travamento do crédito, e o setor automobilístico trabalha fortemente entrelaçado com o setor financeiro, seja pelo lado da oferta (financiamento à produção), seja pelo lado da demanda (financiamento ao consumo).

Segundo Lauer (2008), diversas razões explicam o caráter repentino e a rapidez com que a crise atingiu o setor automobilístico. Primeiramente, esta indústria apresenta grande sensibilidade às variações de consumo. Em segundo lugar, a indústria automobilística foi bruscamente atingida pela crise do crédito, e uma vez que, cerca de três quartos dos carros são comprados a crédito, quando o acesso a este último se torna difícil o impacto sobre as vendas é imediato. E finalmente, outra razão apontada por Lauer (2008), diz respeito à organização do setor, no qual todas as atividades são conectadas e interdependentes. Basta uma queda nas vendas das concessionárias para que as usinas reduzam imediatamente suas cadências de produção.

Assim, diante do exposto, a pergunta que se faz é: teria a indústria automobilística brasileira se reajustado eficientemente diante da queda dos níveis de produção devido à crise financeira de 2008?

Por se tratar de uma indústria que apresenta elevados custos onde estão envolvidos gastos com P&D de novos produtos além de intensificação da introdução de novas tecnologias, espera-se que mesmo diante de uma crise, a indústria automobilística brasileira mantenha seus níveis de eficiência técnica e progresso tecnológico, podendo inclusive ter ocorrido ganhos de produtividade dos fatores.

Porém, esta indústria apresenta uma planta industrial com infra-estrutura produtiva e equipamentos que exigem um alto volume de recursos financeiros, além de um maquinário necessário à montagem de veículos formada por máquinas sofisticadas, com custo de aquisição relativamente elevado quando comparado com outros setores da indústria de transformação. Assim, diante da complexidade organizacional de fabricação, espera-se que uma redução nos níveis de produção aumente consideravelmente a capacidade ociosa das unidades produtivas do setor, provocando uma redução na eficiência de escala desta indústria.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Analisar a eficiência técnica e produtividade da indústria automobilística brasileira para os anos de 2004 a 2008.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- a) Estimar a fronteiras de eficiência técnica para o ano de 2004, identificando os tipos de rendimento de escala de cada montadora no período inicial;
- b) Estimar as mudanças na eficiência técnica decompondo-a em pura eficiência técnica e eficiência de escala;
- c) Identificar a fonte da ineficiência técnica das montadoras;
- d) Verificar a ocorrência de mudança na produtividade total dos fatores entre 2004 e 2008, decompondo-a em mudança de eficiência e mudança tecnológica.

## **2 INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Nesta seção é apresentado um histórico sobre a indústria automobilística mundial e nacional, retratando, nesta última, os principais acontecimentos ocorridos no setor até o final da década de 1990. Em seguida, descreve-se a situação atual da indústria automobilística mundial, retratando a produção dos países que se destacam nesta atividade nos anos recentes.

Posteriormente, são apresentadas as características do setor automobilístico nacional, destacando a situação atual da produção de veículos nacional, destacando sua importância dentro da economia, sua diversidade devido à dimensão territorial, e dados estatísticos que demonstram o crescimento do setor nos últimos anos.

### **2.1 Indústria automobilística: histórico**

O primeiro automóvel com um motor a gasolina foi construído por Karl Benz no ano de 1885 em Mannheim, Alemanha. A patente para o seu automóvel foi concedida em 29 de janeiro de 1886, e a primeira produção de automóveis começou em 1888 (OLIVEIRA e RAMASWAMI, 2000).

A primeira grande mudança na indústria automobilística ocorreu no começo do século XX, quando Henry Ford, empresário e fundador da Ford Motor Company, organizou o seu processo produtivo em torno de uma linha de montagem com esteiras rolantes. A grande divisão e especialização de tarefas associadas à padronização dos procedimentos e dos produtos foram entendidas como estratégias fundamentais para

permitir o sucesso desse novo modelo, que inovava ao conseguir uma produção em larga escala a menores custos e prazos (SENHORAS, 2005).

O modelo fordista logo revolucionou a fabricação de automóveis e permitiu que, pela primeira vez, o setor automotivo lançasse uma referência de gestão para a indústria, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, quando a mentalidade empresarial norte-americana se difundiu pela Europa Ocidental com a ajuda do Plano Marshall<sup>5</sup>, o mundo conheceu a era da produção e do consumo em massa (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

Na segunda metade do século XX, o Japão se destacou como centro das inovações gerenciais e produtivas que fundariam a Terceira Revolução Industrial, com a implantação do modelo denominado Toyotismo, onde a produção em massa cede lugar a sistemas integrados de produção enxuta *just-in-time*<sup>6</sup>. As adversidades econômicas vividas pelo país no período pós-guerra tornavam inviável a reprodução de um modelo que exigisse enormes fábricas, grandes quantidades de estoque e alto número de funcionários, - características básicas do fordismo - impedindo a montagem de um sistema produtivo voltado para o consumo em massa (FERREIRA e LEMOS, 2004; CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

Foi então que a Toyota, fabricante japonesa de veículos, apostou num sistema de produção mais enxuto. Para driblar a inexistência de escala, optou-se pela flexibilização da produção, na qual pequenas quantidades de uma grande variedade de bens eram fabricadas. O alto custo da matéria-prima exigiu a aplicação de técnicas de controle da produção que reduziam os desperdícios gerados ao longo da cadeia. Os estoques, que demandavam complexa organização logística e excessivo número de pessoal empenhado, foram eliminados, assim como, conseqüentemente, os custos a eles associados. O sistema intensivo em mão-de-obra deu lugar a um sistema intensivo em capital e tecnologia; afinal, a conquista dos mercados internacionais seria

---

<sup>5</sup> O Plano Marshall, conhecido oficialmente como Programa de Recuperação Européia, foi o principal plano dos Estados Unidos para a reconstrução dos países aliados da Europa nos anos seguintes à Segunda Guerra Mundial. Quando o plano foi completado, a economia de cada país participante, com a exceção da Alemanha, tinha crescido consideravelmente acima dos níveis pré-guerra. A iniciativa recebeu o nome do Secretário do Estado dos Estados Unidos, George Marshall.

<sup>6</sup> Um sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata. Primeiramente, vende-se o produto para depois comprar a matéria prima e, posteriormente, fabricá-lo ou montá-lo.

concretizada via diferenciação pela qualidade. Criava-se, então, o conceito de fábrica “mínima”, que focava em “estoque zero”, “desperdício zero”, “qualidade máxima” e mecanização flexível (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

Segundo Ferreira e Lemos (2004), enquanto no modelo de produção em massa, a indústria automobilística tendia a se concentrar em determinados espaços mundiais, especialmente nos países centrais, no modelo de produção flexível e integrado, com plantas de autopeças dedicadas, estas plataformas produtivas contaram com uma maior flexibilidade ao realizar suas escolhas de localização, garantindo o sucesso da inserção dos veículos japoneses no mercado internacional e contribuindo para a difusão de inovações gerenciais e produtivas pelos demais segmentos industriais.

No Brasil, a Indústria Automobilística surgiu de fato em 1956<sup>7</sup>, em Santa Barbara do Oeste, São Paulo, quando o Presidente Juscelino Kubitschek criou o Grupo Executivo da Indústria Automobilística (GEIA), com o objetivo de estimular a fabricação local e não somente a montagem de veículos no país, sendo a Romi-Isetta o primeiro automóvel a ser produzido no país. Em 1958, a Toyota começou a produzir em solo brasileiro o Land Cruiser, e em 1959, a Volkswagen construiu sua primeira fábrica no Brasil, produzindo a Kombi. No ano seguinte, as montadoras Chevrolet e Ford iniciaram sua fabricação de automóveis e caminhões no Brasil, juntamente com a italiana Fiat (ANFAVEA, 2006).

Após a fase de implantação, o setor automobilístico brasileiro cresceu a taxas médias de 20% ao ano no período de 1967 a 1974, e ao final da década de 1970 a produção brasileira ultrapassou a marca de um milhão de unidades por ano<sup>8</sup>, marcando a consolidação das quatro grandes montadoras que dominavam o mercado, Volkswagen, General Motors, Ford e Fiat (ANFAVEA, 2006).

As sucessivas crises econômicas no Brasil e no mundo, mudaram o curso nos anos de 1980 e início de 1990. Com a economia ainda bastante fechada em 1990<sup>9</sup>, a indústria automobilística brasileira apresentava baixa produção, defasagem

---

<sup>7</sup> A Ford instalou sua primeira unidade de montagem em 1919, e a General Motors em 1925, porém os automóveis vinham dos Estados Unidos encaixotados em *kits* e eram apenas montados aqui.

<sup>8</sup> Neste período, o governo criou mecanismos de crédito para o consumidor adquirir veículos.

<sup>9</sup> Em 1991, o diagnóstico era de estagnação – De 1990 a 1992, vendia-se anualmente menos que no período de 1975 a 1977, com uma média anual de 755 mil unidades.

tecnológica, pouca competitividade internacional, além de altos custos ao longo da cadeia produtiva, correndo sérios riscos com o processo de abertura econômica iniciado naquela década, por não apresentar padrão para uma concorrência equilibrada com os carros importados<sup>10</sup> (ANFAVEA, 2006; CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

Sob o impacto da abertura do mercado, a indústria automobilística brasileira se viu pressionada com a entrada dos concorrentes estrangeiros. Um crescente número de carros importados passou a circular pelas ruas e estradas brasileiras. Marcas de várias nacionalidades como Audi, Honda, Nissan, Citroën, Peugeot e Renault passaram a fazer frente aos veículos fabricados no Brasil. O longo período de estagnação da indústria automobilística brasileira influenciou a competitividade do produto nacional, uma vez que, a qualidade dos veículos importados era visivelmente superior à dos brasileiros. Além disto, os índices de produtividade da indústria nacional eram infinitamente inferiores aos alcançados nos EUA e Japão.

Para reverter tal situação, governo, indústria, concessionárias e trabalhadores criaram um acordo automotivo, no qual foram traçadas diversas metas para o setor, que incluíam reduções na carga tributária, IPI e ICMS, e no preço ao consumidor final, bem como a manutenção dos empregados e ampliação do financiamento (ANFAVEA, 2006; CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008). Além disso, o lançamento do programa do carro popular em 1993, que previa alíquotas tributárias reduzidas para os veículos com motor de até 1.000 cilindradas, aliado ao conjunto de medidas adotadas nos acordos automotivos, ajudou a promover a revitalização do setor automotivo e a produção aumentou para 1,4 milhões de veículos produzidos em 1993 e 1,6 milhões de unidades em 1994 (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

Apesar do sucesso do Plano Real<sup>11</sup>, que garantiu a estabilização da economia e o aquecimento da demanda doméstica, as expectativas acerca de um crescimento sustentado do mercado de automóveis ainda eram tímidas e insuficientes para encorajar altos investimentos em capacidade produtiva. Em 1995, o governo então anunciou uma política industrial, com o nome de Regime Automotivo que visava não

---

<sup>10</sup> Diversos foram os fabricantes de automóveis brasileiros como Puma, Gurgel, Miura, entre outros, e muitos não sobreviveram à reabertura das importações no início dos anos de 1990 e à competição com modelos importados.

<sup>11</sup> Lançado em julho de 1994.

só retomar o investimento da indústria, mas ganhar competitividade a fim de aumentar as exportações, oferecendo incentivos fiscais para as empresas que decidissem se implantar no país<sup>12</sup>, além de benefícios diferenciados para aquelas que escolhessem as regiões menos desenvolvidas, viabilizando uma nova onda de investimentos para o setor, com diversas montadoras se instalando no país, e as já existentes construindo novas e modernas plantas<sup>13</sup> (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

No segundo semestre de 1997, uma política monetária contracionista, adotada pelo governo em decorrência da crise asiática, elevou as taxas de juros a fim de estancar as fugas de capitais, e na tentativa de recuperar a credibilidade junto aos investidores as manteve altas por um longo período. Isso afetou em cheio o desempenho do setor automotivo, cujas vendas, na maior parte, dependem de crédito e financiamento, fazendo com que tanto as montadoras quanto as fornecedoras de autopeças tivessem fortes prejuízos por diversos anos seguidos, além de enfrentar baixos níveis de utilização da capacidade instalada. Neste período, o PIB do país cresceu muito pouco, e, em 1999, a produção de veículos chegou ao seu patamar mais baixo desde 1993<sup>14</sup>.

## **2.2 Caracterização do setor automobilístico mundial**

A indústria automobilística opera em um ambiente competitivo, controlada por firmas multinacionais da Europa, Ásia e Estados Unidos, podendo ser caracterizada como sendo um oligopólio diferenciado-concentrado. Várias razões explicam essa formação estrutural diferenciada. De acordo com Ferraz (1995), a primeira delas é a presença de economias de escala, obtidas pela redução do custo fixo em função de um

---

<sup>12</sup> Segundo a ANFAVEA (2006), estabeleceu-se uma redução de 50% do imposto de importação de veículos para as montadoras que já produzissem ou que estivessem em vias de produzir no país. Foram instituídas tarifas menores para a importação de bens de capital bem como de matéria-prima e diminuição de IPI para estes itens e também para autopeças, pneus e material de embalagem.

<sup>13</sup> Esse ciclo de investimento totalizou cerca de US\$ 20 bilhões e elevou a capacidade instalada de produção de 2 milhões para 3,5 milhões de veículos por ano (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008).

<sup>14</sup> Em 1999, as vendas caíram para 1,3 milhões de unidades (ANFAVEA, 2006).



maior volume de produção. Dentre os principais custos fixos estão gastos com P&D de novos produtos, propaganda e marketing, custos de aquisição de máquinas, equipamentos, gastos com montagem da infra-estrutura produtiva, entre outros. Outra razão importante apontada por Ferraz (1995) é o volume de recursos financeiros necessários para que uma empresa entre nesse mercado, pois além da complexidade tecnológica e organizacional de fabricação e de gastos com o desenvolvimento tecnológico do produto, o maquinário necessário à montagem de veículos é formado por máquinas sofisticadas com custo de aquisição relativamente elevado quando comparado com outros setores da indústria de transformação. Por fim, cabe observar que a natureza do produto, como sendo diferenciado e não homogêneo, implica na existência de marcas estabelecidas e fidelização de clientes.

Em decorrência das características dessa estrutura de mercado, as empresas do setor automobilístico são empresas de grande porte, e na maior parte dos casos trata-se de transnacionais, operando em escala global, com multiplantas<sup>15</sup> instaladas nos principais mercados consumidores. Este fato caracteriza a recente evolução desta indústria graças aos avanços da globalização, o acirramento da concorrência devido à intensificação da introdução de novas tecnologias e a diminuição dos diferenciais competitivos entre as montadoras mais importantes (CARVALHO, 2005).

Conforme demonstrado pela Tabela 1, em que é apresentado o volume de produção de cada grupo de montadoras e a respectiva distribuição do mercado entre elas, a maior parcela do mercado automobilístico está concentrada entre os maiores produtores desta indústria.

---

<sup>15</sup> Fábricas instaladas em diferentes localidades produzindo essencialmente o mesmo produto.

Tabela 1 - Distribuição do mercado mundial de automóveis em 2007

| Grupo      | Automóveis<br>(Unidades produzidas) | Distribuição do mercado<br>(%) |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Total      | 55.677.054,00                       | 100,00                         |
| Toyota     | 7.768.633,00                        | 13,95                          |
| Volkswagen | 6.110.115,00                        | 10,97                          |
| GM         | 6.015.257,00                        | 10,80                          |
| Honda      | 3.878.940,00                        | 6,97                           |
| Ford       | 3.346.561,00                        | 6,01                           |
| PSA        | 2.840.884,00                        | 5,10                           |
| Nissan     | 2.788.632,00                        | 5,01                           |
| Hyundai    | 2.435.471,00                        | 4,37                           |
| Suzuki     | 2.306.435,00                        | 4,14                           |
| Renault    | 2.048.422,00                        | 3,68                           |
| Fiat       | 1.849.200,00                        | 3,32                           |
| B.M.W.     | 1.439.918,00                        | 2,59                           |
| Daimler AG | 1.380.091,00                        | 2,48                           |
| Kia        | 1.310.821,00                        | 2,35                           |
| Mazda      | 1.241.218,00                        | 2,23                           |
| Outras     | 8.916.456,00                        | 16,01                          |

Fonte: OICA (2009).

Como pode ser observado, as quatro maiores empresas do setor automobilístico concentravam 42,7 % do mercado em 2007, enquanto as oito principais, esse número sobe para 63,19% neste mesmo ano.

Os maiores produtores do setor, de modo geral, operam mais de uma marca de veículos, atuando em diversos nichos de mercado<sup>16</sup>. Outras marcas são específicas para uma determinada linha de produtos, tais como: automóveis, comerciais leves, caminhões ou ônibus, além daquelas que são responsáveis pelo atendimento a determinados nichos específicos de mercado, onde as quantidades demandadas são relativamente pequenas e de elevado valor agregado, como nos segmentos de alto luxo e carros esporte (OICA, 2009).

Quando analisamos o mercado da indústria automobilística mundial, percebemos que a produção vinha crescendo até o ano de 2007. Neste ano os 20 países considerados pela OICA como os principais produtores de veículos do mundo,

<sup>16</sup> Normalmente, aqueles de maior escala de produção destinados ao consumidor de classe média.

atingiram uma produção de mais de 73 milhões de automóveis. Como pode ser observado na Tabela 2, o maior produtor foi o Japão, com uma produção estimada em 11.596 milhões de unidades, o que representou 15,83% da produção mundial; o segundo lugar no *ranking* dos maiores produtores foi ocupado pelos Estados Unidos, com 10.780 milhões de unidades produzidas, atingindo um percentual de 14,71%. O Brasil ocupava, naquele ano, a sétima posição, com uma produção de quase 3 milhões de unidades, ou 4% da produção mundial.

Porém, no ano de 2008, o que se observa é uma queda na produção de veículos de aproximadamente 2,75 milhões de unidades com relação ao que foi produzido em 2007, o que representa uma queda de 3,75% em apenas um ano. Grande parte desta queda na produção vem dos Estados Unidos, que apresentou uma redução de quase dois milhões de unidades de 2007 para 2008, representando uma queda de 19,25%. Vale ressaltar, que o setor automobilístico americano já vinha perdendo parcela de mercado para o setor automobilístico japonês desde 2003, até que em 2006, os Estados Unidos perdem a liderança do mercado automobilístico para o Japão, que permanece líder deste setor até os dias atuais.

Tabela 2 - Produção anual (em milhões de unidades) dos principais países produtores de veículos no período de 2003 a 2008

| País           | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Japão          | 10,286 | 10,512 | 10,800 | 11,484 | 11,596 | 11,564 |
| China          | 4,444  | 5,234  | 5,708  | 7,189  | 8,882  | 9,345  |
| Estados Unidos | 12,115 | 11,989 | 11,947 | 11,264 | 10,781 | 8,705  |
| Alemanha       | 5,507  | 5,570  | 5,758  | 5,820  | 6,213  | 6,041  |
| Coréia do Sul  | 3,178  | 3,469  | 3,699  | 3,840  | 4,086  | 3,807  |
| Brasil         | 1,828  | 2,317  | 2,531  | 2,611  | 2,977  | 3,220  |
| França         | 3,620  | 3,666  | 3,549  | 3,169  | 3,016  | 2,569  |
| Espanha        | 3,030  | 3,012  | 2,753  | 2,777  | 2,890  | 2,542  |
| Índia          | 1,162  | 1,511  | 1,639  | 2,020  | 2,254  | 2,315  |
| México         | 1,575  | 1,577  | 1,684  | 2,046  | 2,095  | 2,191  |
| Canadá         | 2,553  | 2,712  | 2,688  | 2,572  | 2,579  | 2,078  |
| Rússia         | 1,279  | 1,386  | 1,355  | 1,508  | 1,660  | 1,790  |
| Reino Unido    | 1,846  | 1,857  | 1,803  | 1,648  | 1,750  | 1,650  |
| Tailândia      | 0,742  | 0,928  | 1,123  | 1,194  | 1,287  | 1,394  |
| Turquia        | 0,533  | 0,823  | 0,879  | 0,988  | 1,099  | 1,147  |
| Irã            | 0,582  | 0,789  | 0,817  | 0,905  | 0,997  | 1,051  |
| Itália         | 1,322  | 1,142  | 1,038  | 1,212  | 1,284  | 1,024  |
| Polônia        | 0,322  | 0,601  | 0,613  | 0,715  | 0,793  | 0,951  |
| Rep. Tcheca    | 0,442  | 0,448  | 0,602  | 0,855  | 0,939  | 0,946  |
| Bélgica        | 0,909  | 0,900  | 0,927  | 0,918  | 0,834  | 0,724  |
| Outros países  | 3,387  | 4,050  | 4,568  | 4,486  | 5,250  | 5,466  |
| Total          | 60,661 | 64,494 | 66,480 | 69,221 | 73,264 | 70,518 |

Fonte: OICA (2009).

## 2.3 Caracterização da indústria automobilística brasileira

Com mais de 50 anos de indústria automotiva, o Brasil apresenta um grande mercado doméstico efetivo e potencial, competente parque produtor – tanto de veículos quanto de sistemas e autopeças –, sólida base de engenharia automotiva e rede de concessionários estruturada com abrangência nacional (CASOTTI e GOLDENSTEIN, 2008). Grande parte das principais montadoras de veículos possui plantas industriais instaladas no Brasil. São 25 fábricas instaladas em oito Estados e mais de 30 municípios, abastecidas por mais de 500 empresas produtoras de autopeças

e apoiadas por uma rede de mais de quatro mil concessionárias espalhadas por todo o país. Trata-se de um complexo industrial com capacidade instalada para produzir 3,5 milhões de veículos por ano, e com previsão de chegar a seis milhões em 2013 (ANFAVEA, 2009).

Merece atenção o processo de descentralização geográfica por que passou o setor. No início da década de 90, a quase totalidade das montadoras situava-se na região do ABC paulista, mas conforme pode ser observado na Figura 1, veículos automotores são fabricados atualmente em diversas regiões do país, destacando-se a Bahia, com a fábrica da Ford em Camaçari, o Paraná, com a implantação das unidades industriais da Volkswagen e da Renault, e o Rio Grande do Sul, que abriga uma moderna planta da General Motors.

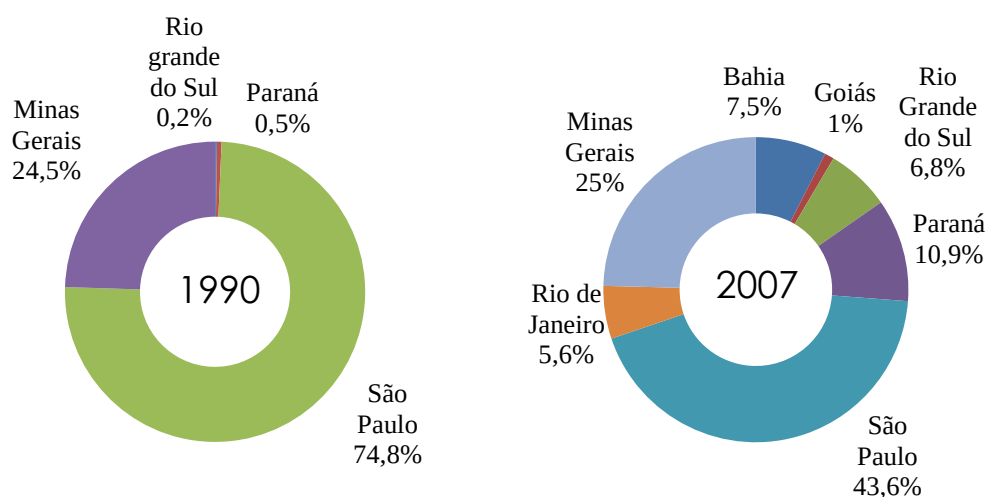


Figura 1 - Concentração das montadoras por Estado  
Fonte: ANFAVEA (2009).

A indústria automobilística brasileira vem crescendo rapidamente nos últimos anos. Como pode ser observado na Figura 2, de acordo com os dados divulgados pela ANFAVEA, o setor automobilístico teve importante participação na economia brasileira no ano de 2007, sendo considerado um dos setores mais fortes do país, com uma participação de 17,3% no PIB Industrial e 4,9% no PIB total.

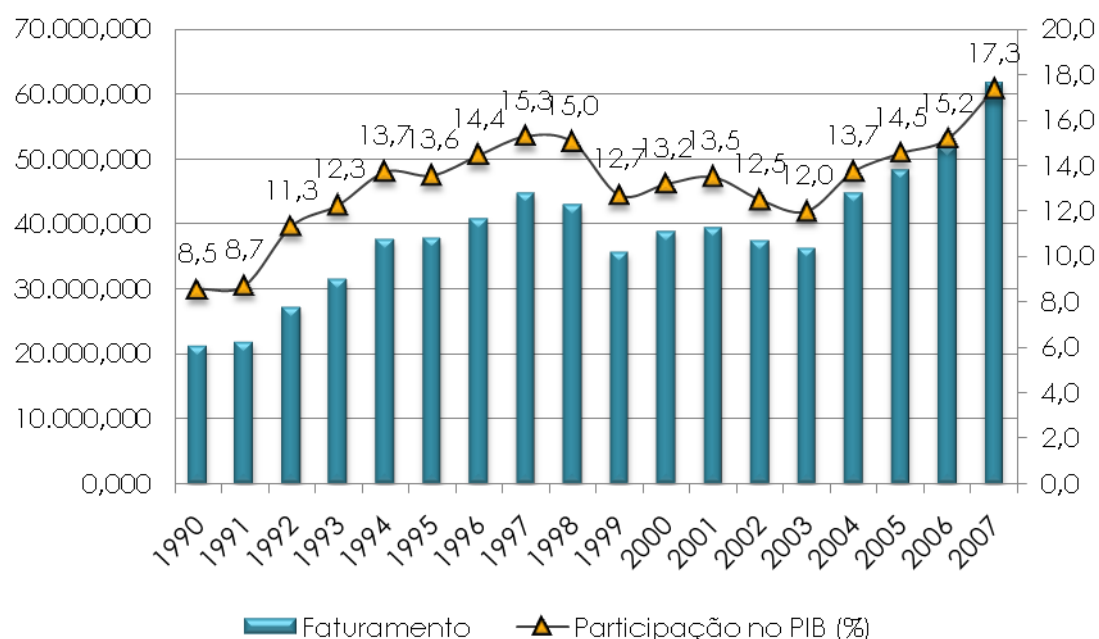


Figura 2 - Faturamento do setor automobilístico brasileiro e sua participação no PIB Industrial  
 Fonte: ANFAVEA (2009).

Em 2007, a produção brasileira cresceu 14% comparada com a produção de 2006, alcançando uma produção de quase três milhões de automóveis. Já as vendas de automóveis e veículos comerciais leves aumentaram em mais de 25%, ao mesmo tempo em que as vendas de caminhões, ônibus e máquinas agrícolas aumentaram em mais de 30%. Neste mesmo ano, as exportações ficaram acima dos 10 bilhões de dólares e apesar da apreciação do real, o setor foi um exportador líquido contribuindo com 7% do superávit da balança comercial brasileira. (ANFAVEA, 2009)

As exportações, brasileiras concentram-se na América do Sul, com especial destaque para a Argentina. Este país foi responsável por 40,6% das unidades exportadas pela indústria automobilística brasileira e com quem o Brasil tem acordos comerciais que isentam parcialmente o setor das tarifas de importação (ANFAVEA, 2009).

De maneira geral, fornecedores e produtores de autopeças investiram 35 bilhões de dólares no Brasil de 1994 até 2006. Em cinquenta anos de história da indústria automobilística brasileira, foram desenvolvidos projetos exclusivamente nacionais,

como a motorização 1.0, lançada em 1990 e que, em 2005 era responsável por 55% das vendas ao mercado interno. Outro exemplo importante foram os veículos *flex fuel*<sup>17</sup>, que também foram desenvolvidos e tiveram sua produção iniciada no Brasil, respondendo por mais de 76% do mercado interno em 2006, com apenas três anos de comercialização (ANFAVEA, 2006).

Além disso, apenas as empresas associadas à ANFAVEA responderam, em 2007, pela geração de 120 mil postos de trabalho, mas estima-se que no total, entre empregos diretos e indiretos (incluindo empresas de autopeças), esse número deva chegar a 1,3 milhões (ANFAVEA, 2009).

A base para este significativo crescimento do setor automobilístico brasileiro se deve à estabilidade política e financeira do país, com a inflação mantida sob controle<sup>18</sup>, ao mesmo tempo em que as reservas internacionais em dólar do país quadruplicaram seu valor<sup>19</sup>. Tudo isso permitiu ao Banco Central reduzir drasticamente taxas básicas, abrindo caminhos para sustentar o crescimento da produção doméstica, contribuindo para o aumento do emprego e, conseqüentemente, do consumo (ANFAVEA, 2008b).

## **2.4 A análise envoltória de dados aplicada na Indústria Automobilística**

Poucos são os estudos que utilizam a Análise envoltória de dados a fim de medir a eficiência e o desempenho da Indústria Automobilística brasileira e mundial.

Alshare *et al.*(2004), utilizou a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar e analisar a estabilidade da eficiência das três maiores empresas do setor automobilístico norte-americano durante o período de 1986-1997.

---

<sup>17</sup>Veículos que rodam tanto com álcool como com gasolina, em qualquer mistura.

<sup>18</sup> O Brasil fechou os anos de 2006 e 2007 com inflação 3,14%, e 4,46 % aproximadamente, permanecendo dentro da meta de 4,5% a.a. estipulada pelo governo (IPEA, 2010 ).

<sup>19</sup> Em 2004, o Brasil acumulava 49,3 bilhões de dólares em Reservas Internacionais. Em 2007 esse valor chegou a 180,3 bilhões de dólares (IPEA, 2010 ).

Com apenas três DMU (três empresas) foi realizada uma análise em janela para 4 anos afim de obter os escores de eficiência para cada DMU ( $3 * 4 = 12$  DMU). A justificativa para dividir em períodos de quatro anos é que um ciclo de produtos na indústria automível dura cerca de quatro anos. Cada geração para uma marca de carros específicos, com algumas exceções, é realizada cerca de quatro anos antes de ser suplantada pela próxima geração, dada a concorrência feroz e rápida atualização tecnológica na indústria.

Neste trabalho, os autores puderam concluir que a GM recebeu o menor número de anos eficientes (16/24). Isto sugere que a GM é a maior fabricante menos eficientes em relação aos outros dois concorrentes. No outro extremo, a Ford apreciou o maior número de anos durante os três eficiente 4-janelas ano (22/24). Chrysler recebeu (17/24) o mais eficiente. Refira-se que nenhuma das três empresas é classificada como estável ineficiente nos três 4-análise janelas anos

Os resultados de ambos os modelos (CCR e BCC) indicam que a Ford foi o líder mais eficiente durante cada período de quatro anos consecutivos, ou ciclo do produto. A General Motors foi a empresa mais ineficiente do setor. Chrysler está posicionada para situar-se entre esses dois extremos.

Beuren *et al.*(2007), utilizou o modelo DEA com retorno variável de escala (VRS) para verificar a eficiência entre as concessionárias catarinenses de uma única montadora. Além disso, o modelo é suposto de retorno decrescente, pois graficamente se pode inferir que concessionárias menores possuem índices de produtividade maiores, enquanto as grandes concessionárias possuem esta derivada com inclinações menos acentuadas. Os autores trabalharam com um insumo e um produto: como insumo a taxa de participação no mercado, e como produto o Valor Econômico Agregado - EVA®<sup>20</sup>, entre os anos de 2000 e 2003.

De acordo com os resultados encontrados em tal pesquisa, concessionárias na faixa de eficiência baixa são tipicamente aquelas situadas em municípios de médio e grande porte e que, de forma direta, se reflete no tamanho das agências, possuidoras de volumes de negócios maiores, em valores absolutos, em relação a municípios menores.

---

<sup>20</sup> O EVA®, é uma medida de desempenho empresarial, que difere da maioria das demais, ao incluir uma cobrança sobre o lucro pelo custo de todo o capital que uma empresa utiliza.



Entretanto, deve-se levar em consideração que a busca de qualidade no atendimento faz com que agências com serviços mais especializados, com melhores equipamentos, com instalações adequadas e profissionais mais bem treinados, possam estar polarizando o atendimento em uma região, gerando *outputs* qualitativos não computados neste trabalho; uma vez incluídos, poderiam levar as concessionárias não-eficientes a locais mais próximos da fronteira de eficiência. Outra possibilidade para a existência de agências na faixa de eficiência baixa, talvez menos crível, é a existência de estoques de serviços maior do que o público consumidor necessita. Por outro lado, concessionárias pertencentes à faixa de alta eficiência estariam aproveitando, em melhor grau, os seus recursos para gerar resultados econômicos positivos.

Narasimhan *et al.*(2005), analisou a eficiência relativa e qualidade das empresas automobilísticas globais. Em síntese, para o exame da indústria automobilística, usou-se a receita total, o lucro líquido, e uma medida de qualidade a satisfação do consumidor como saídas, e o custo de vendas, as vendas, despesas gerais e despesas administrativas como entradas. Usou-se os índices de satisfação do consumidor relatados no Consumer Reports, que é baseado em questionários distribuídos aos consumidores da amostra. Sua escala de 1 a 5 (sendo 5 a mais alta classificação) é baseada em uma resposta para a pergunta "Você compraria este veículo particular outra vez?"

As empresas da amostra<sup>21</sup> são: Audi (A) BMW (B), Daimler / Chrysler (D), Ford (F) GM (G), Honda (H), Mazda (Ma), Mitsubishi (Mi), Nissan (N), Toyota (T) e Volkswagen (V).

Os resultados encontrados pelos autores indicaram que para o ano de 2003, Audi, BMW, Honda, Mazda, Nissan e Toyota possuíam um escore de eficiência relativa de um. É importante salientar que, mesmo se todas as empresas tiveram uma perda em um determinado ano, o programa calcula a eficiência relativa (não absoluta). Daimler / Chrysler, Ford, General Motors, Mitsubishi e Volkswagen possuíam uma indicação de desempenho inferior. Constatamos também que à exceção de um ou dois

---

<sup>21</sup> Foram suprimidas algumas empresas listadas no Market Share Reporter (Renault, Hyundai Motor Corporation, Fiat Auto, PSA Peugeot Citron, Isuzu e Subaru), pois dados financeiros detalhados não estavam disponíveis a partir de recursos on-line.

anos, a BMW, Mazda, Nissan e Toyota têm escore de eficiência de 100% ou 1. Os resultados também indicam que a BMW, Nissan, Mazda e Toyota estão a melhorar o seu desempenho de operações em relação aos outros, enquanto a Daimler / Chrysler, Ford, General Motors, Mitsubishi e Volkswagen realizam relativamente desempenho decrescente no período de amostragem.

Saranga (2009) analisou através da análise envoltória de dados a eficiência operacional de um conjunto de 50 empresas do setor automobilístico indiano componente, e seus dados financeiros correspondentes ao ano de 2003. Em seu trabalho, Saranga (2009) testou as seguintes hipóteses:

- Empresas com investimento de capital mais elevado estão associadas com maior eficiência operacional do setor automobilístico indiano
- Empresas com maiores estoques médios estão associadas com maior eficiência operacional.
- Empresas com menores ciclos de capital circulante líquido estão associadas com maior eficiência operacional.
- A capacidade tecnológica contribui para a eficiência operacional da empresa.

As despesas 'matéria-prima', 'Trabalho', 'Capital', 'Diversos' foram consideradas variáveis de entrada e o rendimento bruto considerado como a variável de saída.

Os resultados encontrados para um modelo com retornos constantes de escala foram de um total de 14 empresas eficientes e 36 empresas ineficientes. Já para um modelo com retornos variáveis de escala, foram encontradas 21 empresas eficientes e 29 empresas ineficientes.

Tal análise empírica revelou que as empresas do setor automobilístico na Índia estão sofrendo uma série de ineficiências como escala técnica, e a maioria das empresas estão operando na região de retornos decrescentes de escala. Saranga (2009) aponta possíveis explicações, como a substituição do trabalho manual para equipamentos automatizados, devido à falta de recursos de capital, que não é propício para a fabricação em grande escala. Para o caso da Índia, o baixo custo do contrato de trabalho é tido como a alternativa mais fácil comparada aos investimentos caros em equipamentos automatizados, resultando em uma mistura de entradas ineficientes.

Ciclos de capital de giro mais líquidos também podem estar contribuindo para várias ineficiências, juntamente com baixos estoques médios. Desde que a indústria automobilística tem uma estrutura dualista, o poder de barganha das empresas reduz. Como resultado, as empresas de nível inferior, que são, em geral, menor em tamanho e lidam com peças simples, podem ter que esperar por longos períodos de tempo para receber os pagamentos de seus clientes, enquanto que pagam antecipadamente por sua matéria-prima.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Eficiência**

##### **3.1.1 Conceito de eficiência**

Para discutir eficiência precisamos observar seus conceitos. Segundo Silva e Azevedo (2004), a eficiência difere do conceito de eficácia por representar à melhor forma de se fazer a coisa certa, enquanto a eficácia está associada ao conceito de fazer a coisa certa, estando relacionada ao cumprimento dos objetivos traçados ou à obtenção de resultados planejados.

A Lei de Pareto ou Ótimo de Pareto estabeleceu as bases da “economia do bem estar” contribuindo para a conceituação da eficiência. A eficiência de Pareto existe quando não se pode tornar maior o bem-estar de uma pessoa sem que haja diminuição do bem-estar de outra. A abordagem analítica aplicada à medida de eficiência na produção teve origem com o trabalho de Pareto-Koopmans e Debreu em 1951(LINS e MEZA, 2000; FERREIRA e GOMES, 2009).

Segundo Ferreira e Gomes (2009), a Lei de Pareto adaptada pelo economista holandês Tjalling C. Koopmans estabelece, como princípio de eficiência produtiva, que a confecção de produtos finais não poderia melhorar se esta melhoria resultasse na piora de um ou mais outros produtos finais.

De acordo com Lins e Meza (2000), uma Unidade Tomadora de Decisão (DMU) é eficiente pela a definição de Pareto-Koopmans somente se:

- Nenhum dos produtos possa ser aumentado, sem que algum insumo necessite ser aumentado, ou que algum outro produto seja reduzido.
- Nenhum dos insumos possa ser reduzido, sem que algum outro insumo necessite ser aumentado, ou que algum produto seja reduzido.

Gerard Debreu buscou medir o grau de ineficiência relativa de um conjunto de DMUs introduzindo uma medida radial de eficiência técnica que permite a máxima redução equiproporcional de todos os insumos, ou a máxima expansão equiproporcional de todos os produtos, independentemente das unidades de medidas desses insumos e produtos, porém, a medida radial de Debreu não pode ser eficiente com base na definição de Pareto-Koopmans, já que a eficiência técnica não necessariamente corresponde à eficiência alocativa, tendo então Farrell (1957) estendido o trabalho de Koopmans e Debreu, introduzindo o conceito de eficiência alocativa da microeconomia (FERREIRA e GOMES, 2009).

Farrell (1957) mostrou que a Eficiência Econômica possui dois componentes: a Eficiência técnica e a Eficiência Alocativa., sendo que a primeira considera a possibilidade de uma quantidade mínima de insumos produzirem uma determinada quantidade de produto ou maximizar a quantidade de produtos dada uma quantidade de insumos, e a Eficiência Alocativa está relacionada com a possibilidade de combinação de insumos e produtos como forma a obter o menor custo na produção. O autor ainda complementa que, o produto entre as duas eficiências determina a medida de Eficiência Econômica de uma unidade produtiva.

Farid (1995) expõe os conceitos de eficiência de forma mais delineada. Segundo o autor, a eficiência técnica relaciona a conversão de insumos físicos em produtos físicos, em relação à melhor prática, podendo então dizer que, dada a tecnologia corrente, não deverá haver perda de insumos para produzir a quantidade de produtos observada. Se a organização opera na melhor prática observada ela é dita 100% tecnicamente eficiente. Caso contrário, a eficiência técnica da organização é expressa como uma porcentagem da melhor prática. Práticas gerenciais, escala de produção ou tamanho das operações podem afetar a eficiência técnica, a qual é baseada em relações técnicas, mas não nos preços ou custos.

Outro conceito de eficiência apontado por Farid (1995) é de eficiência alocativa, o qual verifica se os insumos, dado um nível de produto e o preço dos insumos, são escolhidos para minimizar os custos de produção, assumindo que a organização sob análise já é tecnicamente eficiente. Assim como a eficiência técnica, a eficiência alocativa também se expressa como uma porcentagem, no qual um escore de 100% indica que a organização usa seus insumos numa proporção adequada, ou seja, na proporção que os custos são minimizados.

Uma organização que opera eficientemente em termos técnicos pode ser ineficiente em termos alocativos caso ela não use os insumos na proporção adequada, dados os preços relativos dos insumos, que minimiza os custos.

Abel (2000) ilustra uma suposição, observada através da Figura 3, para diferentes combinações de dois insumos, trabalho (L) e capital (K), requeridos para produzir uma dada quantidade de produto. O ponto A é tecnicamente ineficiente porque usa mais insumos que o necessário para produzir o nível de produto projetado pela isoquanta. O ponto B é tecnicamente eficiente, mas não é eficiente em termos de custos porque o mesmo nível de produto poderia ser produzido no ponto C com custos menores. Então, se uma organização move-se do ponto A para o ponto C, sua eficiência de custos aumentaria  $(OA-OA'')/OA$ . Isso consistiria numa melhora na eficiência técnica medida pela distância  $(OA-OA')/OA$  e uma melhoria na eficiência alocativa medida pela distância  $(OA'-OA'')/OA'$ .

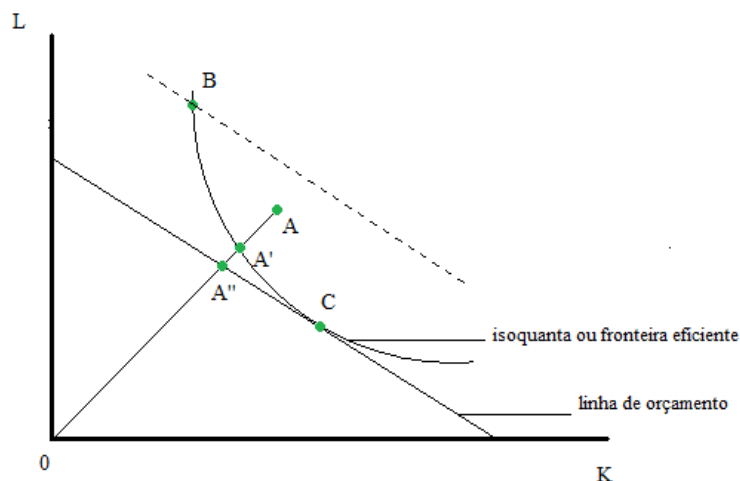


Figura 3 - Ilustração dos diferentes conceitos de eficiência  
 Fonte: Steering Committee for the Review of Commonwealth State Service Provision - SCRCSSP, (1997)

O produto da eficiência técnica e da eficiência alocativa chama-se eficiência de custos ou eficiência produtiva total. É também expressa como uma porcentagem. Uma organização somente obtém um escore de 100% na eficiência produtiva total, se ela obteve um escore de 100% em ambas as eficiências (técnica e alocativa).

### 3.1.2 A análise da eficiência

Um produtor, ao decidir o que, como e quanto produzir e assim dar início à produção de um bem ou serviço, reúne certos tipos de insumos e os combina de tal forma que resulte em um ou mais produtos. A combinação ótima destes insumos, de modo que gerem o máximo de produto é o que se convencionou chamar de eficiência e, um requisito fundamental para a sua análise é a caracterização do processo produtivo. Entende-se por processo produtivo certa combinação de insumos por unidade de produto, dada uma escala constante de produção.

Iniciada a produção, à medida que se obtém respostas do mercado consumidor, pode-se variar a quantidade utilizada de insumos, para com isso variar a quantidade do produto. Este tipo de ação, porém, está sujeito a algumas restrições de ordem econômica, financeira, e uma restrição de ordem técnica que é a Função de Produção, que é de onde se derivam os conceitos e medidas de eficiência.

### ***3.1.2.1 O conceito de função de produção***

Segundo da Silva Jr. (2008), o processo de produção de uma empresa pode ser explicado como a transformação de insumos em produtos sendo retratada matematicamente na função de produção da firma, que traduz as várias técnicas utilizadas no processo que transforma fatores de produção em bens e /ou serviços acabados / ofertados.

A maneira como se combinam os fatores de produção é denominada técnica de produção e uma função de produção pode reunir uma ou mais técnicas para obtenção de um mesmo produto. Simonsem (1968) conceitua a função de produção como sendo a relação que indica quanto se pode obter de um ou mais produtos a partir de uma dada quantidade de fatores, constituindo uma fronteira de um conjunto de possibilidades de produção. Segundo o autor, a Função de Produção pode então ser expressa da seguinte forma:

$$Q = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3.1)$$

Onde: Q = quantidade de produtos obtidos.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  = quantidade dos insumos ( $x_1$  = quantidade do insumo 1,  $x_2$  = quantidade do insumo 2,  $x_n$  = quantidade do insumo n).

f = técnicas de produção empregadas.



O conjunto de produtos que podem ser produzidos dados os insumos disponíveis constituem o conjunto de produção, onde a fronteira de produção indica a quantidade máxima que pode ser obtida e é descrita através da função de produção (BESANKO e BRAEUTGAM, 2002).

A Função de Produção para qualquer produto é uma equação, tabela ou gráfico mostrando a quantidade (máxima) do produto que pode ser produzido, na unidade de tempo, para cada conjunto de insumos alternativos, quando a melhor técnica de produção disponível é utilizada.

Segundo Moita (1995), a função de produção mostra o montante máximo de produção que pode ser produzido a partir de qualquer conjunto específico de recursos, dada a tecnologia específica. Assim, cortando esta superfície por um plano, tem-se uma curva denominada isoquanta.

Para Pindyck & Rubinfeld (2002), uma isoquanta é uma curva que representa todas as possíveis combinações de dois insumos, que resultam no mesmo volume de produção, especificando a medida cardinal de produção, onde a variação no resultado, decorrente da variação dos insumos utilizados, é denominada rendimentos de escala. Dependendo de se a variação proporcional do produto é igual, maior ou menor que a variação proporcional dos insumos, uma função de produção é classificada como de rendimentos constantes de escala, crescentes ou decrescentes, respectivamente.

Em 1957, Farrell propôs o conceito de "Função de Fronteira" na mensuração de eficiência entre firmas. Esta medida originou-se de uma Função de Produção e foi denominada de "Isoquanta de Fronteira", que daria então os limites da produtividade máxima que uma unidade de produção pode alcançar transformando insumos em produtos. A Figura 4, a seguir, mostra uma Isoquanta de Fronteira (X):

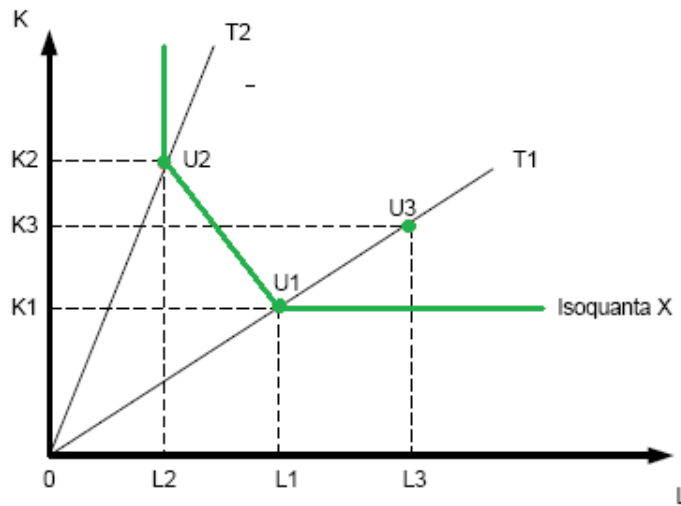


Figura 4 - Isoquanta de Fronteira  
Fonte: Adaptado de Nicolau (1983)

Os pontos U1, U2, U3 correspondem a três unidades produtivas que empregam dois insumos, capital (K) e trabalho (L), segundo técnicas de produção (T1 e T2).

A Isoquanta X é determinada através da combinação linear dos pontos extremos (U1 e U2), os quais representam as quantidades mínimas de insumos para obtenção de X. Os seguimentos da reta OU1 e OU2 fornecem então um padrão de Eficiência Técnica, respectivamente para as unidades que utilizam as técnicas T1 e T2.

As unidades relacionadas com os pontos U1 e U2 recebem um índice máximo de Eficiência Técnica, porque seus desempenhos são os melhores do conjunto das unidades.

A unidade relacionada ao ponto U3 tem um índice de Eficiência Técnica (I) relativamente inferior e é da por:

$$I(U3) = OU1/OU3 \quad (3.2)$$

Suas distâncias OU1 e OU3 podem ser expressas em função dos insumos utilizados para produzir X.

$$I(U3) = \sqrt{\frac{L_1^2 + K_1^2}{L_3^2 + K_3^2}} \quad (3.3)$$

### 3.1.2.2 *Mensuração da eficiência*

Há dois métodos que tratam a respeito da mensuração da eficiência na utilização de recursos. Estes métodos são conhecidos como econométrico ou de programação matemática.

O método econométrico é subdividido em modelos determinístico e estocástico. O modelo determinístico abrange todas as observações, identificando a distância entre a produção observada e a produção máxima, definida pela fronteira e pela tecnologia corrente, como ineficiência técnica. O modelo estocástico permite distinguir entre eficiência técnica e ruídos estatísticos.

No primeiro caso, segundo Moita (1995), uma função fronteira de produção é utilizada para caracterizar uma transformação eficiente de *inputs* para *outputs*.

Para Sengupta (1999), com este método, estima-se uma fronteira relativa ao máximo produto obtido, dado os insumos. Esta fronteira é estimada estatisticamente através de uma análise de regressão, e há necessidade de explicitar uma forma funcional teórica para os fatores. Porém, torna-se difícil encontrar uma forma funcional teórica em processos mais complexos, como em processos de múltiplos insumos e múltiplos produtos.

No segundo caso, de acordo com Moita (1995) a mesma fronteira define-se através de programação matemática, não requerendo a especificação de nenhuma função para descrever a fronteira eficiente. A flexibilidade de técnicas de programação matemática permite várias formulações alternativas. Sua principal desvantagem é a sua natureza determinística, isto é, não faz distinção entre ineficiência técnica e efeitos de ruídos estatísticos.

Uma medida de eficiência técnica multi-insumo foi deduzida por Farrell (1957) a partir da função de produção, ou do que se denominou de "isoquanta de fronteira". O autor tentou estimar uma isoquanta a partir de dados de insumos e produto utilizados por diversas organizações de um mesmo setor de atividades, haja vista que a verdadeira isoquanta era desconhecida.

Com esta medida, oposta ao modelo de produção funcional teórico, seria possível determinar a isoquanta a partir das organizações que utilizam as menores quantidades de insumos para a geração de certa quantidade de produto. Assim, este modelo empírico daria a Isoquanta de Fronteira, em relação a qual se calcula a Eficiência Técnica das organizações.

Para Bessent *et al.*(1988), a Fronteira de Eficiência relativa para o modelo de Farrell consiste dos valores observados de insumos e produtos, apresentados numa forma linear, podendo-se observar a Eficiência Técnica sob duas perspectivas: uma busca reduzir os insumos e a outra busca aumentar a produção. Na literatura são conhecidas como:

- Medida de Eficiência Técnica com orientação insumo; e
- Medida de Eficiência Técnica com orientação produto.

Farrell (1957) aplicou o modelo para verificar a eficiência agrícola dos Estados Unidos em relação a outros países. No entanto, não conseguiu mostrar uma maneira de resumir todos os vários insumos em uma única variável, porque não era possível atribuir preços a estes insumos. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) estenderam a idéia de Farrell e propuseram um modelo que generalizava a razão produto/insumo para o caso de organizações que utilizam múltiplos insumos e produzem múltiplos produtos e para os quais não era possível atribuir preços. Este modelo é denominado DEA (*Data Envelopment Analysis*) e, segundo Obersteiner (1999) foi descrito como sendo um modelo de programação matemática aplicado para observar informações que fornecem um novo meio de analisar dados empíricos das relações extremo tais como as funções de produção e/ou superfície de possibilidade de produção eficiente que são os alicerces da economia moderna.

De um modo geral, DEA constrói uma medida do tipo:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Soma ponderada dos produtos}}{\text{Soma ponderada dos insumos}} \quad (3.4)$$

Esta definição requer que um conjunto de pesos seja definido. Isso pode ser difícil, particularmente, se um conjunto de pesos comuns fosse buscado e aplicado por unidade organizacional. Em DEA este problema é resolvido argumentando que as unidades devem ter seu particular sistema de valor e, portanto devem legitimamente definir seu próprio conjunto de pesos.

Charnes *et al.* (1997) ressaltam a necessidade de se tratar esta abordagem como um conceito relativo, pois a eficiência de 100% é atingida por uma unidade quando comparações com outras unidades relevantes não provêm evidência de ineficiência no uso de qualquer *input* ou *output*. Segundo o autor, esta abordagem permite diferenciar, entre estados de produção, os vetores eficientes e os ineficientes.

O conjunto de unidades eficientes forma a fronteira de eficiência, que é definida como o nível máximo de produção para um dado nível de insumo. Esta fronteira de eficiência é determinada através da otimização de cada unidade, individualmente. A fronteira é tomada por todas as unidades consideradas eficientes em termos de Pareto.

Note-se que uma das principais características da fronteira é a convexidade. As DMU's ineficientes podem ser ortogonalmente projetadas na fronteira, como é possível observar na Figura 5, podendo-se então calcular a ineficiência relativa a cada uma delas, de acordo com a distância da unidade até a fronteira. Deste modo, quanto mais distante, mais ineficiente.

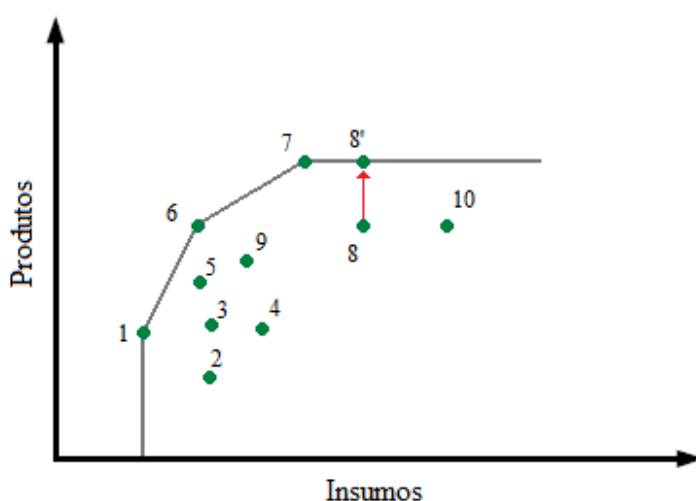


Figura 5 - Fronteira de eficiência  
Fonte: Adaptado de Freaza (2006).

### 3.1.3 A eficiência produtiva

Segundo dos Anjos (2005), mesmo utilizando tecnologias iguais, unidades produtivas podem apresentar diferenças de produtividade, o que pode vir a torná-las menos eficientes em relação a outras unidades produtivas. Assim, hipóteses sobre as causas da ineficiência e as suas diferenças podem ser elaboradas a partir das medidas da produtividade e da busca por seus condicionantes. De uma forma geral, o aumento e as diferenças na produtividade estão relacionados às mudanças de eficiência do processo produtivo (ou eficiência produtiva), as mudanças tecnológicas e as diferenças no ambiente econômico.

Na literatura o conceito de eficiência produtiva, derivado diretamente de uma função produção<sup>22</sup>, refere-se aos resultados positivos obtidos pelas unidades produtivas quando do consumo de insumos e é medida pela comparação entre os valores efetivos e os valores considerados ótimos na combinação dos insumos e produção obtida. A comparação pode ser entre a produção efetiva e a produção potencial, dado um volume de insumos ou entre montante mínimo de insumo potencial e o montante efetivo, dado um volume de produto. Os valores potenciais são considerados otimizadores e são definidos pelas possibilidades de produção (DOS ANJOS, 2005).

Para Silva e Azevedo (2004), a eficiência difere do conceito de produtividade pelo fato de expressar uma relação ótima entre recursos produzidos/insumos utilizados.

---

<sup>22</sup> Uma função produção representa uma restrição de ordem técnica, pois determina a relação da quantidade de fatores de produção a serem utilizados para obter um (ou mais) produto. A função é apresentada na forma de uma equação, tabela ou gráfico e permite visualizar uma fronteira de um conjunto de possibilidade de produção de uma ou várias organizações. Indica, em realidade, à quantidade máxima de um produto que pode ser produzida, dada a técnica, com uma quantidade alternativa de fatores de produção. Conforme o comportamento da produção a uma alteração da quantidade dos insumos a função de produção pode ser considerada como apresentado rendimentos constantes de escala (alteração do produto proporcional à alteração dos insumos), crescentes (alteração do produto superior à alteração dos insumos) e decrescentes (alteração do produto inferior a alteração dos insumos).

## **3.2 Produtividade**

### **3.2.1 O conceito de produtividade**

Em uma visão geral, a produtividade pode ser apresentada como indicador de um segmento produtivo ou de um país, e no domínio microeconômico a produtividade é utilizada como um indicador de desempenho de uma firma.

Dos Anjos (2005) considera a produtividade como sendo um indicador que avalia o rendimento dos recursos utilizados em uma produção, relacionando a quantidade produzida à quantidade dos fatores de produção alocados no processo produtivo. Assim, a produtividade de uma unidade de produção pode ser entendida como sendo a razão entre o valor ou quantidade de seus produtos e o valor ou quantidade de seus insumos. Nesse sentido, vincula-se a eficiência econômica e, conseqüentemente, refere-se à competitividade das empresas. Enquanto medida de eficiência, a produtividade se relaciona ao processo de produção de uma empresa.

A produtividade da mão-de-obra é o mais utilizado indicador parcial do rendimento dos fatores usados na produção, porém, a Produtividade Total dos Fatores (PTF)<sup>23</sup> que leva em conta o uso não só de mão-de-obra, mas também de matérias-primas e serviços de capital é uma medida mais completa da eficiência com que são utilizados os recursos compondo a classe das medidas de multifator. Assim, é possível que em resposta a uma elevação no preço relativo de um fator, este seja substituído por outros. Em termos de uma isoquanta unitária, alterações no preço relativo de um dado insumo são vistas como mudanças na inclinação da linha de preços e, portanto, mudanças no ponto de utilização eficiente de cada insumo, implicando maior uso

---

<sup>23</sup> A PTF pode ser estimada a partir do Valor Agregado (VA), do Valor Bruto da Produção (VBP) ou de outra medida representativa da produção. Quando se usa o VA, são considerados geralmente dois fatores primários de produção — trabalho e capital. Quando se usa o VBP, deve-se incluir pelo menos as matérias-primas como fator de produção.

daquele cujo preço relativo diminuiu. Assim, menor uso de um fator, por unidade de produto, pode estar ocultando aumento de outros (BONELLI e FONSECA, 1998).

De uma forma geral a produtividade pode ser definida como a relação de insumos para obter produtos ou serviços, sendo considerado o índice mais confiável quando se busca medir a eficiência na utilização dos recursos de uma empresa. O aumento da produtividade nada mais é do que o melhor uso dos recursos de uma economia para o crescimento da produção, sendo não apenas a única forma de elevar o padrão de vida das sociedades, mas, também, uma das únicas maneiras de melhorar a competitividade internacional de um determinado país no longo prazo (BONELLI, 1995; IM, 1999).

A produtividade da indústria é a mais relevante para a economia, pois é a principal geradora de progresso técnico. Uma vez que, a produtividade de setores terciários e primários é dependente da evolução do progresso técnico e da produtividade da indústria, o crescimento da produtividade industrial apresenta uma importância significativamente maior para o crescimento da produtividade agregada da economia do que o crescimento da produtividade de outros setores produtivos (FEIJÓ e CARVALHO, 2000).

Segundo Bonelli e Fonseca (1998), existem diversas formas de calcular a PTF, sendo mais comum o método da Função de Produção, que defende a existência de uma relação física entre um determinado nível de produção e a utilização de insumos necessários, mostrando a razão segundo a qual cada recurso ou insumo é transformado em produto. A forma funcional mostra o nível de produto alcançável para cada combinação de insumos. Para proceder à escolha de uma forma funcional para a função de produção alguns fatores devem ser ainda observados, especialmente a característica dos retornos (constantes, crescentes ou decrescentes) dos fatores variáveis.

Na teoria neoclássica, a discussão da produtividade foi realizada principalmente por Alfred Marshall (1842-1924).



### 3.2.2 A concepção neoclássica sobre produtividade

De acordo com Gomes *et al.*(2003), o modelo neoclássico de crescimento supõe que existe uma fronteira tecnológica que evolui a uma taxa constante. O progresso tecnológico eleva a produtividade do trabalhador e faz com que a rentabilidade do capital cresça, ensejando um processo de acumulação de capital.

A teoria da procura, desenvolvida por Alfred Marshall a partir da noção de utilidade marginal decrescente, foi a base para o desenvolvimento da teoria do comportamento da firma. Segundo Hunt (1981), a maximização da utilidade para Marshall como objetivo perseguido pelo consumidor, era obtida devido à possibilidade da substituição de qualquer mercadoria por outras. A maximização da utilidade, considerada como qualitativamente homogênea, poderia ser obtida com o uso de diversas mercadorias e, assim, as únicas considerações que o consumidor deveria realizar seriam em relação às quantidades de suas utilidades marginais produzidas pelas mercadorias e seus custos (MARSHALL, 1982).

Na teoria da firma o principal objetivo era a maximização do lucro e, para tanto, os produtores deveriam maximizar a diferença entre a renda obtida com a venda das mercadorias e os custos monetários dos fatores de produção. Assim, como o consumidor substituíria mercadorias mais caras por outras, Marshall (1982) afirmava que os empresários, visando atender a seus objetivos, reduziam os custos de produção substituindo um fator de produção caro por outro abundante, portanto, mais barato.

Similar a "lei de utilidade marginal decrescente", Marshall (1982) formulou a lei dos rendimentos decrescentes cujo enunciado pode ser resumido na seguinte argumentação: quando a firma aumenta a quantidade de um fator de produção em relação a outro, o acréscimo marginal da produção, a partir de certo ponto, começaria a reduzir havendo, conseqüentemente, uma tendência a retornos decrescentes do uso do fator adicionado à produção. Dessa forma, a possibilidade de substituição dos fatores de produção transformou-se em outra ferramenta da firma em sua busca da maximização dos lucros, bem como no alicerce básico da teoria neoclássica da distribuição de renda.

Sraffa (1926) foi o primeiro a questionar a noção de rendimentos decrescentes, pela sua incompatibilidade com economias de escala, além de criticar também a suposição de que a firma pode vender a quantidade que quiser ao preço de mercado.

Segundo Tigre (2005), a empresa, na avaliação marshalliana, não apresentava qualquer diferencial quando comparado a seus concorrentes e seus custos de produção refletiam os custos médios das firmas integrantes da indústria. Em relação à disponibilidade dos fatores de produção, as instalações são consideradas fixas no curto prazo e a expansão só pode ocorrer com a contratação de mão-de-obra, por hipótese o único fator variável.

Contudo, o acréscimo de novos trabalhadores ao processo de produção, a partir de certo ponto, tenderia a reduzir a produtividade média. A tendência a rendimentos decrescentes do fator de produção variável determinaria, a princípio, a redução do custo variável médio para, a seguir, com a contratação de mais trabalhadores, ocorrer o aumento do custo variável médio, como resultado da queda da produtividade média do trabalho. O custo marginal, ou seja, o custo de produção de mais uma unidade de produção, a princípio reduziria pelo aumento da produtividade do trabalho, contudo quando esta começasse a decrescer o custo marginal tenderia a aumentar (TIGRE, 2005).

A maximização dos lucros no curto prazo é obtida no nível de produção em que o preço for igual ao custo marginal: abaixo deste nível o aumento da produção elevará os lucros e acima deste nível o custo da produção adicional será maior que o preço obtido pela produção.

No longo prazo, todos os fatores de produção seriam variáveis, podendo se alterar as combinações dos fatores, a escala ou nível de produção. Para Marshall (1982), a grande empresa teria uma eficiência crescente advinda do que das "economias internas de escala" e das "economias externas". As economias internas de escala originavam-se da melhor organização da firma, pois o aumento do capital e do trabalho ao levarem a melhor organização da produção ampliava a eficiência dos recursos. Por sua vez, as economias externas resultavam das decisões de produção e de preços de outras empresas.

As diferentes combinações dos fatores de produção que geram o mesmo produto são denominadas de isoquantas ou funções de produção. Implícito ao conceito de isoquanta está à consideração da existência de alternativas tecnológicas eficientes, ou seja, de a possibilidade de se obter o mesmo produto com diferentes combinações de fatores de produção através de substituição de mão-de-obra e capital e vice-versa que minimizam custo.

A análise da maximização da firma, partindo do custo dos fatores de produção, tornou-se fundamental na análise neoclássica da teoria da produtividade marginal.

Normalmente, o índice de produtividade total está relacionado com o progresso tecnológico, porém, vale ressaltar que economias de escala também podem estar explicando o aumento da produtividade total dos fatores, na medida em que implicará redução de custos de fatores, dada uma quantidade de produto, levando também ao aumento da produtividade total dos fatores. Assim, a interferência de fatores como economias e deseconomias de escala podem interferir na mensuração do progresso tecnológico que refletirá nos índices de produtividade, podendo levar a uma superestimação ou subestimação do coeficiente de progresso técnico (SILVA e CARMO, 1986; GASQUES e CONCEIÇÃO, 1997).

### **3.2.3 Os rendimentos de escala**

Marshall (1982) contribui para com a teoria dos rendimentos de escala dividindo as economias que se derivam de um aumento da escala de produção em duas classes: economias externas, correspondendo àquelas que dependem do desenvolvimento geral da indústria, onde se destacam a própria população, a riqueza social e a aglomeração das indústrias em determinadas localidades; e economias internas, correspondendo àquelas que dependem dos recursos das empresas que a ela se dedicam individualmente, da organização e eficiência da administração das mesmas, originando-se, principalmente, da ampliação da divisão do trabalho, da

mecanização crescente do processo produtivo; da economia de mão-de-obra, de máquinas e de insumos; da concentração da alta direção da empresa nas questões mais relevantes ao sucesso do empreendimento entre outros.

Woiler e Mathias (1996) compartilham da afirmação de que as economias de escala podem aparecer em virtude de: i) maior divisão e especialização do trabalho e menor custo unitário na aquisição e transporte de matéria-prima ou outros insumos que são feitos em grandes quantidades ou volume, dado o melhor acesso ao mercado de capital das grandes empresas; ii) do uso de tecnologia mais avançada, sobretudo no processo produtivo e obtenção de melhor utilização de equipamentos indivisíveis e, iii) menores perdas, maior padronização, melhor uso dos subprodutos.

Marshall (1982) apresenta os diferentes tipos de rendimentos de escala:

- Rendimentos crescentes por escala: onde a produção, em unidades, cresce mais que o dobro quando se dobram todos os insumos, ou seja, o nível de produção aumenta relativamente ao insumo; logo, o custo variável e o custo total caem relativamente à produção;
- Rendimentos decrescentes de escala: representando a situação em que a produção aumenta em menos do que o dobro quando se dobram todos os insumos, ou seja, o nível de produção diminui relativamente aos gastos com insumos; logo, o custo total aumenta relativamente à produção; e
- Rendimentos constantes de escala: onde a produção dobra quando os insumos ou produção são obtidos por aumento proporcional de trabalho e de sacrifício. Neste caso, ocorre uma compensação, onde as ações das leis do rendimento crescente e do rendimento decrescente se equilibram.

Por sua vez Cruz *et al.* (2004) consideram que a existência de economia de escala acontece quando o custo total de uma firma em produzir um determinado produto ou serviço é menor do que o somatório do custo total de duas ou mais firmas em produzirem este mesmo produto ou serviço. Similarmente, pode-se dizer que economia de escala numa empresa ocorre quando os custos unitários caem com o aumento do nível de atividade da firma.

A determinação da existência da relação entre escala e custos passa, antes de tudo, pelo entendimento de que as empresas privadas buscam a maximização de seus

lucros, sendo a busca da eficiência econômica um objetivo implícito. Esta eficiência é definida como a obtenção de determinada quantidade de produto ao menor custo possível, dado um nível de produção ou um máximo da quantidade do produto com determinado custo dos fatores de produção. Assim, determinar se há relação entre escala e custos nada mais é do que analisar o comportamento dos custos a partir de uma dada estrutura ou fatores produtivos, pois a existência da economia de escala pressupõe a otimização da capacidade produtiva, fazendo com que haja uma redução do custo unitário de produção e ao mesmo tempo uma evolução da capacidade produtiva ou aumento da estrutura de produção.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Aspectos gerais da Análise Envoltória de Dados

A análise envoltória de dados (DEA) é um modelo não paramétrico no sentido de que, *a priori*, uma função de produção não é necessária para especificar como devem ser tratados os dados observados.

Segundo Bowlin (1999), DEA é, em uma perspectiva mais ampla, uma generalização das medidas de Farrell, criadas em 1957, para situações em que unidades de produção utilizam múltiplos insumos e produtos. A metodologia DEA foi desenvolvida e introduzida na literatura, na sua atual forma, em 1978, por Charnes Cooper e Rhodes, sendo originalmente projetada para uso como uma ferramenta para estimar a eficiência relativa de organizações sem fins lucrativos.

De acordo com Anjos (2005), a análise envoltória de dados se resume em uma série de modelos e técnicas de construção de fronteiras de produção e medidas de eficiência que não necessitam de uma função prévia e nem da definição de pesos para insumos e produtos. O modelo permite a conversão de várias entradas e saídas em uma única medida de eficiência, possibilitando verificar quais unidades são eficientes e quais são ineficientes. Assim, a técnica permite medir diferenças de desempenho de unidades que possuem os mesmos insumos e produtos. As unidades de tomadas de decisão são chamadas de Unidades Tomadoras de Decisões (*Decision Making Units - DMUs*) e cada DMU pode ser representada por um conjunto produtos (*outputs*) e um conjunto de insumos (*inputs*).

Segundo Gonçalves e Lins (2000), com a formulação de modelos de programação matemática linear constrói-se uma fronteira de eficiência a partir de

dados de entrada (inputs) e de saída (outputs), considerando eficientes as DMUs que se localizarem nesta fronteira alcançando assim, índice de eficiência de 100%, e serão ineficientes as DMUs fora desta fronteira, tendo seus índices de eficiência (ou de ineficiência) abaixo de 100% dependendo da distância que estiverem desta fronteira.

A definição de eficiência utilizada na metodologia DEA é denominada por Cooper *et al.*(2000), como Eficiência Pareto-koopmans, em que uma organização é completamente eficiente se, e somente se, não é possível aumentar nenhum insumo ou produto sem diminuir algum outro insumo ou produto.

Conforme referem Golany *et al.* (*apud* NIEDERAUER, (2002)), para que se possa aplicar a metodologia DEA é necessário que algumas condições sejam satisfeitas:

- as organizações que estão sob análise devem ser homogêneas, isto é, realizar as mesmas tarefas e possuírem objetivos semelhantes;
- as organizações devem atuar sob as mesmas condições de mercado; e
- as variáveis (insumos e produtos) devem ser as mesmas, apresentando variações apenas quanto à intensidade ou magnitude.
- Segundo Charnes *et al.*(1996), o DEA possui características positivas, que tornam a metodologia útil para a mensuração da eficiência técnica:
- opera com múltiplos insumos e produtos;
- não é necessário estipular forma funcional;
- gera um único escore de desempenho relativo às outras unidades;
- diferencia as unidades eficientes das ineficientes;
- define os recursos e calcula o nível de ineficiência das unidades ineficientes; e
- consegue detectar deficiências específicas, que não podem ser detectadas por outras técnicas.

Para Dyson *et al* (*apud* NIEDERAUER, (2002)), embora a metodologia DEA apresente muitas características positivas, como em qualquer técnica empírica, existem algumas limitações que devem ser consideradas:

- Por ser uma técnica de ponto extremo, a análise é sensível a ruídos, tais como erros de medição ou valores extremos;

- à medida que cresce o número de variáveis, aumenta também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo;
- sendo DEA uma técnica não-paramétrica, torna-se difícil formular hipóteses estatísticas; e
- DEA estima o desempenho relativo, mas converge muito vagarosamente para o desempenho absoluto porque está baseado em dados observados e não no ótimo ou no desejável.

#### **4.1.1 Etapas de aplicação do modelo DEA**

Para a aplicação da Análise Envoltória de Dados é necessário a realização de três etapas que compreendem:

- Seleção das DMUs a entrarem na análise;
- Seleção das variáveis (insumos e produtos) que são relevantes e apropriadas para estabelecer a eficiência relativa das DMUs selecionadas; e
- Identificação e aplicação dos modelos

A seguir será feita uma análise dessas etapas.

#### **4.1.2 Seleção das DMUs**

Conforme afirma Lins e Meza (2000), nesta primeira fase, as DMUs que serão analisadas devem ser homogêneas, ou seja, devem realizar as mesmas tarefas e procurar atingir os mesmos objetivos, diferenciando-se apenas em relação à intensidade ou magnitude.



Em seguida, deverá ser indicado o número de DMUs a serem utilizadas nos modelos. Para Lins e Meza (2000), o número de DMUs deve ser no mínimo, o dobro do número de variáveis (insumos e produtos) utilizadas no modelo.

#### **4.1.3 Seleção das variáveis**

A seleção das variáveis é dividida em recursos utilizados por uma DMU para elaborar os seus produtos (insumos) e resultados de bens e serviços produzidos por uma DMU (produtos).

Lins e Meza (2000), afirmam que a introdução de um grande número de variáveis resulta em uma maior explicação das diferenças entre as DMUs, mas por outro lado, fará com que um número maior de DMUs esteja na fronteira de eficiência. O incremento de muitas variáveis reduz a capacidade do DEA de discriminar as DMUs eficientes das ineficientes. Portanto o modelo deve ser mantido o mais compacto possível para maximizar o poder de discriminação do DEA.

#### **4.1.4 Identificação e aplicação dos modelos**

A escolha sobre qual o melhor modelo a ser aplicado dependerá dos dados disponíveis e da sensibilidade do tomador de decisões, que deverá ser capaz de escolher aquele modelo que traduza a realidade dos dados em termos de insumos e produtos.

Para definir o modelo a ser usado deve-se compreender a tecnologia utilizada pela DMU, ou seja, como a DMU transforma seus insumos em produto, determinando assim um modelo que melhor represente a tecnologia de produção das DMUs através de algumas opções quanto a sua orientação e ao tipo de retorno de escala.

## 4.2 Orientação dos modelos DEA

Para Pereira (2002), através de um modelo matemático, os escores de eficiência do DEA são calculados com base na projeção das unidades ineficientes na fronteira, levando em consideração que existem dois modelos clássicos de projeção:

- Orientação insumo: modelo orientado para a redução máxima do nível de insumos mantendo a mesma quantidade de produtos;
- Orientação produto: modelo orientado para elevação do produto mantendo o mesmo nível de insumos.

A diferença gráfica entre esses dois modelos de orientação das variáveis pode ser observada na Figura 6 abaixo.

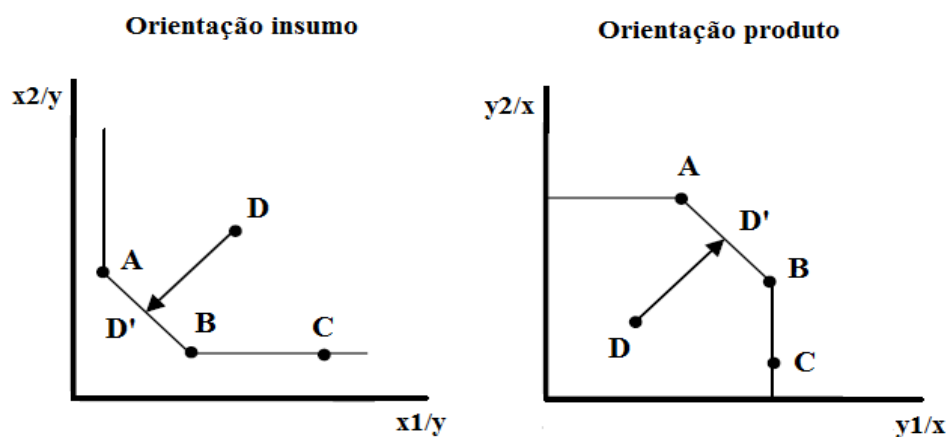


Figura 6 - Orientação dos Modelos DEA  
Fonte: Brunetta (2004)

Em ambos os gráficos observa-se quatro unidades tomadoras de decisão. Destas, A, B e C encontram-se na isoquanta, porém somente A e B são eficientes. No modelo com orientação insumo, para D ser eficiente tecnicamente deve reduzir o nível dos insumos  $x_1$  e  $x_2$  até D' e C deve reduzir o nível do insumo  $x_1$  até o nível de consumo de B. No modelo com orientação produto, para D ser eficiente tecnicamente

deve aumentar o nível dos produtos  $y_1$  e  $y_2$  até  $D'$  e C deve aumentar o nível do produto  $y_2$  até atingir o nível de produção de B.

### 4.3 Retornos de escala

Conforme Charnes *et al.* (1994), são várias as formulações dos modelos de DEA encontradas na literatura, entretanto dois modelos básicos DEA são geralmente usados nas aplicações. O primeiro chamado de CCR (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978), também conhecido como modelo CRS (*constant returns of scale*) ou RCE (retornos constantes de escala), avalia a eficiência total, identifica as DMU's eficientes e ineficientes e determina a que distância da fronteira de eficiência estão as unidades ineficientes. O segundo chamado de modelo BCC (BANKER, CHARNES e COOPER, 1984), também conhecido como VRS (Variable Returns to Scale) ou RVE (retornos variáveis de escala), utiliza uma formulação que permite a projeção de cada DMU ineficiente sobre a superfície de fronteira (envoltória) determinada pelas DMU's eficientes de tamanho compatível.

#### 4.3.1 Modelo com retornos constantes de escala (CCR ou RCE)

No modelo com retornos constantes (CCR), apresentado originalmente por Charnes *et al.* (1978), qualquer variação nos insumo produz variação proporcional nos produtos.

Neste modelo a eficiência é determinada pela divisão entre a soma ponderada dos produtos (*output* virtual) e a soma ponderada dos insumos (*input* virtual), generalizando assim, a definição de eficiência proposta por Farrell.

Para definir a eficiência da DMUo, Charnes *et al.* (1978) apresentou o seguinte modelo de retornos constantes com orientação insumo:

$$\begin{aligned}
 \theta_o^* &= \min \theta \\
 \text{s. a.} \quad \theta_o x_{ok} &\leq \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{ij} \quad i = 1, \dots, n \\
 \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{jk} &\leq y_{ok} \quad k \\
 &= 1, \dots, m \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad j = 1, \dots, J
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Alternativamente, pode-se desenvolver um modelo orientado a produtos, que maximiza as saídas mantendo inalteradas as entradas. Neste modelo, as variáveis de decisão são as mesmas do modelo orientado a insumos. A equação (4.2) mostra o modelo CCR orientado a produtos na forma linearizada.

$$\begin{aligned}
 \theta_o^* &= \max \theta \\
 \text{s. a.} \quad \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{ji} &\leq x_{oi} \quad i = 1, \dots, n \\
 \theta_o y_{ok} &\leq \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{jk} \quad k \\
 &= 1, \dots, m \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad j = 1, \dots, J
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Na figura 7 observa-se a superfície envoltória dos dados considerando uma tecnologia de produção com retornos constantes de escala (CRS) e orientação produto. Nesta figura encontram-se quatro DMUs (A, B, C e D), as quais consomem uma quantidade  $x$  de insumos e produzem uma quantidade  $y$  de produtos.

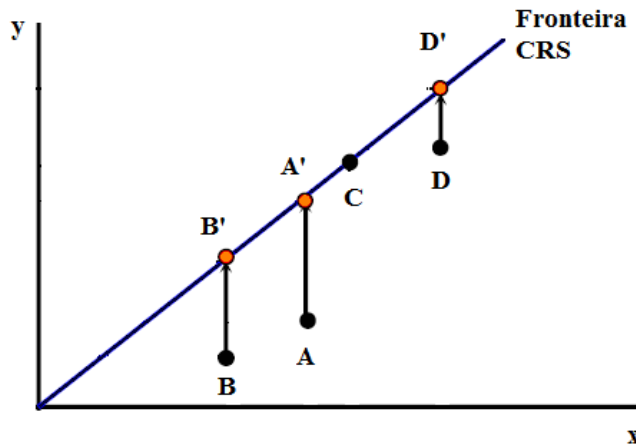


Figura 7 - Exemplo de aplicação do Modelo CCR com orientação produto  
Fonte: Brunetta (2004)

Destas quatro DMUs, a única eficiente, segundo esta tecnologia de produção é a DMU C, a qual está sobre a fronteira de eficiência. As demais DMUs, A, B, e D são ineficientes e para se tornarem eficientes terão que aumentar a produção mantendo a quantidade de insumo até alcançarem a fronteira eficiente nos pontos A', B' e D'.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), o uso de retornos constantes de escala, quando nem todas as DMUs estão operando na escala ótima, resulta em medidas de eficiência técnica influenciadas pelas medidas de eficiência de escala. Assim, foram propostos modelos complementares ou extensões dos modelos básicos (CCR), como a abordagem por retornos variáveis de escala ou modelo BCC, que generaliza o modelo CCR e permite a medição da eficiência técnica sem a interferência da eficiência de escala, considerando tecnologias com rendimentos de escala constantes, crescentes e decrescentes.

#### 4.3.2 Modelo com retornos variáveis de escala (BCC ou RVE)

O modelo BCC, formulado por Banker *et al.* (1984), considera retornos variáveis de escala, substituindo o axioma de proporcionalidade entre insumos e produtos pelo axioma de convexidade. Assim, o modelo permite que DMUs que operam com baixos valores de insumos possam ter retornos crescentes de escala, bem como as que operam com altos valores de insumos possam ter retornos decrescentes de escala.

Banker *et al.* (1984) apresentou o seguinte modelo de programação linear para definir a eficiência da DMUo:

$$\begin{aligned} \theta_o^* &= \max \theta \\ \text{s. a.} \quad & \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{ji} \leq x_{oi} \quad i = 1, \dots, n \\ & \theta_o y_{ok} \leq \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{jk} \quad k = 1, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^J \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, J \end{aligned} \tag{4.3}$$

Na figura 8 observa-se a superfície envoltória de dados considerando uma tecnologia de produção com retorno variável de escala (VRS) e orientação produto. Nesta figura as quatro DMUs (A, B, C e D) consomem uma quantidade x de insumos e produzem uma quantidade y de produtos.

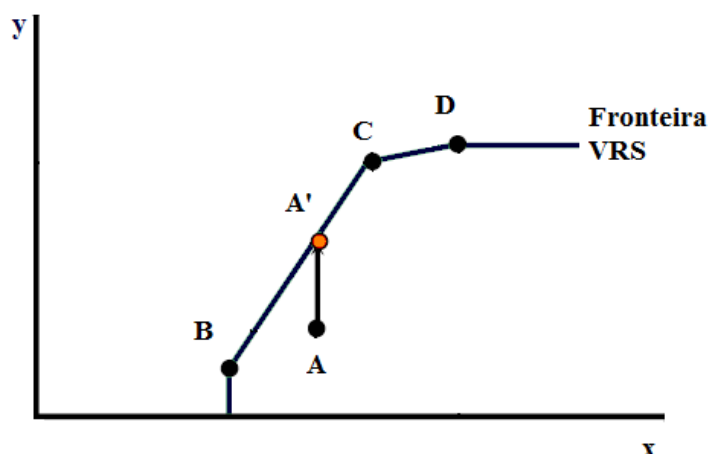


Figura 8 - Exemplo de aplicação do Modelo BCC com orientação produto  
Fonte: Brunetta (2004)

Neste caso, das quatro DMUs, a única ineficiente, segundo esta tecnologia de produção é a DMU A, a qual não está sobre a fronteira de eficiência. Para A se tornar eficiente, mantendo a quantidade de insumo, deverá aumentar a quantidade produzida de  $y$  até atingir a fronteira de eficiência em  $A'$ . As demais DMUs são eficientes por pertencerem à fronteira de eficiência.

Na prática, um aumento equiproporcional de insumos pode gerar um aumento do produto proporcionalmente menor. Neste caso, a DMU estaria em região de retornos decrescentes de escala. Por outro lado, se o aumento do produto for proporcionalmente maior, a DMU está em uma região de retornos crescentes de escala. Caso o aumento no produto seja proporcionalmente igual ao aumento dos insumos, a situação é de retornos constantes de escala.

A diferença entre os modelos CCR e BCC é que o modelo BCC possui uma restrição adicional de convexidade da fronteira eficiente. Assim, segundo Ferreira e Gomes (2009), os valores obtidos para a eficiência técnica considerando rendimentos variáveis de escala serão maiores do que aqueles obtidos através de rendimentos constantes de escala, uma vez que a medida de eficiência técnica no modelo CCR é composta pela medida de eficiência com rendimentos variáveis (também chamada de pura eficiência técnica) e pela medida de escala.

#### 4.4 Análise de janela

A fim de capturar a variação da eficiência através do tempo, Charnes *et al.* (1985) propôs uma técnica nomeada “análise de janela” na análise envoltória de dados. A análise de janela avalia o desempenho de uma DMU no decorrer do período, considerando esta como uma entidade diferente em cada período de tempo. Este tratamento permite a comparação de uma eficiência de DMU em um determinado período com o seu comportamento em outros períodos. Segundo Yang e Chang (2009), este tratamento permite a comparação da eficiência de uma DMU em um determinado período com o seu comportamento em outros períodos. Isto aumenta o número de DMUs de modo que o poder de discriminação pode ser aumentado quando um número limitado de DMU está disponível. Avkiran, (2004) ainda acrescenta que se uma DMU for considerada eficiente em um ano, independente da janela na qual é colocado, é susceptível de ser fortemente considerada eficiente em comparação com seus pares.

Quanto à seleção do tamanho da janela, Asmild *et al.* (2004), apontou que deveria ser o menor possível para minimizar a comparação ao longo do tempo, mas ainda grande o bastante para ter um tamanho de amostra suficiente.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), o tamanho das janelas utilizadas em uma análise é dado por:

$$w = \frac{p + 1}{2} \quad (4.4)$$

Onde:  $w$  = tamanho da janela; e

$p$  = número de períodos

Seguindo Asmild *et al.* (2004), considera-se  $N$  DMUs ( $n = 1, \dots, N$ ) que utilizam  $r$  insumos para produzir  $s$  produtos e que são observadas em  $T$  ( $t = 1, \dots, T$ ) períodos.



Supondo que a  $DMU_n^t$  representa uma observação  $n$  no período  $t$  com um vetor de

insumos  $X_n^t = \begin{bmatrix} x_n^{1t} \\ \vdots \\ x_n^{rt} \end{bmatrix}$  e um vetor de produto  $Y_n^t = \begin{bmatrix} y_n^{1t} \\ \vdots \\ y_n^{st} \end{bmatrix}$ .

Se a janela inicia no período  $k$  ( $1 \leq k \leq T$ ) com o tamanho da janela  $w$  ( $1 \leq w \leq T-k$ ), então as matrizes de insumos e produtos são denotadas como a seguir:

$$X_{kw} = \begin{bmatrix} x_1^k & x_2^k & \cdots & x_N^k \\ x_1^{k+1} & x_2^{k+1} & \cdots & x_N^{k+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{k+w} & x_2^{k+w} & \cdots & x_N^{k+w} \end{bmatrix}, \quad Y_{kw} = \begin{bmatrix} y_1^k & y_2^k & \cdots & y_N^k \\ y_1^{k+1} & y_2^{k+1} & \cdots & y_N^{k+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_1^{k+w} & y_2^{k+w} & \cdots & y_N^{k+w} \end{bmatrix}$$

Substituindo insumos e produtos da  $DMU_n^t$  nos modelos CCR e BCC, obtêm-se os resultados da análise de janela do DEA.

#### 4.5 O Índice de Malmquist

Os modelos DEA focalizam os índices de eficiência em um único período de tempo, nos quais os planos de produção das DMU's são realizados. A avaliação de eficiência técnica considerando múltiplos períodos pode ser estabelecida através de modelos DEA utilizando o Índice de Malmquist.

Segundo Tatjé *et al.*(1993), o Índice de Malmquist, desenvolvido a partir da idéia inicial de Malmquist, além de medir a produtividade das empresas, possibilita conhecer a natureza das alterações nos índices de produtividade, decompondo-as em duas componentes: variação da eficiência técnica sem inovação tecnológica e melhoria na eficiência devida à inovação tecnológica.

Assim, é possível identificar se um aumento na produtividade é fruto do progresso tecnológico ou da melhoria na eficiência técnica, ou ainda, dos dois fatores simultaneamente.

A estimação do índice de *Malmquist* pelo uso da análise envoltória de dados, segundo Färe *et al.*(1994), permite decompor a mudança na produtividade total dos fatores em dois componentes: mudanças na eficiência e mudanças na tecnologia.

De acordo com Färe *et al.* (1994), o índice de *Malmquist* (orientação produto), para analisar mudanças na produtividade total dos fatores entre um período-base  $s$  e um período  $t$ , é representado por:

$$m_o(y_s, x_s, y_t, x_t) = \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \left[ \frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

Um valor de  $m_o$  maior que 1 (um) indica crescimento na produtividade total dos fatores, do período  $s$  para o período  $t$ , enquanto um valor menor que 1 (um) indica queda na produtividade total dos fatores. Esse índice pode ser decomposto em:

$$\text{Mudança na eficiência} = \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \quad (4.6)$$

$$\text{Mudança na tecnologia} = \left[ \frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (4.7)$$

Essa possibilidade de desmembramento do índice de *Malmquist* é muito importante, pois permite entender a origem das alterações na produtividade, ou seja, se um aumento de produtividade é fruto de mudança técnica ou mudança da eficiência, ou das duas simultaneamente.

#### 4.5.1 O índice de Malmquist e a função distância

De acordo com Färe *et al.* (1994), o índice de *Malmquist* foi inicialmente proposto por Malmquist (1953) na análise do “comportamento” do consumidor. Entretanto, foram Caves *et al.* (1982) que introduziram o conceito de índice de *Malmquist* na análise da produção, ao utilizarem a função distância. A função distância pode ser definida com orientação insumo ou orientação produto.

A tecnologia de produção, para um dado período  $t$ , pode ser definida pelo conjunto de possibilidade de produção  $P(x)$ , que representa o conjunto de todos os vetores de produto  $y$  – que pode ser produzido pelo vetor de insumo  $x$ , isto é:

$$P(x) = \{y: x \text{ pode produzir } y\}, \quad (4.8)$$

que satisfaz às propriedades microeconômicas usuais, além de ser um conjunto fechado, limitado e convexo. De acordo com Shephard (1970), a função de distância com orientação produto, aqui denominada por  $d_o(x,y)$ , pode ser definida pelo conjunto de produtos  $P(x)$ , como:

$$d_o(x,y) = \min\{f : (y/f) \in P(x)\}, \quad (4.9)$$

em que  $f$ , na expressão (4.6), é um fator mínimo, pelo qual o produto pode ser contraído e, ainda assim, pertencer ao conjunto de possibilidades de produção. A função distância  $d_o(x,y)$  assumirá valores menores ou iguais a 1, se o vetor de produto  $y$  for um elemento do conjunto de produção factível,  $P(x)$  e valor igual a 1, se  $(x,y)$  estiver localizada sobre a fronteira do conjunto de produção factível. Neste caso, a produção é dita tecnicamente eficiente. A função distância assumirá valores maiores que 1 no caso de o vetor de produto  $y$  não ser um elemento do conjunto de possibilidade de produção  $P(x)$ .

Segundo Ferreira e Gomes (2009), é necessário estimar quatro funções distância para calcular o índice de Malmquist:

$$d_o^s(x_s, y_s) = \min\{f : (y_s/f) \in P(x_s)\}, \quad (4.10)$$

$$d_o^t(x_t, y_t) = \min\{f : (y_t/f) \in P(x_t)\}, \quad (4.11)$$

$$d_o^s(x_t, y_t) = \min\{f : (y_t/f) \in P(x_s)\}, \quad (4.12)$$

$$d_o^t(x_s, y_s) = \min\{f : (y_s/f) \in P(x_t)\}, \quad (4.13)$$

A primeira equação indica o uso dos dados do período  $s$  com a tecnologia existente no período  $s$ . A segunda equação indica o uso dos dados do período  $t$  com a

tecnologia existente no período  $t$ . A terceira função distância utiliza dados do período  $t$  com a tecnologia existente no período  $s$ . E a última função utiliza dados do período  $s$  e tecnologia do período  $t$ .

De acordo com Ferreira e Gomes (2009), os avanços na produtividade de uma DMU podem ser resultados de inovações tecnológicas, ocorrendo um deslocamento da fronteira (*frontier shift*) resultante de introdução de tecnologias mais avançadas, ou seja, tecnologias que produzem um produto melhor com menor utilização de insumos. Segundo esses autores, é possível identificar as unidades que estão contribuindo para o efeito *frontier shift*, isto é, para mudanças no progresso tecnológico desde que ocorram as seguintes condições:

$$\left[ \frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right] > 1 \quad (4.14)$$

$$d_o^s(x_t, y_t) > 1 \quad (4.15)$$

$$d_o^s(x_t, y_t) = 1 \quad (4.16)$$

A primeira condição, representada pela equação (4.14), indica a presença de progresso tecnológico. A segunda equação (4.15) indica que, se o produto de uma unidade de produção no período  $t$  for superior ao máximo produto potencial que poderia ser obtido no período  $s$ , utilizando-se as mesmas quantidades de fatores de produção do período  $t$ , haverá progresso tecnológico e a unidade de produção poderá estar descolando a fronteira. A terceira condição, na equação (4.16), indica que, se houver deslocamento da fronteira, as unidades de produção que o fazem deverão estar situadas sobre ela.

## 4.6 Fontes de dados

Os dados utilizados para a criação dos modelos DEA são provenientes das informações obtidas no Portal Exame e nos Anuários Estatísticos da ANFAVEA.

O grau de eficiência de cada montadora foi determinado pelo método de análise de envoltória de dados (Data Envelopment Analysis – DEA). Neste método, as montadoras são consideradas unidades de tomada de decisão (Decision Making Units – DMUs) que são avaliadas por suas eficiências relativas às unidades identificadas como eficientes e que compõem a fronteira tecnológica.

Para este estudo, foram coletados dados do ano de 2004 a 2008 para 10 montadoras de veículos automotivos: Fiat Automóveis S.A., Ford Motors do Brasil Ltda., General Motors do Brasil Ltda., Honda Automóveis do Brasil Ltda., Mercedes-Benz do Brasil Ltda., Mitsubishi Motors, Peugeot Citroën do Brasil S.A., Renault do Brasil S.A., Toyota do Brasil Ltda., e Volkswagen do Brasil Ltda.

Para a avaliação da eficiência da indústria automobilística brasileira, foram selecionadas como insumos as variáveis: nº de fábricas, nº de concessionárias e nº de funcionários. Como produtos foi selecionada a variável: faturamento anual (em USD\$). O modelo foi orientado a produto (*output*), uma vez que se deseja a maximização das vendas internas e externas, mantendo-se constante os insumos (*inputs*).

Assim, o modelo DEA é constituído de 10 DMUs, 3 insumos e 1 produto. A Tabela A, em anexo apresenta os valores das variáveis utilizadas no trabalho.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Análise de eficiência**

Nesta primeira parte, utilizando os modelos de análise envoltória de dados (DEA), foram calculados os escores individuais de eficiência técnica de 10 montadoras instaladas no Brasil para os dados do ano de 2004. Esta análise permite observar a situação inicial destas montadoras, identificando quais montadoras foram eficientes e a natureza da ineficiência daquelas que não foram eficientes, ou seja, se ela se deve a rendimentos crescentes ou a rendimentos decrescentes de escala. Os escores de cada montadora encontram-se na Tabela 3.

Em 2004, ano inicial desta análise, duas montadoras mostraram-se eficientes com retornos constantes de escala, General Motors e Mercedes-Benz, e quatro montadoras mostraram-se ineficientes com retornos variáveis de escala, Fiat, Ford, Renault e Peugeot Citroën. No caso de montadoras ineficientes, como a Peugeot Citroën, o escore de eficiência técnica no valor de 0,353 indica que, para que esta se torne eficiente, é necessária uma retração radial no uso dos insumos de 64,7% de seu valor original. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para as outras montadoras.

A produção com rendimentos constantes, como é o caso de General Motors e Mercedes-Benz, indica que essas montadoras estão operando com escala ótima.

Tabela 3 - Escores de eficiência técnica das 10 montadoras no ano de 2004

| DMU             | 2004  |       |       |             |
|-----------------|-------|-------|-------|-------------|
|                 | RC    | RV    | EE    | Tipo        |
| Fiat            | 0,900 | 0,920 | 0,978 | Decrescente |
| Ford            | 0,455 | 0,480 | 0,948 | Decrescente |
| General Motors  | 1,000 | 1,000 | 1,000 | Constante   |
| Honda           | 0,273 | 1,000 | 0,273 | Crescente   |
| Mercedes-Benz   | 1,000 | 1,000 | 1,000 | Constante   |
| Mitsubishi      | 0,491 | 1,000 | 0,491 | Crescente   |
| Renault         | 0,292 | 0,322 | 0,907 | Decrescente |
| Peugeot Citroën | 0,347 | 0,353 | 0,983 | Crescente   |
| Toyota          | 0,843 | 1,000 | 0,843 | Crescente   |
| Volkswagen      | 0,878 | 1,000 | 0,878 | Decrescente |
| Média           | 0,577 | 0,741 | 0,779 |             |

Fonte: Resultados da pesquisa.

RC = Índices de eficiência com retornos constantes

RV = Índices de eficiência com retornos variáveis

EE = Eficiência de Escala

As montadoras Honda, Mitsubishi, Toyota e Volkswagen, estão na fronteira de retornos variáveis, mas não estão na fronteira de retornos constantes, significando que essas montadoras não apresentam problemas de uso excessivo de insumos, pois é 100% eficiente no modelo com retornos variáveis, ou seja, a pura eficiência técnica. As três primeiras apresentam retornos crescentes de escala, indicando que estas montadoras estão abaixo da escala ótima, o que significa a necessidade de expandir a produção. Já a Volkswagen, apresenta retornos decrescentes de escala, o que implica em uma produção acima da escala ótima, indicando a necessidade de reduzir o volume produzido.

Fiat, Ford, Renault e Peugeot Citroën não se encontram na fronteira de retornos variáveis, indicando ineficiência técnica, além de estarem operando acima da escala ótima por apresentarem retornos decrescentes de escala. Para aumentar a eficiência técnica, essas montadoras precisam diminuir os insumos utilizados e a quantidade produzida, ou ainda, adotar uma tecnologia mais avançada.

Este modelo de Análise Envoltória de Dados refere-se a um período específico no tempo, o que não permite uma comparação entre os anos. Segundo Ferreira e

Gomes (2009), para analisar a dinâmica da eficiência ao longo do tempo, utilizam-se o método da Análise de Janela e o Índice de Malmquist, apresentados nas próximas seções. A Análise de Janela permite analisar uma dada DMU ao longo do tempo como se fosse uma unidade distinta, oferecendo evidências de estabilidade e sensibilidade dos escores de eficiência técnica e a tendência da eficiência da DMU. Por sua vez, o Índice de Malmquist avalia o impacto de mudanças na eficiência técnica e a incorporação de tecnologias sobre a produtividade total das DMUs.

## **5.2 Análise de janela**

Nesta seção foram apresentados, através da análise de janela, os escores de eficiência de 10 montadoras instaladas no Brasil durante os anos de 2004 a 2008, sendo o último, ano de crise financeira no mercado mundial. As tabelas aqui encontradas são derivadas das Tabelas B, C e D em Anexo.

Como foram utilizadas observações para cinco anos, e de acordo com a equação (4.1), a extensão da janela foi de três anos, com resultados para três períodos, 2004-2006, 2005-2007 e 2006-2008. As medidas de eficiência técnica de cada janela para o modelo com rendimentos constantes de escala com orientação produto estão apresentadas na Tabela B, em anexo.

As médias das medidas de eficiência técnica de cada janela estão descritas na Tabela 4. A primeira média refere-se à mudança no desempenho técnico da DMU entre os anos de 2004 a 2006, considerando a situação inicial da DMU em 2004. O mesmo raciocínio pode ser utilizado na interpretação da segunda e terceira média, porém considerando-se os anos de 2005 a 2007, e 2006 a 2008. Assim, comparando-se as médias, pode-se verificar se houve aumento ou redução da eficiência técnica entre as janelas. No caso da montadora Fiat, por exemplo, a média da primeira janela é 0,9439, enquanto para a terceira janela, a média é de 0,9473. Isso significa que houve um aumento na eficiência técnica de 0,36% no período analisado.



Tabela 4 - Média das medidas de eficiência de cada janela para o período de 2004 a 2008 com retornos constantes de escala

| DMU             | 2004-2005-2006 | 2005-2006-2007 | 2006-2007-2008 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Fiat            | 0,9439         | 0,9395         | 0,9473         |
| Ford            | 0,5144         | 0,5726         | 0,5847         |
| General Motors  | 0,9077         | 0,8454         | 0,8115         |
| Honda           | 0,6760         | 0,9836         | 0,9427         |
| Mercedes-Benz   | 0,9986         | 0,9278         | 0,8762         |
| Mitsubishi      | 0,4989         | 0,7402         | 0,7432         |
| Renault         | 0,3027         | 0,4426         | 0,4604         |
| Peugeot Citroën | 0,4384         | 0,6940         | 0,6969         |
| Toyota          | 0,8999         | 0,9697         | 0,9493         |
| Volkswagen      | 0,8469         | 0,8574         | 0,8220         |

Fonte: Resultados da pesquisa

Observando-se os índices de eficiência através das médias de cada janela, percebe-se que 7, das 10 montadoras analisadas, apresentam uma tendência de mudança positiva da eficiência técnica entre as janelas (Fiat, Ford, Honda, Mitsubishi, Renault, Peugeot Citroën e Toyota).

Segundo Gomes e Dias (2004), as variações percentuais médias das variáveis utilizadas podem ser empregadas para comparar o desempenho das DMUs que apresentaram aumento na eficiência técnica com aquelas que tiveram sua eficiência técnica reduzida. As variações percentuais médias estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Variação percentual das variáveis utilizadas segundo grupos de mudança na eficiência técnica ( $\Delta ET$ )

| Variável              | $\Delta ET > 0$ | $\Delta ET < 0$ | Total |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-------|
| Nº de fábricas        | 6,67            | 0,00            | 3,85  |
| Nº de concessionárias | 40,42           | -7,06           | 17,28 |
| Nº de empregados      | 75,20           | 21,02           | 37,74 |
| Faturamento           | 123,68          | 37,11           | 71,13 |

Fonte: Resultados de pesquisa.

Verifica-se, portanto, o aumento no faturamento das montadoras que apresentam ganhos de eficiência. Esse aumento foi 3,4 vezes maior que o verificado nas demais montadoras. Tal comportamento pode ser atribuído ao aumento nos insumos utilizados, onde uma maior quantidade de fábricas e de empregados pode proporcionar um aumento na produção, enquanto um aumento no número de concessionárias significa um aumento na quantidade de postos de vendas, ampliando assim o mercado consumidor.

Outro ponto que deve ser observado é a redução no número de concessionárias das montadoras que apresentam uma piora na eficiência técnica. A redução de postos de vendas faz com que o consumidor precise arcar com maiores custos de deslocamento para adquirir um novo veículo ou usufruir dos serviços pós venda. Isso faz com que o consumidor acabe optando pela compra de veículos de marcas que estão presentes ou mais próximas de seus domicílios.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), o modelo com rendimento constante pode ser reelaborado com o objetivo de possibilitar rendimentos variáveis às DMUs analisadas. Análise com rendimentos constantes de escala quando nem todas as DMUs estão operando em escala ótima, resultará em medidas de eficiência técnica que podem ser confundidas com eficiência de escala. Assim, aplicam-se rendimentos constantes e variáveis a um mesmo conjunto de dados. Existindo diferença nos valores de eficiência técnica com rendimentos constantes e com rendimentos variáveis para uma DMU qualquer, implica que esta DMU tem ineficiência de escala. Os escores de eficiência no modelo com retornos variáveis são conhecidos como pura eficiência técnica, uma vez que não consideram os problemas de escala incorreta de produção.

Os índices de eficiência para o modelo com rendimentos variáveis de escala e orientação produto estão apresentados na Tabela C, em anexo. A mesma tendência de mudança positiva pode ser observada neste modelo através dos resultados apresentados na Tabela 6, que mostra as médias das medidas de eficiência obtidas através da Análise de Janela com retornos variáveis. Neste caso, a única exceção, é a Mercedes-Benz, que apresenta uma queda na eficiência técnica ao longo dos períodos.

Tabela 6 - Média das medidas de eficiência de cada janela para o período de 2004 a 2008 com retornos variáveis de escala

| DMU             | 2004-2005-2006 | 2005-2006-2007 | 2006-2007-2008 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Fiat            | 0,9477         | 0,9897         | 0,9744         |
| Ford            | 0,5526         | 0,6386         | 0,6633         |
| General Motors  | 0,9190         | 0,9019         | 0,9364         |
| Honda           | 1,0000         | 0,9836         | 1,0000         |
| Mercedes-Benz   | 1,0000         | 0,9484         | 0,9071         |
| Mitsubishi      | 0,8620         | 0,7867         | 0,9108         |
| Renault         | 0,3142         | 0,4913         | 0,4879         |
| Peugeot Citroën | 0,4430         | 0,7352         | 0,7169         |
| Toyota          | 0,9103         | 0,9770         | 0,9665         |
| Volkswagen      | 0,9257         | 0,9195         | 0,9832         |

Fonte: Resultados da pesquisa

Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que os valores da pura eficiência técnica das montadoras analisadas são maiores do que aqueles obtidos com retornos constantes, indicando que algumas montadoras estão operando com ineficiência de escala.

Os índices de eficiência técnica obtidos através do modelo BCC são maiores do que os índices obtidos através do modelo CCR. Segundo Ferreira e Gomes (2009), tal fato é explicado porque modelos BCC formam uma superfície côncava de planos em interseção, envolvendo os dados de forma mais densa do que a superfície formada pelo modelo com CCR, que pode ser decomposto em duas formas de eficiência produtiva: a pura eficiência técnica em condições de rendimentos variáveis de escala e a eficiência de escala, permitindo identificar duas fontes distintas de ineficiência produtiva, uma operacional e outra de escala de produção.

A Tabela 7, mostra os valores dos rendimentos de escala, obtidos pela diferença entre os valores das Tabelas 4 e 6, para cada janela.

Tabela 7 - Rendimentos de escala por montadora para cada janela do período de 2004 a 2008

| DMU             | 2004-2005-2006 | 2005-2006-2007 | 2006-2007-2008 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Fiat            | 0,9960         | 0,9493         | 0,9723         |
| Ford            | 0,9310         | 0,8967         | 0,8815         |
| General Motors  | 0,9876         | 0,9374         | 0,8666         |
| Honda           | 0,6760         | 1,0000         | 0,9427         |
| Mercedes-Benz   | 0,9986         | 0,9783         | 0,9659         |
| Mitsubishi      | 0,5787         | 0,9408         | 0,8160         |
| Renault         | 0,9633         | 0,9008         | 0,9436         |
| Peugeot Citroën | 0,9894         | 0,9440         | 0,9721         |
| Toyota          | 0,9886         | 0,9925         | 0,9823         |
| Volkswagen      | 0,9148         | 0,9325         | 0,8360         |

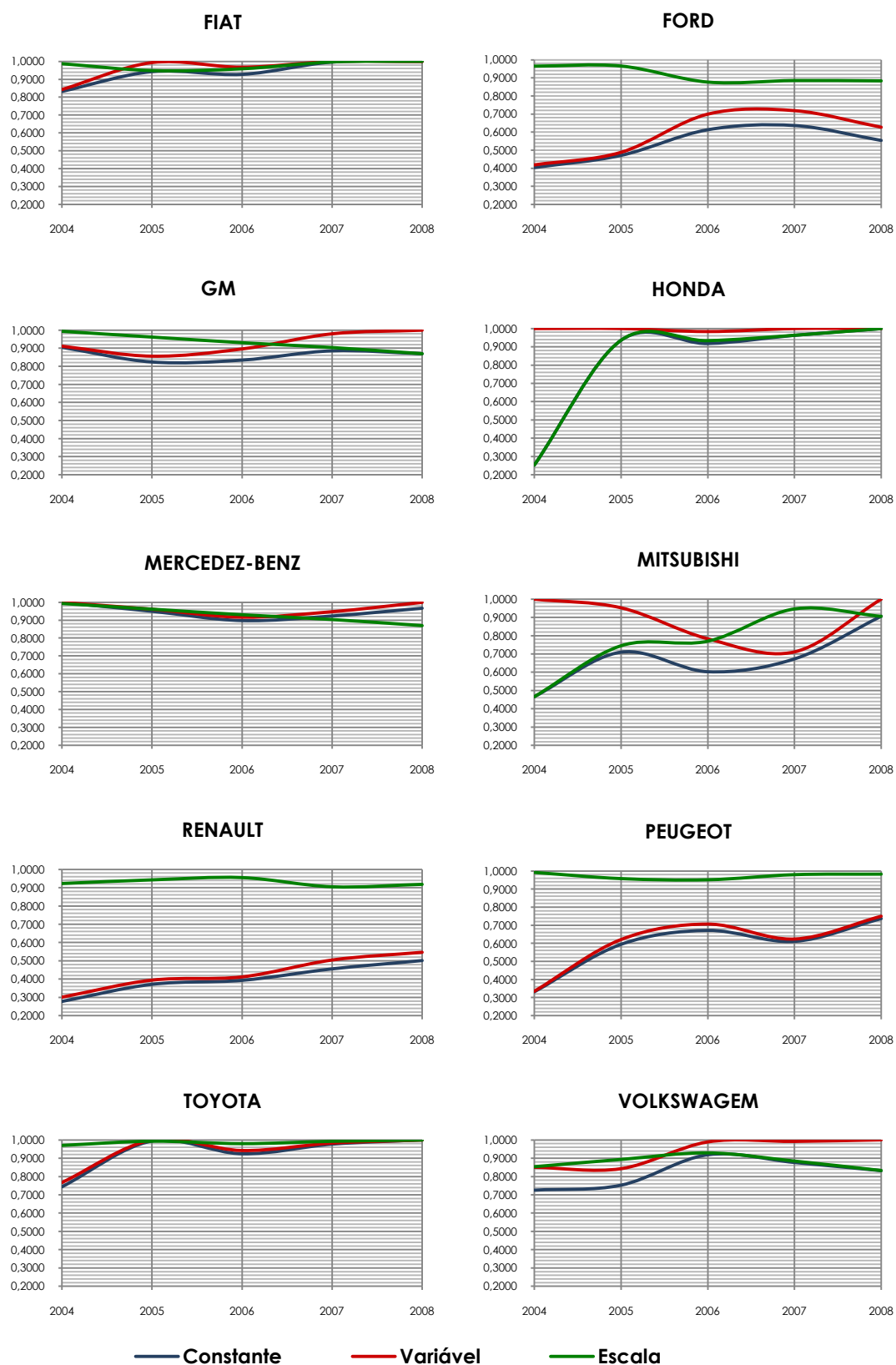
Fonte: Resultados da pesquisa.

Observando-se os índices de eficiência de escala através das médias de cada janela, observa-se que 8 das 10 montadoras analisadas apresentam uma redução na eficiência de escala entre as janelas (Fiat, Ford, General Motors, Mercedes-Benz, Renault, Peugeot Citroën, Toyota e Volkswagen), indicando que estas montadoras estão operando com ineficiência de escala.

Assim, a fim de analisar a natureza da ineficiência de cada DMU ao longo do tempo, são apresentadas, na Figura 9, as médias anuais de cada montadora para retornos constantes, variáveis e de escala respectivamente., e na Figura 10, são apresentadas as médias anuais do setor automobilístico para retornos constantes, variáveis e de escala. As médias anuais foram calculadas através dos resultados apresentados nas Tabelas B, C e D, em anexo, e foram utilizadas para calcular a eficiência técnica anual de cada uma das 10 montadoras dadas as suas tendências anuais.

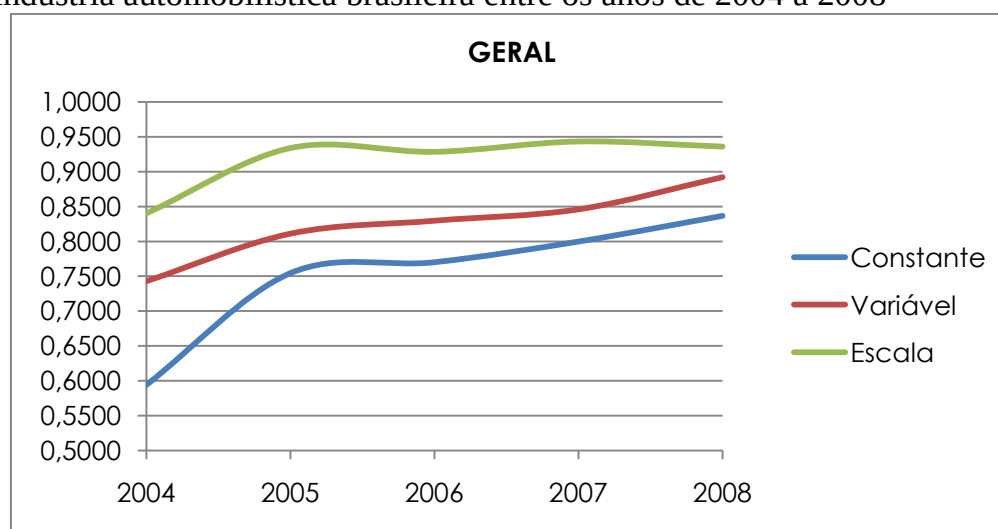
Através dos resultados apresentados pela Figura 9, observa-se que, apesar de algumas montadoras não apresentarem um aumento nos seus índices de eficiência de 2004 para 2008, o setor automobilístico brasileiro, através da média dos índices das DMUs, está aumentando sua eficiência técnica ao longo do tempo. De acordo com os resultados apresentados na Figura 10, em 2004, o setor automobilístico brasileiro apresentava uma eficiência técnica de 59,42%. Este índice foi aumentando ao longo do tempo, até chegar a 83,67% de eficiência em 2008.

Figura 9 - Rendimentos constantes, rendimentos variáveis e rendimentos de escala de cada montadora entre os anos de 2004 e 2008



Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 10 - Rendimentos constantes, rendimentos variáveis e Rendimentos de escala da indústria automobilística brasileira entre os anos de 2004 a 2008



Fonte: Resultados de pesquisa

Conforme pode ser observado, uma montadora eficiente no modelo CCR também é eficiente no modelo BCC. Além disso, os valores obtidos para a eficiência técnica com hipótese de rendimentos variáveis são maiores do que aqueles conseguidos com rendimentos constantes, CCR, e indicam que todas as montadoras apresentam uma tendência de ganhos com relação à pura eficiência técnica de 2004 para 2008. É importante salientar que a quantidade de valores máximos de eficiência técnica é maior quando se admite um modelo com retornos variáveis de escala.

Esses resultados indicam que a maior parte das montadoras estudadas não possui problemas de pura eficiência técnica, mas sim, problemas quanto à escala de produção. As montadoras que apresentam eficiência técnica no modelo CCR igual à eficiência técnica no modelo BCC são aquelas que apresentam um índice máximo, igual a um, quanto à eficiência de escala, indicando que a montadora está operando sem desperdícios com relação às demais montadoras e com a escala correta. Como pode ser observado na Figura 9, em 2004, a Mercedes-Benz apresentou eficiência de escala máxima e, em 2008, Fiat, Honda e Toyota alcançaram esse valor máximo.

Já a tendência apresentada pelas demais montadoras é de uma redução quanto aos seus rendimentos de escala. Isso significa que estas montadoras estão produzindo acima ou abaixo da quantidade ótima.

Dentre as quatro montadoras que apresentaram ganhos na escala de produção (Fiat, Honda, Mitsubishi e Toyota), apenas a Fiat possui uma diversificação quanto à linha de produtos ofertados no mercado. Além disso, dentre as montadoras que apresentaram ineficiência quanto à escala de produção no ano de crise, Ford, General Motors e Volkswagen, que são consideradas grandes montadoras do setor automobilístico brasileiro e com uma linha de produtos bastante diversificada, foram as que apresentaram os piores rendimentos quanto à escala de produção. Isso indica que, de certa forma, estratégias produtivas que buscam uma relativa especialização na produção de carros de 1000 cc e de automóveis pequenos<sup>24</sup>, complementada pela produção de veículos médios nem sempre contribui para a obtenção de ganhos de escala.

A seguir fez-se uma descrição da trajetória de cada montadora durante o período estudado. Com isso, identificou-se os principais motivos para a eficiência ou ineficiência de cada uma delas.

- **Fiat:** A montadora apresentava tanto problemas operacionais quanto de escala nos primeiros anos estudados. Tais problemas foram sendo corrigidos pela empresa, até atingir o índice máximo da pura eficiência técnica em 2007, e alcançar a eficiência máxima em 2008, tanto na pura eficiência técnica quanto na eficiência de escala. A empresa possui estratégias de focar grande parte de suas vendas no segmento de carros populares<sup>25</sup>, além de obter uma maior presença no segmento de veículos pela atualização da linha de produtos da empresa e pela diversificação do escopo de modelos ofertados com o lançamento de automóveis de médio porte<sup>26</sup>. Até 2008, grande parte do volume de investimento da empresa foi destinada para o desenvolvimento e modernização de veículos além de investimentos em estrutura e aumento da capacidade de produção, principalmente na unidade de Betim, aumentando, assim, a eficiência operacional e gerando economias de escala para a empresa.

**Ford:** Nos primeiros anos deste estudo, a montadora apresenta poucos problemas na escala de produção, porém, os índices da pura eficiência técnica são

---

<sup>24</sup> Veículos com preço entre R\$30 mil e R\$50 mil

<sup>25</sup> Veículos com motor 1.0

<sup>26</sup> Veículos com preço entre R\$50 mil e R\$ 60 mil

baixos o suficiente para manter o índice de eficiência global da montadora em níveis baixos. A Ford veio perdendo mercado por muitos anos, tendo atingido seu menor valor em 2001, com 6,3% de parcela do mercado automotivo. A origem desse desempenho esteve ligada a inadequação e baixa aceitação de modelos no Brasil. Preocupada em melhor aproveitar os recursos mundiais da empresa através da redução de custos com desenvolvimento de produtos pela eliminação da duplicação de modelos e componentes, a empresa conseguiu aumentar suas economias de escala, porém, os modelos característicos da estratégia de globalização adotada pela Ford não foram bem sucedidos no mercado brasileiro. A partir de 2006, a montadora começa a apresentar uma tendência de queda em sua eficiência de escala e um aumento na sua eficiência operacional. Apesar dos índices de eficiência global da montadora estar baixo para o setor, a empresa demonstra uma leve tendência de aumento de eficiência. Cabe notar que a recuperação que vem ocorrendo se deve ao sucesso em fortalecer a marca, às vantagens competitivas apropriadas pela unidade de Camaçari na Bahia, pelo sucesso em acompanhar as principais inovações tecnológicas introduzidas no mercado e pelo lançamento de novos modelos com sucesso.

- **General Motors:** Assim como a Fiat, a General Motors também manteve sua participação de mercado nos últimos anos. Até 2007, os problemas de eficiência técnica da montadora eram devido a um misto de problemas operacionais e problemas de escala, até que em 2008 a empresa atinge o nível máximo de pura eficiência técnica apresentando apenas problemas de escala. Além de ofertar em uma ampla segmentação de mercado, – populares, médios e grandes – a montadora realizou nos últimos anos, uma política agressiva de introdução de novos modelos e de inovações tecnológicas, sendo uma das pioneiras na introdução do motor *flex fuel*. O grande volume de investimentos em novos modelos e novas tecnologias proporcionou à montadora uma eficiência operacional máxima, porém, os investimentos em capacidade produtiva estão aquém do necessário para alcançar o máximo da eficiência de escala.

- **Honda:** Uma das montadoras mais recentes no país, a Honda, em 2004, apresentava grandes problemas de escala e pouquíssimos problemas operacionais. A montadora procurou se estabelecer no mercado brasileiro focando sua participação em



segmentos de mercado nos quais já tinha experiência. A diversificação da produção ocorreu à medida que a empresa acumulava conhecimento para concorrer no Brasil. A partir de 2005, a montadora começou a melhorar sua participação no mercado com o lançamento do modelo Honda Fit, além da participação nos segmentos de maior valor agregado passando a apresentar pequenos problemas de escala de produção que foram sendo resolvidos até atingir a eficiência técnica global máxima em 2008. Adicionalmente, a montadora procurou investir em propaganda e marketing agressivos para divulgar e estabelecer sua marca no mercado nacional.

- **Mercedes-Benz:** A montadora procurou, primeiramente, se estabelecer no mercado brasileiro através de importações e, em um segundo momento, através de investimentos em novas unidades produtivas com pequena escala de produção. Em 2004, a empresa estava operando com sua eficiência técnica global máxima. Esse índice de eficiência, apesar de ter permanecido alto durante o período estudado, foi diminuindo ao longo do tempo, tanto pela diminuição na pura eficiência técnica quanto na eficiência de escala. A montadora atua no mercado brasileiro principalmente com o modelo Classe A, mas sua linha de produtos está focada no segmento de automóveis médios e grandes de luxo, destinados aos segmentos de maior poder aquisitivo da população brasileira. A eficiência alcançada pela montadora pode ser relacionada com o baixo nível de produção, facilitando assim, os ganhos de escala da empresa, e com o elevado valor agregado aos produtos da montadora.

- **Mitsubishi:** Entre 2004 e 2005, os problemas de eficiência da montadora eram basicamente devido a problemas na escala de produção. Nos anos de 2006 e 2007, esses problemas continuaram, porém, a ineficiência técnica global foi agravada por problemas de ineficiência operacional. Os problemas operacionais e de escala podem ser explicados pelo fato de a montadora não equipar seus automóveis com a tecnologia de motores *flex fuel*, que foi amplamente aceita pelos consumidores brasileiros e por não ofertar no segmento de carros populares, apresentando baixo volume de vendas. Em 2008, a montadora conseguiu atingir um alto índice de eficiência técnica global devido às melhorias operacionais na empresa, mas continuaram com os problemas de escala de produção.

- **Renault e Peugeot Citroën:** Os baixos índices de eficiência das montadoras são praticamente resultado de problemas operacionais nas empresas, que apresentam altos índices de eficiência de escala e baixos índices de pura eficiência técnica. Com a pouca aceitação de seus produtos somada à demora na atualização da linha de produtos, a Renault passou diversos anos amargando pesados prejuízos. Nos últimos anos, com o lançamento de produtos de maior aceitação, a Renault vem conseguindo melhorar sua situação. Recentemente, a empresa decidiu implantar no Brasil um Centro de Engenharia para o desenvolvimento de produtos, antes centralizado em sua matriz, com o objetivo de desenvolver veículos mais próximos aos mercados aos quais se destinam. Já o Grupo Peugeot Citroën, teve um pouco mais de sucesso do que a sua competidora francesa Renault. Passando pelos mesmos problemas de aceitação do mercado, a montadora está prestes a atingir a plena capacidade, estando prevista a duplicação da capacidade produtiva de sua unidade em Porto Real/RJ, que chegará a 300 mil veículos/ano.
- **Toyota:** A empresa é a maior vendedora de veículos no mundo e, possivelmente, a que produz de maneira mais eficiente e com menos custos no cenário mundial, mas tem sido bastante cautelosa nos investimentos no Brasil. A montadora começa apresentando problemas operacionais em 2004 e apesar de não estar produzindo com o índice máximo, sua eficiência de escala é consideravelmente alta no ano inicial desta análise. Os problemas operacionais podem ter existido pelo fato de que a montadora foi uma das últimas a introduzir o motor bicom bustível em seus modelos até que, em 2008, a empresa consegue atingir a sua eficiência técnica global máxima.
- **Volkswagen:** A Volkswagen foi líder de mercado no Brasil durante décadas, e mantém uma elevada parcela de mercado no decorrer dos anos. A ineficiência apresentada pela empresa durante todo o período estudado ocorre tanto por problemas de ineficiência operacional quanto por problemas na escala de produção. A empresa já busca resolver seus problemas de ineficiência pretendendo elevar a capacidade através do aumento de produtividade via modernização dos processos e de investimentos pontuais nos gargalos de produção.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), a análise de janela permite analisar o desempenho temporal das DMUs, oferecendo evidências de estabilidade e sensibilidade dos índices de eficiência técnica e a tendência da eficiência da DMU. Este procedimento permite incorporar a idéia de que existem mudanças na tecnologia no período analisado, porém não fornece nenhuma evidência sobre a natureza do progresso tecnológico (deslocamento da fronteira). Além disso, mostra pouca informação sobre as mudanças na produtividade. Tal deficiência pode ser resolvida através do cálculo do Índice de Malmquist.

### **5.3 Índice de Malmquist**

O índice de Malmquist possibilita o desmembramento das mudanças de produtividade em deslocamentos da unidade em relação à fronteira tecnológica (mudança na eficiência técnica) e no deslocamento da própria fronteira tecnológica (mudança tecnológica).

Assim, nesta seção, foram apresentados os resultados relativos ao deslocamento das unidades em relação à fronteira tecnológica (mudança na eficiência técnica –  $\Delta ET$ ), as mudanças da fronteira ou evolução tecnológica ( $\Delta TEC$ ), e o Índice Malmquist de Produtividade Total dos Fatores ( $\Delta PTF$ ), que nada mais é do que a multiplicação dos dois componentes citados. Além disso, o índice de mudança na eficiência técnica pode ser decomposto em mudança na pura eficiência técnica ( $\Delta PET$ ) e mudança na eficiência de escala ( $\Delta ESC$ ). A análise foi desenvolvida para dois anos, 2004 e 2008, escolhidos como forma de captar os efeitos desses índices antes e durante a crise financeira de 2008. Os resultados encontram-se descritos na Tabela 8.

De acordo com os resultados apresentados pela Tabela 8, todas as montadoras analisadas apresentaram progresso tecnológico, no entanto, nem todas apresentaram ganhos de eficiência técnica. A perda de eficiência técnica apresentada pelas montadoras, indicando um afastamento dessas montadoras com relação à fronteira

tecnológica, pode ser basicamente atribuída às perdas na eficiência de escala, uma vez que, essas montadoras apresentaram ganhos na pura eficiência técnica ou a manteve constante. A exceção, neste caso, é a Renault, que apresenta ganhos de escala, atribuindo a diminuição em sua eficiência técnica devido ao índice de sua pura eficiência técnica.

Entretanto, todas as montadoras apresentam ganhos na produtividade total dos fatores, mostrando que, mesmo naquelas montadoras onde houve redução na eficiência técnica, o progresso tecnológico foi suficiente para gerar ganhos de produtividade.

Da mesma forma, os ganhos de eficiência técnica obtidos pelas demais montadoras também podem ser atribuídos aos ganhos de escala, uma vez que não foram verificados ganhos na pura eficiência técnica destas montadoras.

Tabela 8 - Índice de Malmquist para os anos de 2004 e 2008

| DMU              | Eficiência técnica |                    |                   | $\Delta\text{TEC}$ | $\Delta\text{PTF}$ |
|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                  | $\Delta\text{PET}$ | $\Delta\text{ESC}$ | $\Delta\text{ET}$ |                    |                    |
| Fiat             | 1,000              | 1,000              | 1,000             | 1,571              | 1,571              |
| Ford             | 1,146              | 0,891              | 1,022             | 1,417              | 1,448              |
| General Motors   | 1,000              | 0,870              | 0,870             | 1,448              | 1,260              |
| Honda            | 1,000              | 2,192              | 2,192             | 1,416              | 3,103              |
| Mercedes-Benz    | 1,000              | 0,967              | 0,967             | 1,436              | 1,389              |
| Mitsubishi       | 1,000              | 0,906              | 0,906             | 1,276              | 1,156              |
| Renault          | 0,756              | 1,059              | 0,800             | 1,273              | 1,019              |
| Peugeot Citroën  | 1,006              | 1,034              | 1,040             | 1,294              | 1,346              |
| Toyota           | 1,000              | 1,000              | 1,000             | 1,373              | 1,373              |
| Volkswagen       | 1,000              | 0,949              | 0,949             | 1,595              | 1,514              |
| Média Geométrica | 0,986              | 1,044              | 1,030             | 1,406              | 1,448              |

Fonte: Resultados da pesquisa.

$\Delta\text{PET}$  = Mudança na pura eficiência técnica

$\Delta\text{ESC}$  = Mudança na eficiência de escala

$\Delta\text{ET}$  = Mudança na eficiência técnica ( $\Delta\text{PET} \times \Delta\text{ESC}$ )

$\Delta\text{TEC}$  = Mudança tecnológica

$\Delta\text{PTF}$  = Mudança na produtividade total dos fatores ( $\Delta\text{ET} \times \Delta\text{TEC}$ )

Os dados obtidos através do Índice de Malmquist indicam que apesar de algumas montadoras terem apresentado uma queda em sua eficiência, o crescimento na produtividade total dos fatores ocorreu devido ao crescimento tecnológico. A

introdução de tecnologias mais avançadas, que produzem produtos melhores e com maior rapidez, provoca assim um deslocamento da fronteira de eficiência mesmo mantendo ou aumentando a quantidade de insumos utilizados na produção.

De uma forma geral, através dos valores da média geométrica dos índices analisados, as montadoras apresentaram um pequeno deslocamento no sentido da fronteira de eficiência, sendo o principal responsável pelo crescimento da Produtividade Total dos Fatores o avanço em inovação tecnológica<sup>27</sup>.

Segundo Carvalho (2008), o padrão de introdução de inovações da indústria automobilística poderia ser apropriadamente caracterizado pelo predomínio de grandes empresas estabelecidas e pela existência de significativas barreiras à entrada relativamente aos potenciais inovadores entrantes. Este regime de inovação é também característico de indústrias maduras – que apresentam importantes economias de escala e curvas de aprendizado significativas – nas quais, a mudança tecnológica se desenvolve, em geral, segundo trajetórias bem conhecidas e fundamentalmente através de inovações incrementais de produtos e processos.

Uma competição mais acirrada no setor automobilístico passou a exigir uma contínua busca por diferenciação nos produtos e maior necessidade de atender aos requisitos da demanda para sobreviver no mercado. A produção no setor automobilístico é organizada na forma modular, o que permite introduzir mudanças nos produtos sem perda de eficiência produtiva ou aumento nos custos. Com isso, uma vez disponibilizada uma inovação, ela é facilmente introduzida no mercado (COSTA, 2008).

Os automóveis equipados com motor *flex fuel* passaram a ocupar uma posição de destaque no mercado brasileiro. O motivo é que, além de utilizar a gasolina, eles permitem a utilização de um combustível alternativo, o álcool, que possui preço mais baixo, e possui eficiência similar à da gasolina em termos de desempenho.

Uma vez introduzido no mercado brasileiro, os modelos equipados com motor bi-combustível obtiveram grande aceitação conforme dados fornecidos pela. Os

---

<sup>27</sup> De acordo com a metodologia proposta pela OECD (2004), o setor automobilístico deve ser classificado, com base nos seus atributos tecnológicos, como uma indústria de média-alta intensidade tecnológica, que faz amplo uso de um grande número de produtos e tecnologias avançadas, desenvolvidos através de intensas atividades de P&D.

primeiros automóveis a utilizar a tecnologia *flex fuel* datam do início de 2003 e respondiam por 3,5% dos novos licenciamentos. Em 2005, as vendas de automóveis com bi-combustível ultrapassaram a dos automóveis equipados com motores convencionais movidos a gasolina ou álcool, obtendo 53,2% de participação no mercado. Mais ainda, em 2007, os novos licenciamentos de automóveis bi-combustível responderam por 90,5% do mercado, passando de uma condição de novidade para a dominante do mercado, e a tendência é a de que todas as montadoras se adaptem a essa nova exigência para manter o desempenho competitivo ANFAVEA (2008a).

Dado os resultados obtidos através do Índice de Malmquist e o que foi discutido acima, fica claro que as empresas da indústria automobilística procuram se adaptar a um padrão de concorrência setorial. A competitividade acirrada entre as empresas do setor automobilístico exige uma contínua evolução do conteúdo tecnológico de seus produtos, com oferta de preços competitivos que, por sua vez, exigem reduções de custos através da organização da produção e das economias de escala.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), o índice de Malmquist pode ser definido pela função distância, incorporando a natureza multiproduto e multi-insumo na análise de produtividade. Assim, utiliza-se a Análise Envoltória de Dados sem a necessidade de especificar objetivos comportamentais dos tomadores de decisão.

As quatro funções distância utilizadas para calcular o Índice de Malmquist estão representadas na Tabela 9 e foram utilizados para identificar as montadoras que estão contribuindo para as mudanças no progresso tecnológico<sup>28</sup>, considerando como período “s” o ano de 2004 e como o período “t” o ano de 2008.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 9, nota-se que as montadoras Fiat, Honda e Toyota atendem às condições apresentadas pelas equações (4.14), (4.15), e (4.16), da seção 4.5.1, sendo estas as montadoras “inovadoras”, responsáveis pela expansão da fronteira tecnológica.

Tal resultado mostra que as mesmas montadoras responsáveis pela expansão da fronteira tecnológica da indústria automobilística brasileira são, também, aquelas que

<sup>28</sup> Conforme exposto na seção 4.5.1, as condições para que uma DMU estar deslocando a fronteira tecnológica são:  $\left[ \frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} > 1$ ;  $d_o^s(x_t, y_t) > 1$ ; e  $d_o^s(x_t, y_t) = 1$ .

alcançaram, através da análise de janela, níveis máximos de eficiência com rendimentos constantes em 2008, e que estão operando com máxima eficiência de escala.

Tabela 9 - Funções distância calculadas do ano de 2004 para 2008

| DMU             | $d_o^t(x_t, y_t)$ | $d_o^t(x_s, y_s)$ | $d_o^s(x_s, y_s)$ | $d_o^s(x_t, y_t)$ |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Fiat            | 1,0000            | 0,7050            | 1,0000            | 1,7400            |
| Ford            | 0,5540            | 0,3830            | 0,5430            | 0,7860            |
| General Motors  | 0,8700            | 0,6840            | 1,0000            | 1,2470            |
| Honda           | 1,0000            | 0,3840            | 0,4560            | 1,6880            |
| Mercedes-Benz   | 0,9670            | 0,7030            | 1,0000            | 1,4010            |
| Mitsubishi      | 0,9060            | 0,8680            | 1,0000            | 1,2790            |
| Renault         | 0,5020            | 0,5440            | 0,6270            | 0,7060            |
| Peugeot Citroën | 0,7360            | 0,5970            | 0,7080            | 1,0400            |
| Toyota          | 1,0000            | 0,8120            | 1,0000            | 1,5290            |
| Volkswagen      | 0,8330            | 0,5400            | 0,8780            | 1,3040            |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Este resultado pode estar relacionado com o fato de todas as montadoras analisadas, neste estudo, apresentarem tendência de ganhos com relação à pura eficiência técnica de 2004 para 2008, tendo um grande número de montadoras atingindo o índice máximo neste último ano indicando que a eficiência de escala é o principal determinante para eficiência do setor automobilístico e de seu progresso tecnológico.

Vale ressaltar que, durante o período analisado neste estudo, a indústria automobilística brasileira ainda não havia recebido incentivos governamentais, como a redução de IPI. Esta ajuda oferecida pelo governo ocorreu em 2009, com o objetivo de estimular a demanda e suavizar os impactos negativos sofrido por essa indústria diante da crise de 2008.

De uma forma geral, a metodologia utilizada mostrou que os resultados obtidos através da Análise de Janela e do Índice de Malmquist deste trabalho são positivos para a indústria automobilística brasileira. Através da Análise de Janela, verificou-se que as montadoras não estão operando com uso excessivo de insumos, apresentando ganhos quanto à pura eficiência técnica. Já o Índice de Malmquist mostrou que as

montadoras apresenta, ao longo do tempo, avanços no seu sistema produtivo, avanços tecnológicos e aumento na produtividade total de seus fatores, melhorando seus índices de eficiência e produtividade em 2008.

Por outro lado, esta metodologia também mostrou que, maior parte das montadoras apresenta ineficiência quanto à escala de produção, e que as montadoras que estão produzindo com escala ótima, são também as responsáveis pelo deslocamento da fronteira tecnológica



## 6 CONCLUSÕES

Considerado um dos setores mais importantes da economia, o setor automobilístico foi também o mais atingido pela crise financeira de 2008. Isso porque, a dificuldade de acesso ao crédito, desestimulou tanto a demanda quanto a oferta de veículos.

Com isso em vista, este trabalho buscou identificar se, mesmo sendo atingida pela crise financeira, a indústria automobilística brasileira, conseguiu se reajustar eficientemente diante da queda repentina dos níveis de produção.

Diante dos resultados encontrados, constata-se que no período inicial desta análise apenas duas montadoras estavam operando em escala ótima. Quatro montadoras apresentaram pura eficiência técnica máxima e outras quatro apresentaram ineficiência técnica durante o ano de 2004, indicando a necessidade de estas montadoras modificarem seus níveis de produção.

Através da análise temporal, constata-se que as montadoras apresentam uma tendência positiva de ganhos em eficiência técnica, mesmo em um período de crise no sistema financeiro, porém, os valores de pura eficiência técnica maiores que os índices de eficiência com retornos constantes indicam que estas montadoras apresentam problemas quanto à escala de produção. As perdas na ineficiência de escala de produção também são responsáveis pela perda de eficiência técnica encontrada através do Índice de Malmquist, que, no entanto, aponta para um progresso tecnológico por parte das montadoras analisadas.

Além disso, todas as montadoras apresentaram ganhos na Produtividade Total dos Fatores, indicando que mesmo nas montadoras onde houve redução de eficiência técnica, o progresso tecnológico foi suficiente para gerar ganhos de produtividade.

A competição acirrada no setor automobilístico passou a exigir uma busca contínua por diferenciação nos produtos, com uma mudança tecnológica desenvolvida principalmente através de inovações incrementais de produtos e processos, como é o caso da introdução dos motores *flex fuel*.

Através dos resultados encontrados pode-se aceitar a hipótese de que a crise do sistema financeiro norte-americano em 2008 tenha afetado negativamente apenas a eficiência de escala do setor automobilístico brasileiro, uma vez que, apesar de os dados divulgados pela ANFAVEA mostrarem que, no último trimestre de 2008 as montadoras apresentaram queda nas vendas internas e exportações, os resultados obtidos neste trabalho, com a utilização de dados anuais, permite concluir que, durante o período estudado, a indústria automobilística apresentou avanços no seu sistema produtivo, avanços tecnológicos e aumento na produtividade total de seus fatores, melhorando seus índices de eficiência e produtividade em 2008.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, L. Avaliação Cruzada da Produtividade dos Departamentos Acadêmicos da UFSC Utilizando DEA (Data Envelopment Analysis). *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2000.

ALSHARE, K.; LUO, X.; MESAK, H. I. Classifying the Stability of the Big-Three American Automotive Companies Using DEA Window Analysis. *Academy of Information and Management Sciences Journal* [S.I.], v. 7, n. 1, 2004.

ANFAVEA. *Indústria Automobilística Brasileira - 50 anos*. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. São Paulo - SP. 2006

\_\_\_\_\_. *Anuário Estatístico*. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. São Paulo - SP. 2008a

\_\_\_\_\_. *Brazil Automotive Guide*. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. São Paulo - SP. 2008b

\_\_\_\_\_. *Anuário Estatístico*. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. São Paulo - SP. 2009

ASMILD, M.; PARADI, J. C.; AGGARWALL, V.; SCHAFFNIT, C. Combining DEA window analysis with the Malmquist index approach in a study of the Canadian banking industry. *Journal of Productivity Analysis* [S.I.], v. 21, p. 67-89, 2004.

AVKIRAN, N. K. Decomposing technical efficiency and window analysis. *Studies in Economics and Finance*. v. 22. n. 1, 2004. p. 61-91.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* [S.I.], v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BERTOLINI, V. *Os Fatores Críticos de Sucesso na Indústria de Autopaças no Brasil: um Estudo Exploratório dos Níveis Hierárquicos da Cadeia de Fornecedores da Indústria Automobilística*. (2004). 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2004.

BESANKO, D.; BRAEUTGAM, R. R. *Microeconomia - Uma Abordagem Completa*. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

BESSENT, A.; BESSENT, A.; ELAN, J.; CLARK, T. Efficiency Frontier Determination by Constrained Facet Analysis. *Operational Research* [S.I.], v. 36, n. 2, p. 785-796, 1988.

BEUREN, I. M.; HEIN, N.; CAVASSOLA, J. A. Participação de Mercado e Criação de Valor: um Estudo do Varejo Automobilístico em Santa Catarina. *RAC-Eletrônica*. v. 1. n. 3 2007. p. 14-34.

BONELLI, R. Ensaio Sobre a Política Econômica e Industrialização no Brasil. Rio de Janeiro: SENAI-DN/DITEC/DPEA, 1995.

BONELLI, R.; FONSECA, R. Ganhos de Produtividade e de Eficiência: Novos Resultados para a Economia Brasileira. *Texto para Discussão nº 557*. Rio de Janeiro, RJ: IPEA, 1998. p. 1 - 43.

BOWLIN, W. F. Measuring Performance: an Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). *Journal of Accounting and Public Policy* [S.I.], v. 18, p. 287 - 310, 1999.

BRUNETTA, M. R. Avaliação da Eficiência Técnica e Produtividade Usando Análise Envoltória de Dados: Um Estudo de Caso Aplicado a Produtores de Leite. *Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia - Programação Matemática)*. UFPR-PR, 2004.

BUIAR, D. R. *Vantagem Competitiva da Flexibilidade via Tecnologia de Informação: Um Modelo de Auditoria e Estudo de Caso no Pólo Automotivo Paranaense*. (2000). 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2000.

CARVALHO, E. G. D. Globalização e Estratégias Competitivas na Indústria Automobilística: Uma Abordagem a partir das Principais Montadoras Instaladas no Brasil. *Gestão & Produção*. v. 12. n. 1 2005. p. 121-133.

\_\_\_\_\_. Inovação tecnológica na indústria automobilística: características e evolução recente. *Economia e Sociedade* [S.I.], v. 17, p. 429-461, 2008.

CASOTTI, B. P.; GOLDENSTEIN, M. Panorama do Setor Automotivo: As Mudanças Estruturais da Indústria e as Perspectivas para o Brasil. *BNDES Setorial*. n. 28. Rio de Janeiro 2008. p. 147-188.

CAVES, D. W.; CHRISTENSEIN, L. R.; DIEWERT, W. E. The Economic Theory of Index Numbers and The Measurement of Input, Output and Productivity. *Econometrica* [S.I.], v. 50, n. 6, p. 1393-1414, 1982.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEARNER, D.; PHILIPS, F. Management Science and Marketing Management. *Journal of Marketing* [S.I.], v. Spring, n. 49, p. 93-105, 1985.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A.; SEIFORD, L. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications. *Kluwer Academic Publishers* 1994.

\_\_\_\_\_. *Data Envelopment Analysis. Theory, Methodology and Applications*. 3. ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1997.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. *Data Envelopment Analysis: Teory, Methodology and Applications*. 2 ed. Norwell, MA: Kluwer Academic Press, 1996.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RODHES, E. L. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* [S.I.], v. 6, n. 2, p. 429-444, 1978.

COELHO, A. B.; RECUPERO, L. Taxa de Câmbio Real Efetiva e Exportações de Automóveis no Brasil, 1990 - 2005. *Revista de Economia e Agronegócio*. v. 6. n. 1, 2008. p. 29-50.

COOPER, W. W.; SEINFORD, L. M.; TONE, K. *Data Envelopment Analysis: a Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-solver Software*. Norwell, MA: Kluwer Academic Press, 2000.

COSTA, R. M. D. *Estratégias Competitivas e Desempenho Econômico: O Caso da Indústria Automobilística Brasileira de 1986 a 2007*. (2008). 184 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2008.

CRUZ, H. N. D.; DIAZ, M. D. M.; LUQUE, C. A. Metodologia de Avaliação de Custos nas Universidades Públicas: Economias de Escala e de Escopo. *Revista Brasileira de Educação*. n. 58, jan./mar. 2004.

DA SILVA JR., J. C. R. *Análise da Eficiência do Setor Bancário no Brasil por Estrutura de Capital sob as Óticas da Firma e da Sociedade*. (2008). 88 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Departamento de Economia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, PE, 2008.

DOS ANJOS, M. A. Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) no Estudo da Eficiência Econômica da Indústria Textil Brasileira nos Anos 90. *Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)*. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC - Florianópolis, 2005.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C. A. K. *Production Frontier*. New York: Cambridge University Press, 1994.

FARID, M. *Mensuramento da Eficiência Multidimensional Utilizando Análise de Envelopamento de Dados: Revisão da Teoria e Aplicações*. (1995). (Dissertação de Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statitital Society, Series A* [S.I.], v. 3, n. 120, p. 253-290, 1957.

FEIJÓ, C. A.; CARVALHO, P. G. M. Produtividade e Emprego: Uma Inversão na Década de 90. *Gazeta Mercantil*, 5 jul., 2000.

FERRAZ, J. C. *Made in Brazil: Desafios Competitivos para a Indústria*. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

FERREIRA, C. M. D. C.; GOMES, A. P. *Introdução à Análise Envoltória de Dados: Teoria, Modelos e Aplicações*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

FERREIRA, F.; LEMOS, M. B. A Nova Configuração Geográfica da Indústria Automotiva no Brasil. *Revista de Desenvolvimento Econômico Ano VI*. v. 10. Salvador 2004.

FREAZA, F. P. *Análise de Eficiência do Mercado Bancário Beasileiro, Utilizando a Metodologia da Análise Envoltória de Dados*. (2006). 85 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração) - Faculdade de Economia e Finanças, IBMEC, Rio de Janeiro, 2006.

GASQUES, J. G.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. D. Crescimento e Produtividade da Agricultura Brasileira. *Textos para Discussão nº 502*. Rio de Janeiro: IPEA 1997.

GOMES, A. P.; DIAS, R. S. Produtividade e Eficiência Como Fatores Determinantes da Rentabilidade na Atividade Leiteira. *Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural - SOBER*. Cuiabá - MT: XLII Congresso da SOBER, 2004.

GOMES, V.; PESSÔA, S. D. A.; VELOSO, F. A. Evolução da Produtividade Total dos Fatores na Economia Brasileira: Uma Análise Comparativa. *Pesquisa e Planejamento Econômico* [S.I.], v. 33, n. 3, 2003.

GONÇALVES, D. A.; LINS, M. P. E. Análise Envoltória de Dados (DEA) na Avaliação de Eficiência de Fundos de Investimentos. In: XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 18-20/10/2000, Viçosa - MG. 2000.

HIRSCHMAN, A. *A estratégia de desenvolvimento econômico*. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

HUNT, E. K. *História do Pensamento Econômico*. 19 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1981.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. n. 04/11/2009: <http://www.ibge.gov.br>, 2009.

IM. Produtividade no Brasil: A Chave do Desenvolvimento Acelerado. *Instituto Mckinsey* [S.I.], 1999.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. disponível em <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>, acessado em 15/06/2010: IPEA, 2010

LAUER, S. Indústria Automobilística: razões da crise. *Brasil Metal*. v. Ano I. n. 307. São Paulo - SP: Confederação Nacional dos Metalúrgicos, 2008.

LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no Ambiente do Apoio à Decisão. *COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro, RJ, 2000.

MARSHALL, A. *Princípios de Economia: Tratado Introdutório*. São Paulo: Abril Cultural, 1982. (Os Economistas).

MOITA, M. H. V. Medindo a Eficiência Relativa de Escolas Municipais da Cidade do Rio Grande - RS, Usando a Abordagem DEA. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)*. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina. 1995.

NARASIMHAM, S. L.; GRAHAM, A. W.; WANG, M. Relative Efficiency and Quality of Global Automobile Companies. *The Journal of Applied Business Research* [S.I.], v. 21, n. 4, 2005.

NICOLAU, J. *A Eficiência Técnica na Produção: Uma Análise da Agropecuária Catarinense*. (1983). 75 f. (Mestrado em Engenharia de Produção) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1983.

NIEDERAUER, C. A. P. *Ethos: Um Modelo para Medir a Produtividade de Pesquisadores Baseado na Análise Envoltória de Dados*. (2002). 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

OBSTEINER, M. *Production Functions and Efficiency Analysis of the Siberian Forest Industry: An Enterprise Survey 1989 and 1992*. Internatuonal Institute for Applied Systems Analysis. Luxemburgo, Austria. 1999

OECD. *Can Cars Come Clean? Strategies For Low-Emission Vehicles*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris. 2004

OICA. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS. n. 31/10/2009: <http://www.oica.net>, 2009.

OLIVEIRA, A. S. D.; RAMASWAMI, R. Como Vencer as Barreiras Competitivas: Alianças Globais como Alternativa para o Planejamento Estratégico. Estudo de Caso de uma Empresa do Ramo Automotivo. *XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. São Paulo: ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2000.

PEREIRA, R. O. O. Avaliação da Eficiência de Instituições Microfinanceiras. *Informe-se* v. 43: BNDES, 2002.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. *Microeconomia*. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

SARANGA, H. The Indian Auto Component Industry: Estimation of Operational Efficiency and its Determinants Using DEA. *European Journal of Operational Research* [S.I.], v. 196, p. 707-718, 2009.

SCRCSSP. *State Service Provision. Data Envelopment Analysis: A Technique for Measuring the Efficiency of Government Service Delivery*. STEERING COMMITTEE FOR THE REVIEW OF COMMONWEALTH. Melbourne. 1997

SENGUPTA, J. K. A Dinamic Efficiency Model Using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Production Economics* [S.I.], v. 62, , p. 209-218, 1999.

SENHORAS, E. M. A Indústria Automobilística sob Enfoque Estático e Dinâmico: Uma Análise Teórica. In: *VIII Seminários em Administração da FEA - USP*. São Paulo 2005.

SENHORAS, E. M.; DIAS, J. M. Tendências da Indústria Automotiva Brasileira: um Estudo do Caso FIAT. *VIII Seminários em Administração da FEA - USP*. São Paulo: SEMEAD, 2005.

SHEPARD, R. W. *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press, 1970.



SILVA, A. C. M. D.; AZEVEDO, G. H. W. D. Eficiência e Sobrevivência: Binômio Fundamental para a Previdência Privada Aberta. *Revista Brasileira de Risco e Seguro*. v. 1. n. 0, Dezembro. 2004.

SILVA, G. L. S. P.; CARMO, H. C. E. Como Medir a Produtividade Agrícola: Conceitos, Métodos e Aplicação no Caso de São Paulo. *Agricultura em São Paulo* [S.I.], v. 33, n. 1 e 2, p. 139 - 170, 1986.

SIMONSEN, M. H. *Teoria Microeconômica*. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1968.

SRAFFA, P. The Laws of Returns Under Competitive Conditions. *Economic Journal* [S.I.], v. XXXVI, n. 144, p. 535-550, 1926.

TATJÉ, E. G.; LOVELLI, C. A. K. A New decomposition of the Malmquist Productivity Index. *Working Paper*. Department of Economics, University of North Carolina, 1993. p. 93-04.

TIGRE, P. B. Paradigmas Tecnológicos e Teorias Econômicas da Firma. *Revista Brasileira de Inovação*. Rio de Janeiro: Finep, 2005.

TOFFLER, A. *A Terceira Onda*. 4. ed. Rio de Janeiro: Record, 1980.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. *Projetos: Planejamento, Elaboração e Análise*. São Paulo: Atlas, , 1996.

WOMACK, P. J.; JONES, D. T.; ROSS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YANG, H.-H.; CHANG, C.-Y. Using DEA window analysis to measure efficiencies of Taiwan's integrated telecommunication firms. *Telecommunications Policy* [S.I.], v. 33, p. 98-108, 2009.

## ANEXOS

Tabela A - Variáveis utilizadas na mensuração da eficiência de 10 montadoras durante o período de 2004 a 2008

| 2004            |                |                       |                  |                        |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| DMU             | nº de fábricas | nº de concessionárias | nº de empregados | Faturamento (em USD\$) |
| Fiat            | 3              | 285                   | 7791             | 5854,8                 |
| Ford            | 3              | 320                   | 7133             | 2956,7                 |
| General Motors  | 4              | 393                   | 16945            | 8841,7                 |
| Honda           | 1              | 64                    | 900              | 404,3                  |
| Mercedes-Benz   | 2              | 184                   | 11360            | 4256,4                 |
| Mitsubishi      | 1              | 79                    | 885              | 896,6                  |
| Renault         | 3              | 235                   | 2499             | 1587,9                 |
| Peugeot Citroën | 2              | 165                   | 1900             | 1326,1                 |
| Toyota          | 2              | 89                    | 1831             | 1735,7                 |
| Volkswagen      | 5              | 599                   | 23087            | 9699,6                 |
| 2005            |                |                       |                  |                        |
| DMU             | nº de fábricas | nº de concessionárias | nº de empregados | Faturamento (em USD\$) |
| Fiat            | 3              | 268                   | 8187             | 6901,9                 |
| Ford            | 3              | 318                   | 9156             | 3789,8                 |
| General Motors  | 4              | 389                   | 19193            | 8623                   |
| Honda           | 1              | 72                    | 1284             | 1571,8                 |
| Mercedes-Benz   | 2              | 184                   | 13014            | 4838,2                 |
| Mitsubishi      | 1              | 88                    | 1135             | 1195,3                 |
| Renault         | 3              | 210                   | 2676             | 1492,1                 |
| Peugeot Citroën | 2              | 170                   | 2145             | 1907                   |
| Toyota          | 2              | 89                    | 2124             | 2375,7                 |
| Volkswagen      | 5              | 556                   | 24582            | 10570,7                |

Tabela A – cont.

| 2006            |                |                       |                  |                        |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| DMU             | nº de fábricas | nº de concessionárias | nº de empregados | Faturamento (em USD\$) |
| Fiat            | 3              | 413                   | 9604             | 8420,2                 |
| Ford            | 4              | 427                   | 9796             | 6170                   |
| General Motors  | 4              | 378                   | 20469            | 9125,7                 |
| Honda           | 1              | 89                    | 1997             | 2015,1                 |
| Mercedes-Benz   | 2              | 190                   | 13024            | 4968,8                 |
| Mitsubishi      | 1              | 114                   | 1469             | 1147,6                 |
| Renault         | 3              | 191                   | 3281             | 1645,8                 |
| Peugeot Citroën | 2              | 186                   | 2632             | 2334,2                 |
| Toyota          | 2              | 116                   | 2755             | 2880                   |
| Volkswagen      | 5              | 420                   | 22434            | 11405,6                |

| 2007            |                |                       |                  |                        |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| DMU             | nº de fábricas | nº de concessionárias | nº de empregados | Faturamento (em USD\$) |
| Fiat            | 3              | 453                   | 12947            | 11223,6                |
| Ford            | 4              | 427                   | 10047            | 620,6                  |
| General Motors  | 4              | 376                   | 21274            | 10284,5                |
| Honda           | 1              | 96                    | 2874             | 2792,5                 |
| Mercedes-Benz   | 2              | 187                   | 13658            | 5333,6                 |
| Mitsubishi      | 1              | 113                   | 1974             | 1451,2                 |
| Renault         | 3              | 199                   | 4521             | 2376,9                 |
| Peugeot Citroën | 2              | 209                   | 3696             | 2504,9                 |
| Toyota          | 2              | 120                   | 3086             | 3436,1                 |
| Volkswagen      | 5              | 524                   | 23606            | 13935,7                |

| 2008            |                |                       |                  |                        |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| DMU             | nº de fábricas | nº de concessionárias | nº de empregados | Faturamento (em USD\$) |
| Fiat            | 3              | 479                   | 12392            | 11452                  |
| Ford            | 4              | 447                   | 10372            | 6128,5                 |
| General Motors  | 4              | 375                   | 23705            | 10731,5                |
| Honda           | 1              | 107                   | 3445             | 3521,2                 |
| Mercedes-Benz   | 2              | 192                   | 13890            | 6111,9                 |
| Mitsubishi      | 1              | 136                   | 1997             | 2023,8                 |
| Renault         | 3              | 207                   | 4615             | 2704,5                 |
| Peugeot Citroën | 2              | 238                   | 4073             | 3341,3                 |
| Toyota          | 2              | 123                   | 3294             | 3848,1                 |
| Volkswagen      | 5              | 526                   | 24599            | 14414,3                |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela B - Análise de janela com rendimentos constantes para 10 montadoras brasileiras no período de 2004-2008

| Montadora       | Janela         | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | Média  |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fiat            | J <sub>1</sub> | 0,8318 | 1,0000 | 1,0000 |        |        | 0,9439 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,8853 | 0,9331 | 1,0000 |        | 0,9395 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8493 | 0,9927 | 1,0000 | 0,9473 |
| Ford            | J <sub>1</sub> | 0,4045 | 0,5093 | 0,6295 |        |        | 0,5144 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,4342 | 0,6255 | 0,6583 |        | 0,5726 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,5851 | 0,6148 | 0,5542 | 0,5847 |
| General Motors  | J <sub>1</sub> | 0,9054 | 0,8799 | 0,9378 |        |        | 0,9077 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,7661 | 0,8300 | 0,9403 |        | 0,8454 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,7336 | 0,8312 | 0,8696 | 0,8115 |
| Honda           | J <sub>1</sub> | 0,2532 | 0,8719 | 0,9030 |        |        | 0,6760 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 1,0000 | 0,9509 | 1,0000 |        | 0,9836 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9016 | 0,9265 | 1,0000 | 0,9427 |
| Mercedes-Benz   | J <sub>1</sub> | 1,0000 | 0,9959 | 1,0000 |        |        | 0,9986 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9039 | 0,8990 | 0,9805 |        | 0,9278 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,7947 | 0,8667 | 0,9673 | 0,8762 |
| Mitsubishi      | J <sub>1</sub> | 0,4668 | 0,5593 | 0,4705 |        |        | 0,4989 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,8603 | 0,6696 | 0,6905 |        | 0,7402 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,6687 | 0,6553 | 0,9055 | 0,7432 |
| Renault         | J <sub>1</sub> | 0,2783 | 0,2881 | 0,3416 |        |        | 0,3027 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,4555 | 0,4098 | 0,4625 |        | 0,4426 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,4294 | 0,4500 | 0,5016 | 0,4604 |
| Peugeot Citroën | J <sub>1</sub> | 0,3312 | 0,4614 | 0,5226 |        |        | 0,4384 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,7263 | 0,7311 | 0,6247 |        | 0,6940 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,7592 | 0,5957 | 0,7360 | 0,6969 |
| Toyota          | J <sub>1</sub> | 0,7443 | 1,0000 | 0,9554 |        |        | 0,8999 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9873 | 0,9217 | 1,0000 |        | 0,9697 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8948 | 0,9531 | 1,0000 | 0,9493 |
| Volkswagen      | J <sub>1</sub> | 0,7261 | 0,8145 | 1,0000 |        |        | 0,8469 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,6921 | 0,9336 | 0,9466 |        | 0,8574 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8252 | 0,8081 | 0,8327 | 0,8220 |
| Média           |                | 0,5942 | 0,7546 | 0,7702 | 0,7999 | 0,8367 |        |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela C - Análise de janela com rendimentos variáveis para 10 montadoras brasileiras no período de 2004-2008

| DMU             | Janela         | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | Média  |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fiat            | J <sub>1</sub> | 0,8430 | 1,0000 | 1,0000 |        |        | 0,9477 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9880 | 0,9810 | 1,0000 |        | 0,9897 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9231 | 1,0000 | 1,0000 | 0,9744 |
| Ford            | J <sub>1</sub> | 0,4194 | 0,5094 | 0,7289 |        |        | 0,5526 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,4683 | 0,7063 | 0,7411 |        | 0,6386 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,6647 | 0,6975 | 0,6277 | 0,6633 |
| General Motors  | J <sub>1</sub> | 0,9116 | 0,8920 | 0,9536 |        |        | 0,9190 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,8200 | 0,8858 | 1,0000 |        | 0,9019 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8492 | 0,9601 | 1,0000 | 0,9364 |
| Honda           | J <sub>1</sub> | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |        |        | 1,0000 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 1,0000 | 0,9509 | 1,0000 |        | 0,9836 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| Mercedes-Benz   | J <sub>1</sub> | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |        |        | 1,0000 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9225 | 0,9227 | 1,0000 |        | 0,9484 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8264 | 0,8950 | 1,0000 | 0,9071 |
| Mitsubishi      | J <sub>1</sub> | 1,0000 | 0,9058 | 0,6803 |        |        | 0,8620 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 1,0000 | 0,6696 | 0,6905 |        | 0,7867 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 1,0000 | 0,7324 | 1,0000 | 0,9108 |
| Renault         | J <sub>1</sub> | 0,3014 | 0,2932 | 0,3479 |        |        | 0,3142 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,4954 | 0,4584 | 0,5202 |        | 0,4913 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,4297 | 0,4877 | 0,5461 | 0,4879 |
| Peugeot Citroën | J <sub>1</sub> | 0,3338 | 0,4659 | 0,5294 |        |        | 0,4430 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,7744 | 0,7869 | 0,6443 |        | 0,7352 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8002 | 0,6015 | 0,7490 | 0,7169 |
| Toyota          | J <sub>1</sub> | 0,7669 | 1,0000 | 0,9640 |        |        | 0,9103 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 1,0000 | 0,9309 | 1,0000 |        | 0,9770 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9327 | 0,9667 | 1,0000 | 0,9665 |
| Volkswagen      | J <sub>1</sub> | 0,8504 | 0,9268 | 1,0000 |        |        | 0,9257 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,7585 | 1,0000 | 1,0000 |        | 0,9195 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9665 | 0,9832 | 1,0000 | 0,9832 |
| Média           |                | 0,7427 | 0,8110 | 0,8296 | 0,8460 | 0,8923 |        |

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela D - Rendimentos de escala para 10 montadoras brasileiras no período de 2004-2008

| DMU             | Janela         | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | Média  |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fiat            | J <sub>1</sub> | 0,9866 | 1,0000 | 1,0000 |        |        | 0,9955 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,8961 | 0,9512 | 1,0000 |        | 0,9491 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9201 | 0,9927 | 1,0000 | 0,9709 |
| Ford            | J <sub>1</sub> | 0,9644 | 0,9997 | 0,8637 |        |        | 0,9426 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9270 | 0,8855 | 0,8882 |        | 0,9002 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8802 | 0,8814 | 0,8830 | 0,8815 |
| General Motors  | J <sub>1</sub> | 0,9932 | 0,9865 | 0,9834 |        |        | 0,9877 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9342 | 0,9370 | 0,9403 |        | 0,9372 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8639 | 0,8657 | 0,8696 | 0,8664 |
| Honda           | J <sub>1</sub> | 0,2532 | 0,8719 | 0,9030 |        |        | 0,6760 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |        | 1,0000 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9016 | 0,9265 | 1,0000 | 0,9427 |
| Mercedes-Benz   | J <sub>1</sub> | 1,0000 | 0,9959 | 1,0000 |        |        | 0,9986 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9799 | 0,9744 | 0,9805 |        | 0,9783 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9616 | 0,9684 | 0,9673 | 0,9658 |
| Mitsubishi      | J <sub>1</sub> | 0,4668 | 0,6175 | 0,6916 |        |        | 0,5920 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,8603 | 1,0000 | 1,0000 |        | 0,9534 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,6687 | 0,8948 | 0,9055 | 0,8230 |
| Nissan\Renault  | J <sub>1</sub> | 0,9233 | 0,9826 | 0,9817 |        |        | 0,9625 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9194 | 0,8939 | 0,8891 |        | 0,9008 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9992 | 0,9228 | 0,9185 | 0,9468 |
| Peugeot Citroën | J <sub>1</sub> | 0,9920 | 0,9904 | 0,9870 |        |        | 0,9898 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9378 | 0,9291 | 0,9696 |        | 0,9455 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9487 | 0,9903 | 0,9826 | 0,9739 |
| Toyota          | J <sub>1</sub> | 0,9706 | 1,0000 | 0,9911 |        |        | 0,9872 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9873 | 0,9901 | 1,0000 |        | 0,9925 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,9594 | 0,9860 | 1,0000 | 0,9818 |
| Volkswagen      | J <sub>1</sub> | 0,8538 | 0,8789 | 1,0000 |        |        | 0,9109 |
|                 | J <sub>2</sub> |        | 0,9124 | 0,9336 | 0,9466 |        | 0,9309 |
|                 | J <sub>3</sub> |        |        | 0,8538 | 0,8219 | 0,8327 | 0,8362 |
| Média           |                | 0,8404 | 0,9339 | 0,9284 | 0,9432 | 0,9359 |        |

Fonte: Resultados da pesquisa.