

JOSE JORGE SALGADO BEHAINE

**O CONTEXTO DA EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA  
SUCROALCOOLEIRA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S164c  
2016 Salgado Behaine, Jose Jorge, 1983-  
O contexto da eficiência e produtividade na indústria  
sucroalcooleira brasileira / Jose Jorge Salgado Behaine. -  
Viçosa, MG, 2016.  
x,93f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador : Ronaldo Perez.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Produtividade. 2. Cana-de-açúcar -  
Indústria. 3. Eficiência industrial. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos.  
Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos. II. Título.

CDD 22. ed. 633.613

JOSE JORGE SALGADO BEHAINE

**O CONTEXTO DA EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA  
SUCROALCOOLEIRA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de Julho de 2016.

---

Prof. Marco Antônio Sartori

---

Prof. Vasco André Barbosa Brandão

---

Prof. Adriano Provezano Gomes  
(Coorientador)

---

Prof. Alexandre Navarro da Silva  
(Coorientador)

---

Prof. Ronaldo Perez  
(Orientador)

## **DEDICATÓRIA**

Para minha mãe Ana Judith pelo seu imenso amor, e luta para me formar como pessoa e como profissional. À memória de meu pai Jorge Eliecer que sempre está presente no meu coração. Para minhas irmãs e irmãos pelo apoio nesta fase de minha vida. A minha esposa Ada, pelo amor, compreensão e apoio nos momentos mais difíceis desta etapa e a meu filho Jose Samuel, por ser minha maior motivação para a culminação deste doutorado.

Señor,  
el pasado a tu misericordia;  
el futuro a tu providencia;  
el presente a tu amor;  
tú sabes Señor que lo único  
que tengo  
es el día de hoy para  
amarte, y por ti a quienes  
me has dado.  
(Padre Pio)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela fortaleza e por me amparar nos momentos difíceis, por me dar força interior para superar as dificuldades e contratempos, por me mostrar o caminho nas horas incertas.

Ao professor Ronaldo Perez pela orientação, dedicação e permanente incentivo.

Aos professores Alexandre Navarro da Silva e Adriano Provezano pela co-orientação, conselhos e valiosos aportes a este trabalho.

Aos Professores Marco Sartori e Vasco Barbosa por seus aportes a este trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa em especial, ao departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

A minha esposa Ada e meu filho Jose Samuel pelo amor, compreensão e apoio.

A minha família, em especial a meus pais, irmãs e irmãos pelo estímulo e apoio.

A meus amigos Marjorie, Juan Camilo, Kellen, Juan Carlos e Geusa Pereira que no momento mais difícil, mas que por fortuna foi o momento mais feliz nos brindaram sua mão amiga; sem seu apoio tivesse sido muito mais difícil essa etapa de aprendizado, muito obrigado.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1: Contextualização do setor sucroalcooleiro no Brasil .....	4
1 Introdução.....	4
2 Perspectivas do setor sucroalcooleiro .....	4
2.1 O setor sucroalcooleiro .....	4
2.2 Produção mundial de cana-de-açúcar .....	6
2.3 Produção mundial de açúcar e etanol .....	8
2.4 O Setor sucroalcooleiro Brasileiro.....	9
2.5 Evolução do setor sucroalcooleiro .....	13
2.6 Perfil das empresas sucroalcooleiras .....	17
3 Considerações Finais.....	20
4 Bibliografia.....	21
CAPÍTULO 2: Avaliação da Produtividade Total dos Fatores do Setor Sucroalcooleiro Brasileiro. ....	24
1 Introdução.....	24
2 Referencial teórico .....	26
2.1 Índice de Malmquist – Produtividade Total dos Fatores (PTF).....	26
3 Metodologia .....	30
3.1 Amostragem e coleta de dados .....	30
3.2 Identificação e seleção das variáveis .....	32
3.3 Identificação do modelo.....	34
3.4 Escolha do tipo de modelagem envoltória de dados.....	37
4 Resultados .....	38
4.1 Índice de Malmquist – Produtividade Total dos Fatores (PTF).....	38
4.1.1 Caracterização das empresas segundo mudança na produtividade total dos fatores 40	
4.1.2 Mudança Tecnológica.....	43

4.1.3	Mudança na eficiência técnica.....	45
5	Conclusões .....	47
6	Bibliografia.....	48
CAPÍTULO 3: Avaliação e análise da eficiência técnica e de escala na indústria sucroalcooleira brasileira: uma abordagem utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA).52		
1	Introdução.....	52
2	Referencial Teórico .....	53
2.1	A eficiência e suas técnicas de mensuração.....	53
2.2	Projeções das empresas.....	56
2.3	Usos e estudos com DEA.....	56
3	Metodologia .....	58
3.1	Amostragem e Coleta dos dados.....	59
3.2	Tratamento dos dados, descrição e seleção das variáveis.....	60
3.3	Análise Envoltória de Dados ( <i>Data Envelopment Analysis – DEA</i> ) .....	62
3.4	O Modelo empregado .....	66
3.5	O diagrama Box Plot.....	68
3.6	Fronteira de Eficiência Invertida .....	68
4	Resultados .....	69
4.1	Análise descritiva e Fatorial.....	69
4.2	Análise das eficiências.....	72
4.3	Projeções das empresas ineficientes .....	75
4.4	Caracterização das empresas .....	77
5	Conclusões .....	80
6	Bibliografia.....	81
Anexos.....		87
CONCLUSÃO GERAL .....		91

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

Tabela 1 – Maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar (dados em mil ton.) 2008 – 2014	7
Tabela 2 – Produção Mundial de Açúcar e etanol.....	8
Tabela 3 – Produção de Cana-de-Açúcar no Brasil por Estados, no período 2005 – 2016.....	9
Tabela 4 – Exportação Anual de Açúcar por estado Brasileiro (ton.) período 2010-2016 .....	11
Tabela 5 – Ranking de exportação de açúcar por estado na safra 2015/2016 .....	12
Tabela 6 – Distribuição das unidades de moagem de acordo com o perfil .....	17
Tabela 7 – Distribuição percentual das unidades processadoras de acordo com a quantidade moída .....	19

### Capítulo 2

Tabela 1 – Distribuição espacial da amostra .....	31
Tabela 2 – Descrição da amostra .....	32
Tabela 3 – Indicadores de desempenho econômico e financeiro das empresas nos períodos 2012 e 2014 para a amostra .....	38
Tabela 4 – Classificação e Decomposição da PTF (Média Geral) .....	39

### Capítulo 3

Tabela 1 – Indicadores utilizados na análise fatorial.....	61
Tabela 2 – Análise descritiva das variáveis de entrada e saída na modelagem DEA.....	70
Tabela 3 – Resultados da Análise Fatorial – Rotação Varimax .....	71
Tabela 4 – Resultado da Análise Fatorial.....	72
Tabela 5 – Distribuição das usinas segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala .....	73
Tabela 6 – Análise descritiva dos escores de eficiência Técnica .....	74
Tabela 7 – Projeção da DMU 18 no modelo BCC-O .....	75
Tabela 8 – Hierarquia das empresas eficientes.....	76
Tabela 9 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis .....	78
Tabela 5 – Escores de eficiência.....	89

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figura 1 – Produtividade da cana-de-açúcar (t/ha) por país, entre os anos 2005 e 2014. ....	7
Figura 2 – Série histórica da área plantada de cana-de-açúcar por Região (a) Norte, (b) Centro-Oeste, (c) Nordeste, (d) Sudeste, (e) Sul, no período de 2005-2016.....	10
Figura 3 – Produção total de Açúcar e Etanol no Brasil, no período 2005-2016.....	11
Figura 4 – Exportação de açúcar do Brasil por país de destino no ano 2013.....	12
Figura 5 – Evolução do número de usinas.....	13
Figura 6 – Comparativo de produção de veículos no Brasil por tipo de combustível, no período 2000-2014.....	14
Figura 7 – Evolução do preço do petróleo, etanol e gasolina no Brasil, no período 2004-2014. ....	15
Figura 8 – Histórico da legislação do etanol no Brasil.....	16

### Capítulo 2

Figura 1 – Índice de Produtividade de Malmquist. ....	29
Figura 2 – Metodologia de Análise – PTF. ....	30
Figura 3 – Distribuição da PTF e seus componentes na amostra estudada. ....	40
Figura 4 – Distribuição das variáveis de estudo por PTF.....	41
Figura 5 – Distribuição das variáveis de estudo por mudança tecnológica.....	45
Figura 6 – Distribuição das variáveis de estudo por mudança na eficiência.....	47

### Capítulo 3

Figura 1 – Organograma das técnicas de mensuração da eficiência. ....	55
Figura 2 – Fluxo de Análise – DEA. ....	59
Figura 3 – Distribuição de frequência de melhorias para o output (Fator 4).....	77
Figura 4 – Distribuição dos índices de eficiência nos três grupos.....	78
Figura 5 – Diagrama Box – Plot de distribuições das variáveis em estudo. ....	79

## RESUMO

SALGADO, Jose Jorge Behaine, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **O contexto da eficiência e produtividade na indústria sucroalcooleira brasileira.** Orientador: Ronaldo Perez. Coorientadores: Adriano Provezano Gomes e Alexandre Navarro da Silva.

A eficiência pode ser definida como a capacidade que tem uma empresa ou uma entidade em conseguir um fim mediante a relação desejável entre os insumos utilizados e os produtos obtidos do seu processo de produção, ou seja, as empresas eficientes procuram maximizar sua produção, utilizando o mínimo de recursos, ou pelo contrario minimizar os recursos dado um nível de produção a atingir (Camargo e Guimarães, 2013). Em outras palavras a eficiência é a capacidade que cada empresa tem de maximizar ou minimizar seus produtos, sem que isto prive-a dos recursos ou meios empregados. O setor sucroalcooleiro é reconhecido pela importância econômica que apresenta para o Brasil, sendo responsável na safra 2013/2014 por 2,0 % do PIB nacional e por 43,3 % do PIB da agricultura no Brasil. No entanto, o setor viu-se afetado seriamente pela crise econômica internacional de 2008, o que acarretou baixos investimentos no setor, que adicionado aos baixos índices de rentabilidade e queda de produtividade nos canaviais causou retração na produção das empresas do setor. Apesar das empresas do setor fazerem uso dos mesmos insumos e possuir os mesmos produtos, existem diferenças em relação aos seus resultados, sendo assim se faz necessária a avaliação da eficiência das empresas do setor; fazendo uso da metodologia de Análise Envoltória de Dados – DEA, na procura de encontrar e caracterizar as empresas eficientes, e através dessa fronteira de eficiência traçar planos para que as empresas ineficientes se tornem eficientes, emulando suas *benchmarking*, entendendo-se *benchmarking* como o grupo de empresas de referencia para a (s) empresa (s) ineficientes (s). Os resultados mostraram que 19,4 % das empresas avaliadas no estudo fazem uso eficiente de seus recursos financeiros, sendo que 69,3 % destas usinas encontram-se localizadas no estado de São Paulo, estado que possui na atualidade a menor alíquota de ICMS sobre o etanol. Com o intuito de fazer mais dinâmico o estudo, foi aplicada a análise mediante o índice de *Malmquist*, que permite mostrar a evolução da produtividade das usinas do setor aumentou em média 12,0 %, sendo esse avanço produto dos ganhos na eficiência técnica. Como conclusão pode se dizer que o setor apresenta potencial de crescimento, as empresas do setor tem mostrado melhorias na eficiência técnica fator que reflete na aproximação destas da fronteira de produção; a eficiência técnica das empresas foi de grande importância para o crescimento da produtividade total dos fatores do setor no período 2012/2014, sendo que empresas grandes tiveram ganhos em tecnologia e empresas pequenas em eficiência. Os fatores de liquidez, endividamento, ativos e lucratividade utilizados neste trabalho se mostraram adequados para avaliação da eficiência de forma estática para o ano 2014, como para a análise dinâmica realizada para o período 2012/2014, o que faz do trabalho referente uma vez que não se tem registros de outros trabalhos para o setor, que empreguem este tipo de variáveis em conjunto com a metodologia DEA.

## ABSTRACT

SALGADO, Jose Jorge Behaine, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **The context of Efficiency and Productivity in the Brazilian sugar industry.** Adviser: Ronaldo Perez. Co-advisers: Adriano Provezano Gomes and Alexandre Navarro da Silva.

Efficiency can be defined as the ability of a company or an entity in achieving an end by the desirable relationship between the inputs used and the products obtained from their production process, ie, efficient companies seek to maximize their production using the minimal resources, or the contrary minimize the resources given a production level to be attained (Camargo and Guimarães, 2013). In other words, the efficiency is the ability of each company has to maximize or minimize its products without this depriving it of the resources or means employed. The sugar and alcohol sector is recognized by the economic importance that has for Brazil, accounting for the crop 2013/2014 by 2.0% of GDP and 43.3% of GDP of agriculture in Brazil. However the sector was seen seriously affected by the international economic crisis of 2008, which led to low investment in the sector, which added to the low levels of profitability and productivity fall in the cane fields caused decrease in the production of companies in the sector. Despite the sector's companies to make use of the same inputs and possess the same products, there are differences in relation to their results, so it is necessary to evaluate the efficiency of companies in the sector; making use of data envelopment analysis methodology - DEA, in seeking to find and characterize efficient companies, and through this trace efficiency frontier plans for inefficient companies to become efficient, emulating their benchmarking, understanding benchmarking as the group reference companies for the undertaking (s) (s) inefficient (s). The results showed that 19.4% of companies evaluated in the study make efficient use of its financial resources, and 69.3% of these plants are located in São Paulo, a state that has nowadays the lower VAT rate on ethanol. In order to make more dynamic the study was applied to analysis by the Malmquist index, which allows you to show the evolution of the productivity of the industry's plants increased on average by 12.0%, with this breakthrough product of gains in technical efficiency. In conclusion it can be said that the sector has growth potential, companies in the sector has shown improvements in technical efficiency factor reflecting on the approximation of the production frontier; the technical efficiency of enterprises was of great importance for the growth of the total productivity of industry factors in the period 2012/2014, and large companies had gains in technology and small business efficiency. Liquidity factors, debt, active and profitability used in this study were suitable for evaluation of statically efficiency for the year 2014 as for the dynamic analysis performed for the period 2012/2014, which makes the work relating since it has no records of other jobs in the sector, employing this type of variables in conjunction with the DEA.

## INTRODUÇÃO GERAL

O setor sucroalcooleiro brasileiro é um dos mais competitivos do mundo nos dois elos da sua cadeia produtiva, ou seja, tanto no campo como na indústria fruto do apoio dado pelas pesquisas e desenvolvimento da ciência e tecnologia focadas em aumentar a eficiência dos sistemas de produção de cana-de-açúcar e sua industrialização. Nos últimos anos no Brasil a cultura da cana-de-açúcar teve um crescimento significativo, segundo dados da União da Indústria da Cana de Açúcar (UNICA, 2016) a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil cresceu mais de cinco milhões de hectares desde o ano 2000 alcançando aproximadamente 10,8 milhões de hectares em 2015. O Brasil como maior produtor de cana-de-açúcar a nível mundial produziu na safra 2015/2016, mais de 33,8 milhões de toneladas de açúcar e 30 mil m<sup>3</sup> de etanol.

O crescente número de novas usinas no setor sucroalcooleiro, o aumento da produtividade, junto à indisponibilidade de áreas de expansão para cultivos de cana-de-açúcar em algumas regiões do país têm gerado um cenário de acirrada concorrência entre as empresas do setor, exigindo destas que possuam diferenciais. Os autores (Junior et al., 2009) afirmam que por ser os produtos do setor sucroalcooleiro negociados como *commodities*, a vantagem competitiva destes está relacionada a fatores como preço e ganho de escala e não à sua diferenciação; sendo assim se torna imprescindível conhecer os fatores ou variáveis que levariam as usinas a operarem eficientemente. Além do relatado o setor sucroalcooleiro enfrenta uma grande crise econômica sendo mais intensa para o setor alcooleiro que para o açucareiro; conhecer os motivos e/ou fatores que originaram essa crise pode ajudar a supera-la criando padrões de estabilidade. Segundo (Santos et al., 2015) grupos econômicos nacionais sólidos contornaram e conseguiram crescer durante essa crise, indicando que existem estratégias para o controle da crise a partir de uma gestão empresarial mais eficiente. Os autores Torquato, Martins e Ramos (2009) em seu trabalho *Cana-de-açúcar no estado de São Paulo: eficiência econômica das regiões novas e tradicionais de produção* destacam que qualquer que seja a empresa que tenha como objetivo a produção de um bem ou serviço, deve visar sempre o uso eficiente dos recursos empregados para a produção, no mesmo trabalho os autores afirmam que a acirrada concorrência do setor sucroalcooleiro devido ao ingresso de novas empresas com melhores tecnologias tem levado à melhoria na gestão dos recursos empregados, visando à melhoria da eficiência produtiva. No entanto, existe na atualidade disparidade de eficiência operacional no setor sucroalcooleiro no Brasil, apresentando-se uma

grande variabilidade na eficiência das usinas do setor, sobretudo em relação às estratégias empregadas na obtenção da cana-de-açúcar para seu posterior processamento industrial.

O principal problema está em que muitas das empresas do setor desconhecem seus parceiros de excelência e as tecnologias que aplicam as empresas que conseguem crescer ainda em meio a crise, sendo assim, o intuito deste trabalho foi avaliar e analisar a eficiência do setor sucroalcooleiro brasileiro com o auxílio da Análise Envoltória de Dados – DEA, verificando a relação e o impacto de variáveis de tipo econômica, procurando fornecer aos gestores informações que lhes permitam estruturar de melhor maneira seus processos operacionais. Tendo como base os fatores anteriormente mencionados foi interessante a realização de estudos e análises que objetivaram compreender os diferenciais produtivos de empresas do setor sucroalcooleiro.

Devido à importância que a indústria sucroalcooleira representa para o país e para alguma das suas regiões, e da necessidade de aumentar sua eficiência foi necessário estudar as diferenças de eficiência das usinas sucroalcooleiras através de fatores determinantes dessa eficiência. Além disso, é importante estudar a eficiência das usinas porque através dessa análise foi possível verificar diferentes alternativas para a melhoria dos processos produtivos. O estudo da eficiência fornece ferramentas importantes para o planejamento de decisões estratégicas gerando resultados com implicações gerenciais, que permitem a comparação entre usinas. Estas comparações são importantes no sentido de avaliar o resultado de suas operações quando comparadas com outras usinas, principalmente aquelas que se constituem em *benchmarking*, por se apresentarem eficientes, entendendo-se por *benchmarking* a comparação sistêmica do processo e do rendimento de uma entidade de produção frente a outras unidades, que poderiam ser países, organizações, empresas, indústrias projetos ou indivíduos.

Para uma melhor compreensão do trabalho, foi necessário dividi-lo em três artigos. O primeiro deles faz uma abordagem da situação atual e as perspectivas do setor sucroalcooleiro, tanto a nível internacional como no Brasil abordando aspectos relevantes do setor como: produção, produtividade, políticas governamentais que aplicam para o setor, além de se apresentar um levantamento do perfil das empresas sucroalcooleiras, esta abordagem foi feita com o intuito de ter uma melhor perspectiva das empresas que atuam no setor e mostrar as características principais do mercado do setor sucroalcooleiro. No segundo artigo a proposta foi avaliar a produtividade total dos fatores das empresas sucroalcooleiras, através do

Índice de *Malmquist* e sua decomposição para o período 2012/2014, o objetivo deste artigo é mostrar a evolução do setor neste período e mostrar os avanços sejam eles tecnológicos ou por eficiência. No terceiro e último artigo é avaliada a eficiência técnica, eficiência de escala e a eficiência invertida das usinas do setor para o ano 2014, ou seja, a avaliação feita neste artigo foi estática sem considerar as mudanças no tempo, o objetivo foi avaliar estas eficiências com os dados mais recentes do setor.

## **CAPÍTULO 1: Contextualização do setor sucroalcooleiro no Brasil**

### **1 Introdução**

O setor sucroalcooleiro brasileiro é considerado como um dos mais competitivos do agronegócio brasileiro, tanto no campo como na indústria, fruto do apoio dado pelas pesquisas e desenvolvimento da ciência e tecnologia focadas em aumentar a eficiência dos sistemas de produção de cana-de-açúcar e sua industrialização. Nos últimos anos, no Brasil, a cultura da cana-de-açúcar teve um crescimento significativo, segundo dados da União da Indústria da Cana-de-Açúcar Instituto UNICA (2016), a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil cresceu mais de cinco milhões de hectares desde o ano 2005 alcançando aproximadamente 10,8 milhões de hectares até 2015. O Brasil como maior produtor de cana-de-açúcar a nível mundial produziu na safra 2015/2016, mais de 33 milhões de toneladas de açúcar.

Este crescimento é uma consequência direta do aumento de usinas no setor sucroalcooleiro neste período. Este fato gerou não só expansão da produção agrícola e industrial, mas também um cenário de acirrada concorrência entre as empresas do setor, exigindo destas diferenciais competitivos. Como os produtos deste setor são negociados como *commodities*, a vantagem competitiva tende a estar relacionada ao preço do produto, ao ganho de escala e não a sua diferenciação, o que torna imprescindível conhecer os fatores ou variáveis que levariam as usinas a operar eficientemente. O objetivo deste primeiro capítulo é fazer uma revisão da situação atual do setor sucroalcooleiro tanto a nível internacional como nacional, apresentando dados como área destinada para cultivo de cana-de-açúcar por estado, no Brasil, rendimentos de cana-de-açúcar por hectare, produção tanto de açúcar como de etanol por estado, e comparar a produção nacional com a produção internacional, é também apresentado o perfil das empresas do setor para uma melhor caracterização das empresas participantes do setor, através de sua capacidade de produção e tipos de produtos por estado entre outras características.

### **2 Perspectivas do setor sucroalcooleiro**

#### **2.1 O setor sucroalcooleiro**

Nos últimos anos no Brasil a cultura da cana-de-açúcar teve um crescimento significativo, segundo dados da União da Indústria da Cana-de-Açúcar - UNICA, (2016) a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil cresceu mais de cinco milhões de hectares desde o

ano 2005 alcançando aproximadamente 10,8 milhões de hectares até 2015, incentivado pela demanda de álcool combustível como substituto renovável de fontes não renováveis de energia como a gasolina, carvão mineral e outros derivados, salientado também pelo aumento da demanda por açúcar no mercado internacional e conseqüente aumento de seu preço estimulando sua produção.

O Brasil como maior produtor de cana-de-açúcar a nível mundial produziu, na safra 2014/2015, mais de 35 milhões de toneladas de açúcar e 28,4 milhões de metros cúbicos de etanol. O estado de São Paulo responde por 43 % da produção de etanol, seguido de Goiás (14 %), Minas Gerais (9 %), Mato Grosso do Sul (8 %), Paraná (5,6 %) e Mato Grosso (4 %). Em relação à produção de açúcar o Estado de São Paulo responde por 89 % da produção total, seguido de Minas Gerais (9 %), Paraná (8 %), Goiás (5,6 %), Mato Grosso do Sul (3,7 %) e Mato Grosso (1,1 %) (UNICA, 2016b).

Para a mesma safra o Brasil exportou 24,2 milhões de toneladas de açúcar, e 1,3 milhões de metros cúbicos de etanol, representando para o setor 9,2 bilhões de dólares e 874,8 milhões de dólares respectivamente. O produto Interno Bruto do setor, para a safra 2013/2014 foi estimado em US\$43,36 bilhões, o equivalente a quase 2 % do PIB nacional. Além disso, estima-se que a cadeia produtiva do setor, empregue diretamente mais de 613 mil pessoas, cifra que pode chegar aos 988 mil se considerados o uso de empregos sazonais, e aumenta ainda mais até 3,56 milhões de pessoas se considerados os empregos informais diretos e indiretos. Os gastos em salários do setor na safra 2013/2014 chegou a US\$4,13 bilhões (NEVES e TROMBIN, 2014).

As usinas sucroalcooleiras que processam a cana-de-açúcar e produzem tanto açúcar como etanol, são empresas consideradas como não homogêneas, apresentando estruturas gerenciais e resultados bem distintos umas das outras. As empresas do setor têm procurado se manter na liderança através da procura por eficiência, melhoria de sua produtividade e procura pela competitividade (PEREIRA, 2012). Estas indústrias procuram maior participação no mercado e nos ganhos de escala. Sendo assim, é importante avaliar o comportamento da eficiência produtiva das empresas do setor.

Segundo Colin (2009), desde o século 16 a cana-de-açúcar tem sido uma das culturas mais importantes cultivadas no Brasil, e durante o século 16 e 17 a região Nordeste do Brasil tornou-se o primeiro produtor e exportador mundial de açúcar bruto (FURTADO,

SCANDIFFIO, E CORTEZ, 2011). Na atualidade, o setor sucroalcooleiro brasileiro constituído de empresas que produzem açúcar e álcool continua sendo um setor de significativa importância na economia do país. O setor foi responsável por aproximadamente US\$46,36 bilhões, representando 2 % do PIB nacional e 43,4 % do PIB da agricultura no Brasil na safra 2013/2014 (NEVES e TROMBIN, 2013).

Apesar dos dados apresentados, o setor sucroalcooleiro passa por um período de incerteza. A crise econômica internacional iniciada em 2008, originada no setor hipotecário dos Estados Unidos, acabou acarretando para o setor baixos níveis de investimento, que adicionado com os baixos índices de rentabilidade e quedas na produtividade dos canaviais, acabou em uma retração da produção nas últimas safras (XAVIER, 2014). Pesquisas apontam que fatores como condições climáticas, renovação inadequada de canaviais e falta de investimento nas lavouras, são os maiores responsáveis pelo baixo rendimento no setor, devido a que, após a crise econômica de 2008, os investimentos no setor cessarem e a expansão dos canaviais foi comprometida, em especial pela redução abrupta do crédito, que era abundante até então.

A discussão entre todos os agentes participantes da cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro sobre a busca de ganhos de eficiência que garantam maior competitividade e segurança para o setor tem levado a compreender a importância da mensuração da eficiência dentro do setor.

## **2.2 Produção mundial de cana-de-açúcar**

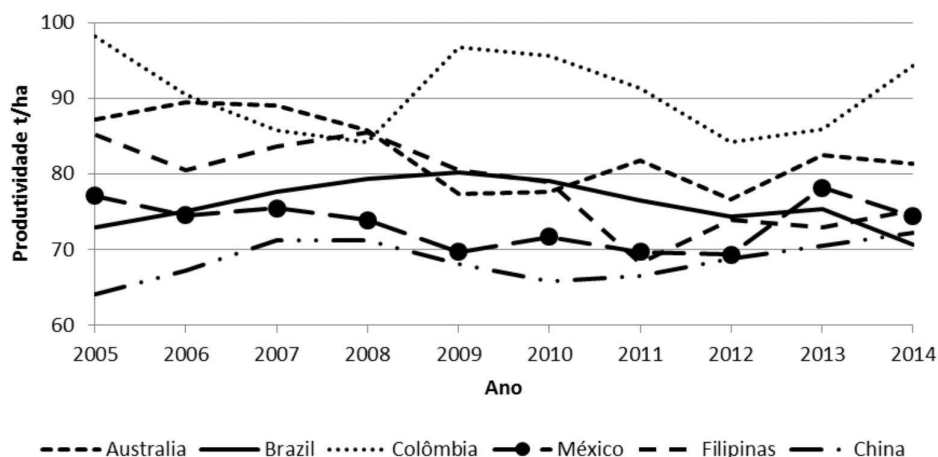
Os maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar são: Brasil, Índia, China e Tailândia. Na Tabela 1 é possível observar que a produção de cana-de-açúcar do ano 2008 até 2014 evoluiu 9,45 %, passando de 1,8 bilhões de toneladas para 2,02 bilhões de toneladas. O Brasil foi responsável por 36,5 % da produção mundial em 2014. Em termos de área plantada, a produção de cana-de-açúcar a nível mundial ocupou 25 milhões de hectares em 2008 e 28,8 milhões de hectares em 2014.

**Tabela 1** – Maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar (dados em mil ton.) 2008 – 2014

País	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Varição 2008-2014 (%)
Brasil	645.300	691.606	717.463	734.006	721.077	768.090	737.155	14,23
Índia	348.187	285.029	292.301	342.382	361.036	341.200	352.142	1,14
China	124.917	116.250	111.501	115.123	124.038	128.734	126.153	0,99
Tailândia	73.501	66.816	68.807	95.950	98.400	100.095	103.697	41,08
Paquistão	63.920	50.045	49.372	55.308	58.397	63.749	67.460	5,54
México	51.090	49.492	50.421	49.735	50.946	61.182	56.672	10,93
Colômbia	32.300	36.700	33.300	34.889	33.363	34.876	38.157	18,13
Filipinas	34.000	32.500	28.000	30.000	32.000	31.874	32.464	-4,52
Austrália	32.621	30.284	31.457	25.181	25.957	27.136	30.518	-6,45
Indonésia	25.600	26.400	26.600	24.000	28.700	28.400	28.600	11,72
Outros	414.472	410.543	389.043	402.816	421.793	441.512	447.242	7,91
Total	1.845.911	1.795.668	1.798.270	1.909.393	1.955.710	2.026.851	2.020.262	9,45

Fonte de dados: FAO (2016) – Elaborado pelo autor.

Apesar do Brasil ser o maior produtor mundial, em relação a produtividade ocupa apenas a quarta posição. Os países com maior produtividade são Colômbia, Austrália, Filipinas e Brasil com rendimentos de 94,33 t/ha, 81,38 t/ha, 75,14 t/ha, e 70,62 t/ha respectivamente, para o ano 2014 (Figura 1). Sendo que a produtividade brasileira já passou por momentos de crescimento e está em fase de decréscimo, o que demonstra a existência de potencial de avanço em produtividade.



**Figura 1** – Produtividade da cana-de-açúcar (t/ha) por país, entre os anos 2005 a 2014. Fonte de dados: FAO (2016) – Elaborado pelo autor.

Segundo dados apresentados pela Conab (2016), a produtividade média dos cultivos de cana-de-açúcar durante as últimas 5 safras no Brasil tem mostrado uma tendência de crescimento e melhoria; passando de 67 kg/ha na safra 2011/12 para 77 kg/ha na safra

2015/16, sendo a região Centro-Sul a responsável por essa melhoria; nesta região, que sempre manteve a média superior à média nacional, a produtividade passou de 68,6 kg/ha na safra 2011/12 para 80,2 kg/ha na safra 2015/16 mostrando assim o potencial de crescimento que tem o setor no que se refere à produtividade dos canaviais.

### 2.3 Produção mundial de açúcar e etanol

O Brasil é líder na produção de açúcar com 39 milhões de toneladas em 2013, seguida da Índia, com 27 milhões, União Europeia, com 16 milhões e China com 14 milhões de toneladas (Tabela 2). Como a cana-de-açúcar não é única matéria prima para produção de açúcar, neste quadro aparecem outros países, principalmente europeus, com produção de açúcar a partir de beterraba. Além disso, como a produção de etanol combustível é um importante produto da cana-de-açúcar no Brasil, e de baixa expressão na Índia, China e Tailândia, o Brasil se destaca também na produção de etanol.

Segundo cifras da RFA (2016) o Brasil ocupa o segundo lugar na produção de etanol a nível mundial, só atrás dos Estados Unidos, sendo que a produção do etanol nos EUA é baseada em milho. Mesmo assim a produção de etanol no Brasil cresce ano a ano, tendo saído de 23,07 Bilhões de litros em 2008 para 28,6 Bilhões de litros em 2015.

**Tabela 2** – Produção Mundial de Açúcar e etanol

<b>País</b>	<b>Produção de Açúcar (Ton.)</b>	<b>Produção de Etanol (Milhões de Galões)</b>
<i>Brasil</i>	39.494.000	7.093
<i>Índia</i>	27.737.000	211
<i>China</i>	14.746.000	813
<i>Tailândia</i>	10.024.000	334
<i>EUA</i>	7.636.000	14.806
<i>México</i>	6.974.799	-
<b>Outros</b>	<b>72.361.412</b>	<b>610</b>

Fonte de dados: FAO (2016); RFA (2016).

Dados da UNICA (2016) mostram que a produção de açúcar no Brasil é destinada principalmente para o consumo interno, e exportada a países em desenvolvimento. O consumo de açúcar é muito atrelado ao crescimento populacional e de renda, indicando que o consumo de açúcar aumenta à medida em que aumenta a população e a renda das pessoas.

Já o crescimento da produção do etanol brasileiro, está atrelado à política de combustíveis do governo brasileiro e ao crescimento veicular do país.

## 2.4 O Setor sucroalcooleiro Brasileiro

Como informado o Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar, e não somente produz a matéria-prima, como também é o maior produtor mundial de açúcar e segundo maior produtor de etanol. De acordo com o Programa de Cana-de-açúcar – PROCANA – o setor sucroalcooleiro foi responsável por aproximadamente 2 % do PIB nacional e por 31 % do PIB da agricultura no Brasil no ano 2012 (PROCANA, 2014).

O cultivo de cana-de-açúcar se dá quase em todo o território nacional, sendo que o estado de São Paulo responde por 52 % da produção, seguido pelos estados de Goiás (9,5 %) Minas Gerais (8,9 %), Mato Grosso do Sul (7,4 %) e Paraná (7,1 %). Estes cinco estados juntos foram responsáveis por pouco mais do 84,9 % do açúcar produzido no Brasil na safra 2014/2015 (Ver Tabela 3) (CONAB, 2016).

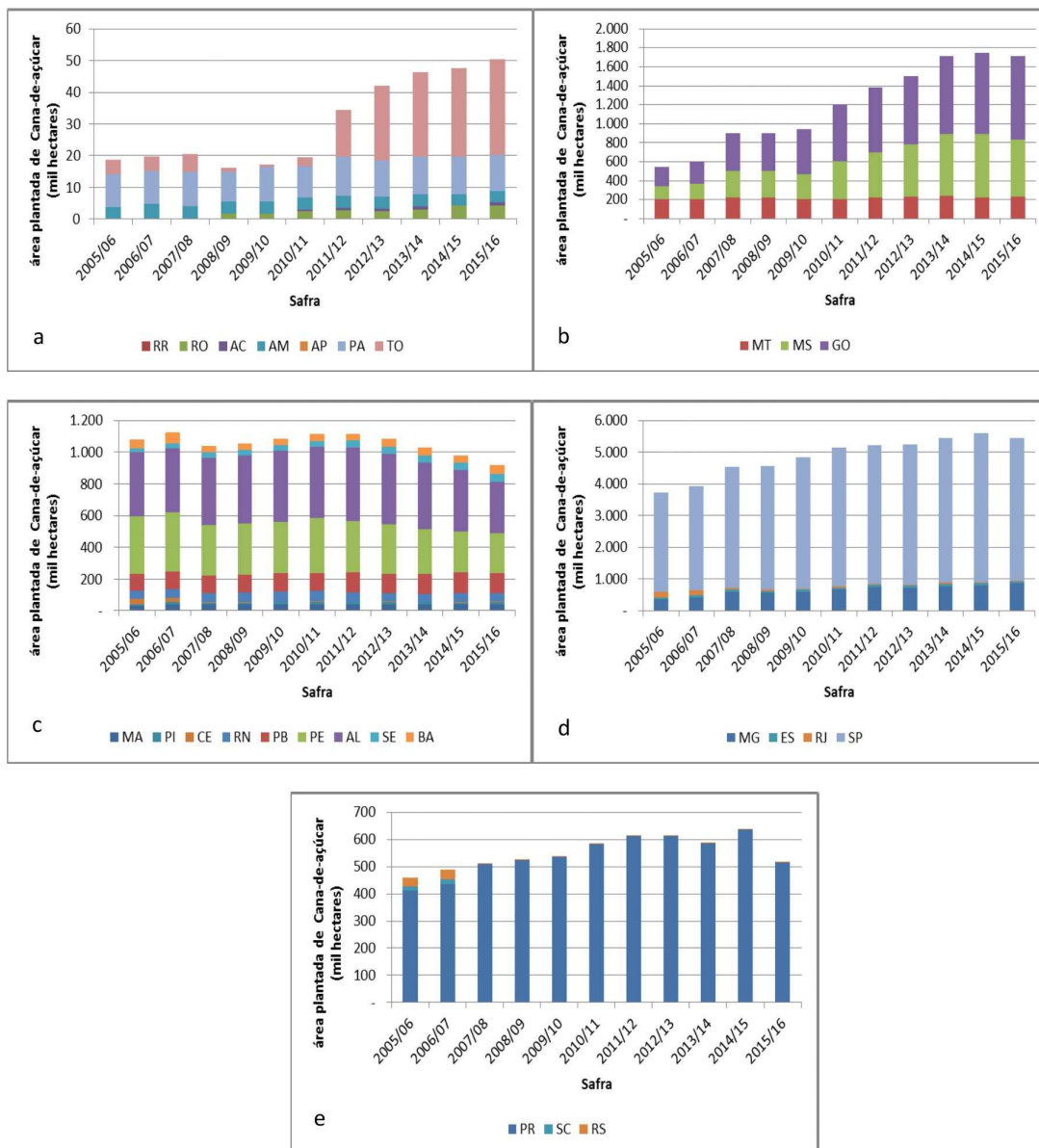
**Tabela 3** – Produção de Cana-de-Açúcar no Brasil por Estados, no período 2005 – 2016 (1000 ton)

UF	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14	14/15	15/16
SP	3.146,6	3.288,2	3.824,2	3.882,1	4.129,9	4.357,0	4.370,1	4.419,5	4.552,0	4.685,7	4.498,3
GO	202,5	234,9	401,8	401,8	471,9	599,3	678,4	725,9	818,4	854,2	885,8
MG	357,1	420,0	600,7	564,5	588,8	659,6	742,7	721,9	779,8	805,5	866,5
MS	139,1	160,0	275,8	275,8	265,4	396,2	480,9	542,7	654,5	668,3	596,8
PR	410,9	436,0	509,3	524,5	536,0	582,3	611,4	610,8	586,4	635,0	515,7
AL	402,1	402,7	426,8	432,0	448,0	451,2	463,7	445,7	417,5	385,3	323,6
PE	362,4	369,6	316,6	321,4	321,4	346,8	326,1	312,1	284,6	260,1	254,2
Outros	819,6	851,9	655,0	655,8	648,1	663,7	689,3	706,4	718,2	710,4	713,4
<b>Total</b>	<b>5.840,3</b>	<b>6.163,3</b>	<b>7.010,2</b>	<b>7.057,9</b>	<b>7.409,5</b>	<b>8.056,1</b>	<b>8.362,6</b>	<b>8.485,0</b>	<b>8.811,4</b>	<b>9.004,5</b>	<b>8.654,2</b>

Fonte de dados: Conab (2016).

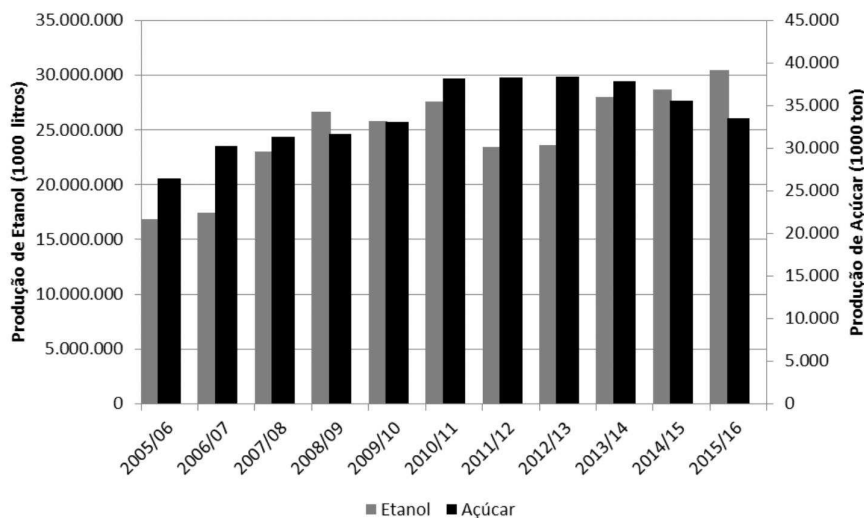
O autor Kohlhepp (2010) atribui o diferencial na produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo ao Programa Nacional de Alcool e às condições de infraestrutura que oferece o estado em termos de portos e rodovias.

O avanço da produção foi seguido pela expansão da fronteira agrícola canavieira em regiões de produção no estado de Minas Gerais e do Centro-Oeste do país, como mostrado pelos gráficos de área plantada (Figura 2a – 2e).



**Figura 2** – Série histórica da área plantada de cana-de-açúcar por Região (a) Norte, (b) Centro-Oeste, (c) Nordeste, (d) Sudeste, (e) Sul, no período de 2005-2016. Fonte de dados: Conab (2016) – Elaborado pelo autor.

A produção de açúcar e etanol no Brasil na safra 2014/2015 foi de 35,5 milhões de toneladas e 28,6 bilhões de litros, respectivamente (Figura 3).



**Figura 3** – Produção total de Açúcar e Etanol no Brasil, no período 2005-2016.  
 Fonte de dados: Conab (2016) – Elaborado pelo autor.

A Figura 3 ilustra a capacidade que tem as empresas mistas de escolher o mix de produção que melhor se adapte às empresas, em função do produto que apresente a melhor taxa de atratividade. A produção de açúcar nas safras 2010/11, 2011/12, 2012/13 e 2013/14 viu-se incentivada fortemente pelos preços internacionais do açúcar apresentados nesse período, variando em média de U\$/ton 703,79 em 2010 até U\$/ton 440,24 em 2014, a partir de 2015 o preço internacional do açúcar se torna menos interessante para as empresas, tornando mais atrativa a produção de etanol nestas ultimas safras.

Com relação às exportações, os estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais são caracterizados como os mais importantes produtores e exportadores de açúcar, representando 85,3 % do total das exportações brasileiras de açúcar (Tabela 4 e 5) (MAPA, 2014).

**Tabela 4** – Exportação Anual de Açúcar por estado Brasileiro (ton.) período 2010-2016

<b>Estados</b>	<b>2010/2011</b>	<b>2011/2012</b>	<b>2012/2013</b>	<b>2013/2014</b>	<b>2014/2015</b>	<b>2015/2016</b>
<b>SP</b>	18.264.427	15.026.669	16.337.433	17.702.997	15.032.511	15.878.646
<b>PR</b>	2.721.486	2.755.990	2.782.530	2.623.616	2.676.001	2.526.316
<b>MG</b>	1.779.368	2.373.199	2.639.601	2.557.624	2.396.422	2.655.681
<b>AL</b>	1.877.355	1.896.855	1.719.511	1.319.065	1.585.853	1.135.830
<b>MS</b>	1.030.736	1.293.809	1.514.941	1.109.908	1.056.637	969.895
<b>Outros</b>	1.840.391	1.599.177	1.795.797	1.158.177	50.955	68.639,41
<b>Total (Brasil)</b>	<b>27.514.452</b>	<b>24.945.701</b>	<b>26.791.778</b>	<b>26.629.993</b>	<b>24.244.247</b>	<b>24.681.463</b>

Fonte de dados: (UNICA, 2016).

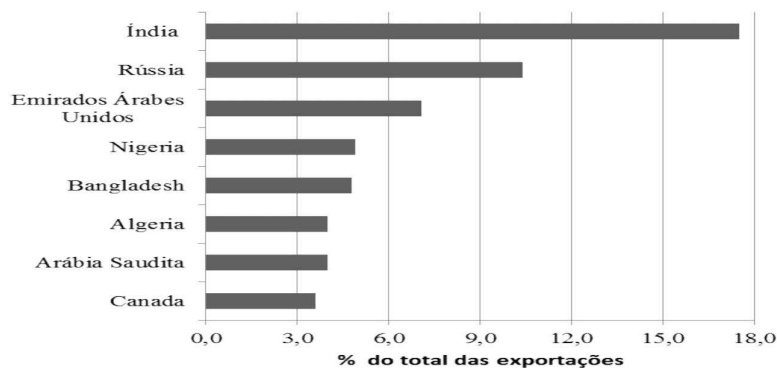
Segundo dados apresentados pelo MAPA (2015) 72,6 % das exportações de açúcar saem pelo porto de Santos no estado de São Paulo, no ano 2015 saíram por este porto 17.447.027 de toneladas, já pelo porto de Paranaguá (PR) no mesmo ano saíram 4.836.422 de toneladas, ou seja, 20,1 % do total das exportações saíram pelo porto, outros portos de importancia são Maceió por onde saíram 1.036.889 (4,31 %) e Recife por onde saíram 558.168 toneladas (2,32 %), o que quer dizer que por estes quatro portos saem o 99,33 % das exportações brasileiras de açúcar, provenientes de estados como São Paulo, Minas Gerais, Alagoas, Mato Grosso do Sul entre outros.

**Tabela 5** – Ranking de exportação de açúcar por estado na safra 2015/2016

<b>Estados</b>	<b>Quantidade (ton.)</b>	<b>Participação na qtde (%)</b>	<b>Valor (US\$ mil)</b>	<b>Participação no valor (%)</b>
<b>SP</b>	15.878.646	68,22	4.720.411	63,23
<b>PR</b>	2.526.316	10,85	813.254	10,89
<b>MG</b>	2.655.681	11,41	809.240	10,84
<b>AL</b>	1.135.830	4,88	361.452	4,84
<b>MS</b>	969.895	4,17	290.835	3,90
<b>Outros</b>	68.639,41	0,29	470.264	6,30
<b>Total (Brasil)</b>	<b>23.276.408</b>	<b>100,00</b>	<b>7.465.456</b>	<b>100,00</b>

Fonte de dados: (UNICA, 2016).

De acordo com a Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (MDIC), o Brasil exportou 27,15 milhões de toneladas de açúcar no ano 2013, ou seja, 11,6 % a mais em relação as 24,34 milhões de toneladas de açúcar exportadas no ano 2012. O principal destino das exportações foi a Índia (17,5 %), seguida da Rússia (10,4 %) e os Emirados Árabes (7,1 %) (Figura 4).

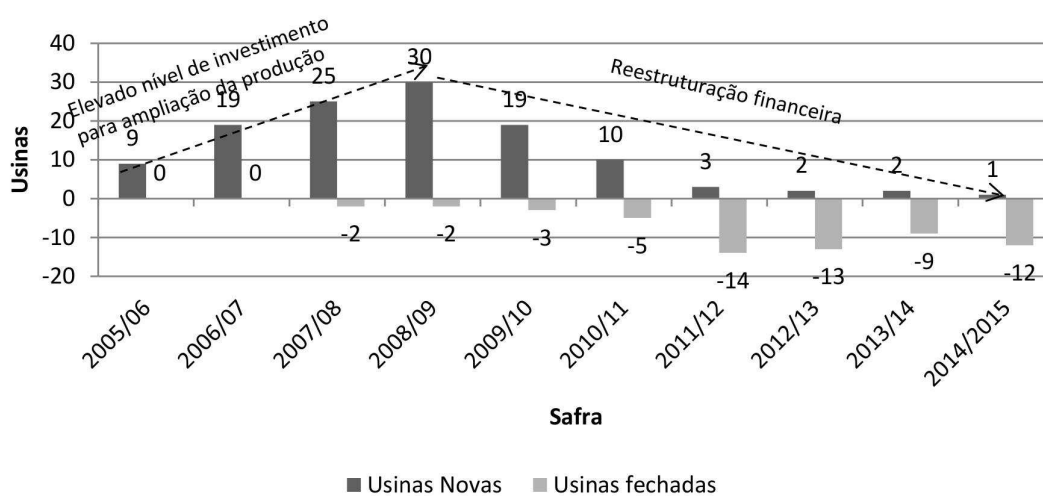


**Figura 4** – Exportação de açúcar do Brasil por país de destino no ano 2013.

Fonte de dados: MAPA, 2014.

## 2.5 Evolução do setor sucroalcooleiro

O ambiente de prosperidade fomentado pela forte demanda de açúcar e etanol, gerou um grande interesse internacional, na década de 2000. Este fato não só gerou aquisições e fusões no setor como a construção de novas unidades industriais para o processamento da cana-de-açúcar no país (Figura 6) (SOUSA e PINHEIRO, 2011). Dados do MAPA (2016) indicam que o preço médio das exportações brasileiras de açúcar tem caído a partir do ano 2011 passando de U\$589,20/ton para U\$323,76/ton o que representa uma diminuição de U\$265,44/ton em termos absolutos; este fato como observado na Figura 5, coincide com o período em que foram fechadas em torno de 53 usinas sucroalcooleiras em tudo Brasil.

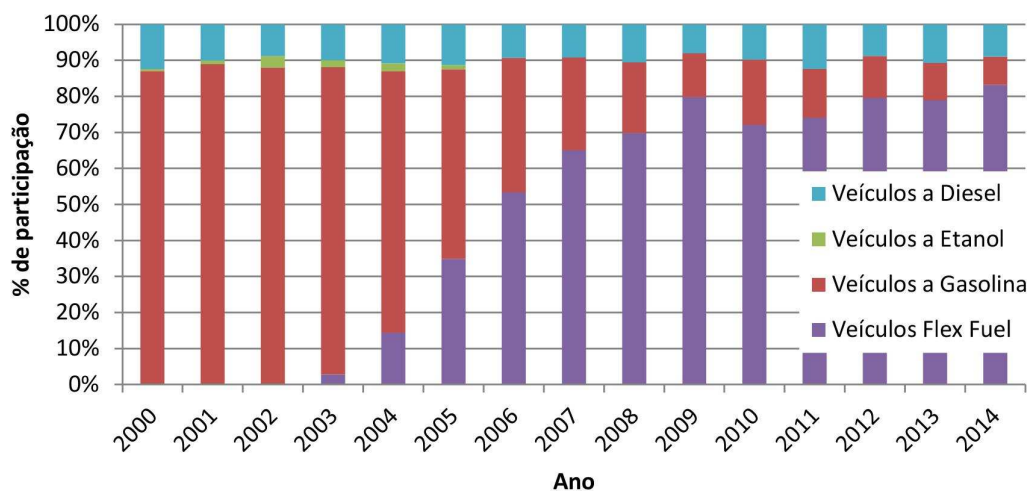


**Figura 5** – Evolução do número de usinas.

Nota: Dados negativos indicam fechamento de usinas.

Fonte: (Santos, Garcia e Shikida, 2015) com modificações.

De uma forma mais clara, a aceleração dos investimentos em novas usinas, a partir de 2003, foi fortemente motivada pelo crescimento da demanda de açúcar no mercado internacional, especialmente após a reforma política europeia para o produto, e pelo uso crescente do etanol, a partir do desenvolvimento dos veículos com motores *Flex Fuel* no país (Figura 6). “Além disso, havia perspectiva de exportar o produto para um número crescente de países que optavam por acrescentar os biocombustíveis em suas matrizes energéticas, principalmente os Estados Unidos e a Europa, com o estabelecimento da política de biocombustíveis em 2005” (FIESP, 2013, p. 38).



**Figura 6** – Comparativo de produção de veículos no Brasil por tipo de combustível, no período 2000-2014.

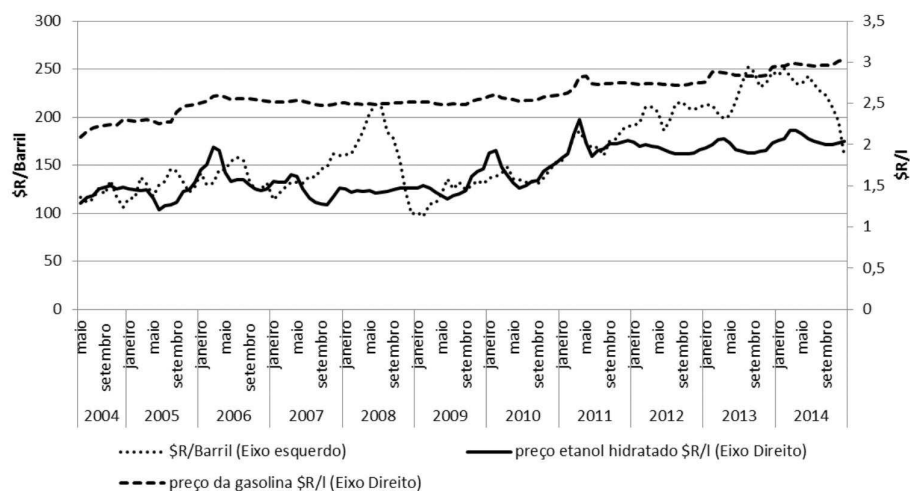
Fonte de dados: ANFAVEA (2015) – Elaborado pelo autor.

No entanto, após esse período de prosperidade da década anterior, caracterizado pelo intenso processo de fusão de empresas e aquisição de grupos empresariais e investimentos de grupos estrangeiros, o setor sucroalcooleiro passa por um período de incerteza (PINTO, 2011; SIQUEIRA e JUNIOR, 2011).

A crise econômica de 2008 reduziu o nível de investimentos no setor, deteriorou os níveis de rentabilidade e promoveu uma retração da produção nas últimas safras (XAVIER, 2014). A partir da safra 2009/2010, até a safra 2012/2013, houve não só uma ruptura com o ritmo de crescimento, como também a produção passou a variar negativamente em 1 % ao ano. Após a crise financeira de 2008, os investimentos no setor cessaram e a expansão dos canaviais foi comprometida, em especial pela redução abrupta do crédito, que era abundante até então. Como resultado, grande parte das empresas viram-se altamente endividadas, cenário que foi potencializado pelo aumento da oferta mundial de açúcar. Não obstante, os custos de produção no Brasil se elevaram e, mesmo com a recuperação dos preços do açúcar e do etanol na safra 2009/2010, a situação financeira da maioria das empresas foi desfavorável (FIESP, 2013).

Além do relatado, algumas das empresas que fizeram aquisições de grupos altamente endividados foram surpreendidas com sequências de safras com sérios problemas climáticos, somadas a um cenário desfavorável de políticas de defasagem do preço da gasolina praticada

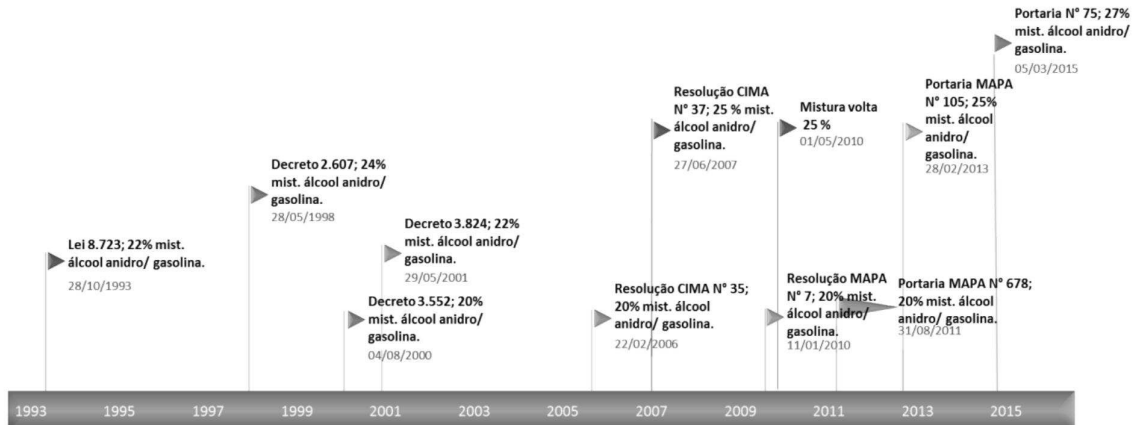
pelo governo federal em relação ao mercado internacional (Figura 7), o que levou à falência de um grande número de usinas.



**Figura 7** – Evolução do preço do petróleo, etanol e gasolina no Brasil, no período 2004-2014. Fonte de dados: ANP (2015) – Elaborado pelo autor.

Na Figura 7 é possível observar que os preços do etanol no período analisado, encontra-se bem mais baixo que os preços da gasolina, que para janeiro de 2015 teve um valor de R\$ 3,3/ litro, sendo assim como destacado por Filho (2010) mesmo quando o consumidor leva em consideração o poder calorífico do etanol em relação à gasolina, o etanol acaba-se mostrando mais atrativo para o consumidor; o que resulta interessante analisar neste ponto é se a pequena margem que existe entre os custos de produção e o valor de venda, remunera a atividade de produção das empresas sucroalcooleiras, que garantam a sustentabilidade da atividade (FILHO, 2010).

Como destacado pela Conab (2013) a consolidação do etanol está fortemente ligada aos níveis de preços dos combustíveis fósseis e a legislação referente às misturas de etanol com gasolina (Figura 8). A legislação joga um papel importante no estímulo da produção de etanol, quando relacionada esta com os volumes de etanol produzido observasse que a implementação de misturas mais altas de álcool anidro/gasolina, correspondem com os maiores volumes de etanol produzido no Brasil, assim a mistura atual de 27 % álcool anidro/gasolina estabelecida em 2015, corresponde com o maior volume de etanol dos últimos 10 anos, que para a safra 2015/2016 foi de 30 Bilhões de litros.



**Figura 8** – Histórico da legislação do etanol no Brasil.

Fonte de dados: NOVACANA (2015) – Elaborado pelo autor.

Em seu trabalho Xavier (2014) destaca que, uma nova crise de confiabilidade do setor sucroalcooleiro perante o mercado consumidor e os agentes de regulação, aumentaram-se as incertezas sobre a viabilidade do suprimento de volumes consistentes de etanol como um substituto a combustíveis de origem fóssil. Por outro lado, agentes produtores do setor sucroalcooleiro vivenciaram um período de crise muito semelhante ao ocorrido no período do PROÁLCOOL no final da década de 80, quando os custos de produção do etanol tornaram-se superiores aos seus preços inviabilizando sua produção. Mais uma vez, à semelhança do processo de desregulamentação do setor sucroalcooleiro na década de 90, discutem-se novos estímulos ao desenvolvimento de técnicas produtivas mais eficientes com o intuito de reduzir os custos e aumentar a competitividade da produção de etanol.

A discussão entre todos os agentes participantes da cadeia produtiva do setor sucroalcooleiro sobre a busca de ganhos tanto de eficiência como de produtividade, que garantam uma maior competitividade e segurança para a produção de etanol, delineou o problema de estudo em que Cook e Seiford (2009) citam a importância da mensuração da eficiência de produção. Uma motivação para o estudo da eficiência é apresentada no trabalho de Kumar e Arora (2012) no que relatam a entrevista do ministro de agricultura da Índia para o ano 2010, M. K. Thomas, na que relata, que apesar da relevância que têm a indústria açucareira da Índia esta têm sido ofendida pela ignorância dos técnicos de planejamento de políticas públicas, existindo na atualidade mais de 162 indústrias deste setor consideradas em crise. O Brasil não está muito longe dessa realidade que vive a Índia, segundo dados da UNICA (2014), aproximadamente até a safra 2013/2014, 50 usinas, responsáveis por 5 % da

produção nacional fecharam suas portas e sua produção agrícola foi negociada com outras empresas.

Sem possibilidades de soluções a curto prazo para uma recuperação da produção do setor, em especial do etanol, que se apresenta como o produto de menor atratividade para produção, instituições representativas do setor procuram por concessões e incentivos fiscais (Xavier, 2014). O ponto comum de discussão focou-se na procura de melhorias da eficiência produtiva do setor, assim como no fomento ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras que incorporem níveis de produtividade mais elevados à produção sucroalcooleira no Brasil.

No entanto em muitos estados, se constrói uma saída governamental para a crise, incentivar o consumo de etanol a partir da redução do Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Prestação de Serviço (ICMS) sendo esta uma saída adotada pelos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Rio de Janeiro e outros.

## 2.6 Perfil das empresas sucroalcooleiras

O setor sucroalcooleiro brasileiro está conformado por empresas que produzem tanto açúcar como etanol, e pelas empresas que atuam em algum elo desta cadeia produtiva; sendo que no Brasil a principal matéria prima para a obtenção de qualquer destes dois produtos é a cana-de-açúcar (LINS e SAAVEDRA, 2007). É importante salientar que no setor predominam as empresas de produção mista, ou seja, aquelas que destinam sua produção para ambos produtos (açúcar e etanol). Na Tabela 6 se mostra a distribuição geográfica por perfil das empresas sucroalcooleiras.

**Tabela 6** – Distribuição das usinas de acordo com o perfil de produção

Estado/Região	Mistas	Destilarias	Usinas
São Paulo	75,74%	21,89%	2,37%
Paraná	72,41%	27,59%	0,00%
Minas Gerais	48,89%	44,44%	6,67%
Mato Grosso do Sul	61,90%	38,10%	0,00%
Goiás	44,12%	55,88%	0,00%
Mato Grosso	44,44%	44,44%	11,11%
Rio de Janeiro	50,00%	50,00%	0,00%
Rio Grande do Sul	0,00%	100,00%	0,00%
Espírito Santo	33,33%	66,67%	0,00%
Total da Região Centro-Sul	65,09%	32,39%	2,52%
Alagoas	75,00%	8,33%	16,67%
Pernambuco	68,18%	9,09%	22,73%

Paraíba	55,56%	33,33%	11,11%
Rio Grande do Norte	50,00%	50,00%	0,00%
Bahia	33,33%	66,67%	0,00%
Maranhão	25,00%	75,00%	0,00%
Piauí	100,00%	0,00%	0,00%
Sergipe	33,33%	66,67%	0,00%
Ceará	0,00%	100,00%	0,00%
Amazonas	100,00%	0,00%	0,00%
Acre	0,00%	100,00%	0,00%
Tocantins	100,00%	0,00%	0,00%
Rondônia	100,00%	0,00%	0,00%
Pará	100,00%	0,00%	0,00%
Total da Região Norte-Nordeste	59,52%	28,57%	11,90%
Brasil	63,93%	31,59%	4,48%

Fonte: Conab (2013).

Levantamentos da RPA (2015) contabilizam no Brasil 443 usinas, deste total segundo dados da Conab (2013), 284 (64,1 %) são de produção mista, 140 (31,6 %) são destilarias, ou seja, só produzem etanol, e 19 se dedicam à produção exclusiva de açúcar (4,3 %). O perfil das empresas do setor é variado, em relação à origem dos capitais investidos, tamanhos e oferta de produtos. Empresas de capital estrangeiro que se interessam no setor buscam ingressar ou ampliar a sua presença nas áreas que estão sendo identificadas como novas áreas de produção, o ingresso destas empresas no mercado gera o fenômeno conhecido como concentração de capital.

No referente à capacidade de moagem as dimensões das empresas variam de 500.000 até mais de 5.000.000 de toneladas, existindo uma grande dispersão de classes (Tabela 6). Segundo dados apresentados pela Conab (2013), 53 % do total da moagem de cana-de-açúcar é realizada por empresas de mediano e pequeno porte, com capacidade de processamento de até 2 milhões de ton/safra, e 7,87 % é realizada por empresas com capacidade de processamento de mais de 5 milhões. Este perfil acaba sendo influenciado pela composição das empresas com sede no estado de São Paulo as quais são responsáveis pelo processamento de 61,5 % de toda a cana-de-açúcar processada no país. Os dados apresentado pela Conab (2013) indicam que 78,61 % das usinas sucroalcooleiras tem capacidade de processamento de até 2 milhões de toneladas, as quais respondem por 54 % da moagem total de cana-de-açúcar, 34 % é realizada em usinas com capacidade de 2 a 4 milhões de toneladas, sendo que neste grupo concentra-se 18 % das empresas, já o restante das usinas tem capacidade acima do 4 milhões de toneladas e respondem por 12 % do total de cana-de-açúcar moída.

**Tabela 7** – Distribuição percentual das unidades processadoras de acordo com a quantidade moída

Estado/região	Distribuição das unidades de moagem de cana-de-açúcar por tamanho da capacidade de moagem						
	Até 1 milhão de ton.	1,0 a 1,5 milhão de ton.	1,5 a 2,0 milhão de ton.	2,0 a 3,0 milhão de ton.	3,0 a 4,0 milhão de ton.	4,0 a 5,0 milhão de ton.	Acima de 5,0 milhões de ton.
São Paulo	23,67%	23,08%	18,93%	21,89%	5,92%	2,96%	3,55%
Paraná	37,93%	20,69%	20,69%	13,79%	6,90%		
Minas Gerais	53,33%	24,44%	13,33%	2,22%	4,44%		2,22%
Mato Grosso do Sul	33,33%	19,05%	14,29%	19,05%	14,29%		
Goiás	44,12%	17,65%	14,71%	17,65%	2,94%	2,94%	
Mato Grosso	44,44%	11,11%	22,22%	11,11%		11,11%	
Rio de Janeiro	100,00%						
Rio Grande do Sul	100,00%						
Espírito Santo	66,67%	33,33%					
<b>Total da Região Centro-Sul</b>	<b>34,59%</b>	<b>21,70%</b>	<b>16,98%</b>	<b>16,67%</b>	<b>5,66%</b>	<b>2,20%</b>	<b>2,20%</b>
Alagoas	33,33%	37,50%	25,00%		4,17%		
Pernambuco	59,09%	31,82%	9,09%				
Paraíba	77,78%	11,11%	11,11%				
Rio Grande do Norte	50,00%	25,00%	25,00%				
Bahia	83,33%	16,67%					
Maranhão	100,00%						
Piauí	100,00%						
Sergipe	100,00%						
Ceará	100,00%						
Amazonas	100,00%						
Acre	100,00%						
Tocantins		100,00%					
Rondônia	100,00%						
Pará	100,00%						
<b>Total da Região Norte-Nordeste</b>	<b>63,10 %</b>	<b>23,81 %</b>	<b>11,90 %</b>	<b>-</b>	<b>1,19 %</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Brasil</b>	<b>40,55%</b>	<b>22,14%</b>	<b>15,92%</b>	<b>13,18%</b>	<b>4,73%</b>	<b>1,74%</b>	<b>1,74%</b>

Fonte: Conab (2013).

Dentre as empresas que tem participação no mercado destacam-se a Raizen, a qual para o ano 2012 respondia por 9 % do total de cana-de-açúcar esmagada no Brasil, seguida pela Biosev e a Petrobras. Segundo dados apresentados pela Novacana (2015) as empresas do setor movimentam a cada safra em média US\$45 bilhões, sendo que 81 empresas do setor respondem por 50 % deste faturamento.

Na atualidade o setor sucroalcooleiro tem atraído empresas tradicionais do agronegócio, como exemplo temos a Bunge e a Luis Dreyfus, empresas reconhecidas no

campo do agronegócio, mas que na atualidade apostam e atuam no setor sucroalcooleiro. Empresas internacionais têm entrado também no setor, sendo a primeira a entrar a LDC (*Louis Dreyfus Commodities*), que aliada ao grupo Santelisa Vale conformam na atualidade a Biosev, segundo maior grupo do setor (SOARES e BOMTEMPO, 2014).

Segundo Soares e Bomtempo (2014) empresas do setor são caracterizadas por possuir redes de contatos globais que conseguem integrar a compra e venda de matérias primas agrícolas, e conhecimentos que são facilmente aplicados ao setor sucroalcooleiro. Outro fator destacado pelos autores é a capacidade de financiamento próprio destas empresas, a boa administração e o bom uso destes recursos cria para estas empresas diferenciais, que conseqüentemente trazem vantagens competitivas, que as outras empresas não conseguem acompanhar, assim uma das hipóteses testadas nesta tese é que as empresas grandes ganham em tecnologia enquanto as pequenas ganham em eficiência.

### **3 Considerações Finais**

Foi possível identificar que o setor sucroalcooleiro brasileiro é bastante diversificado nos perfis das empresas que o conformam, constatando-se a existência empresas de diversos tamanhos, sendo algumas especializadas na produção de etanol, ou de açúcar, mas com um perfil predominantemente misto, o que acaba possibilitando à alternância na produção de estes dois produtos, essa alternância permite para o setor a obtenção de grandes benefícios tanto econômicos como empresariais, devido à possibilidade que tem as empresas de escolher qual produto produzir em função da atratividade do mercado. No contexto internacional o Brasil continua sendo o maior produtor de cana-de-açúcar, perdendo só em produtividade para Colômbia, Austrália e Filipinas, no entanto a pesar de ter uma baixa produtividade de cana-de-açúcar Brasil é o maior produtor mundial de Açúcar e etanol, proveniente de esta matéria prima.

Perante os dados discutidos e apresentados neste documento resulta evidente a importância que o setor sucroalcooleiro tem para a economia do Brasil, no entanto apesar de ser um setor de grande importância econômica, as indústrias deste setor enfrentam grandes desafios para se manter no mercado, sendo um dos desafios administrar de forma eficiente os seus recursos, para conseguir se manter no mercado, tarefa que para algumas empresas foi impossível, uma vez que foi evidenciado que até a safra 2015/2016 o setor fechou aproximadamente 60 usinas. A tendência que mostra o setor é de crescimento, no entanto os

estados também tem um papel importante no incentivo do crescimento deste setor, uma vez que são estes os responsáveis pelo aumento ou diminuição dos impostos que recaem sobre produtos como o etanol e a gasolina; assim a legislação sobre as misturas de etanol com a gasolina também tem um papel importante no incentivo e produção do etanol, a análise dos dados permitiu estabelecer uma relação da produção de etanol com a legislação uma vez que, os dois últimos aumentos nas misturas de etanol anidro/gasolina, correspondem com os maiores volumes de etanol produzido no Brasil.

#### **4 Bibliografia**

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo: 2015.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis**. 2015.

CAMARGO, F. O.; GUIMARÃES, K. M. S. O princípio da eficiência na gestão pública. **Revista CEPPG-CESUC**, v. 16, n. 28, p. 133-145, set. 2013.

COLIN, E. C. Mathematical programming accelerates implementation of agro-industrial sugarcane complex. **European Journal of Operational Research**, v. 199, n. 1, p. 232–235, nov. 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2014/15 de cana-de-açúcar**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina\\_objcmsconteudos=2#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos)>. Acesso em: 1 jan. 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil. **Diretoria de Política Agrícola e Informações Superintendência de Informações do Agronegócio**, v. 5, n. 1, p. 1-88, 2013.

COOK, W. D.; SEIFORD, L. M. Data Envelopment Analysis (DEA) – Thirty years on. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 1, p. 1–17, jan. 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization – FAOSTAT - Production - Crops Processed. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QD/E>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization – FAOSTAT - Production – Crops. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization – FAOSTAT – Yield. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Outlook Fiesp 2023 projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo: Editora Gráfica Ideal, 2013.

FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 156–166, jan. 2011.

JUNIOR, A. P. S., BONACIN, C. A. G., JUNIOR, A. C. P. Aplicação da análise envoltória de dados (dea) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de são paulo. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 11, n. 3, p. 494-513, 2009.

KUMAR, S.; ARORA, N. Evaluation of technical efficiency in Indian sugar industry : an application of full cumulative Data Envelopment Analysis. **Eurasian Journal of Business and Economics**, v. 5, n. 9, p. 57–78, 2012.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LINS, C. SAAVEDRA, R. Sustentabilidade corporativa no setor sucroalcooleiro brasileiro. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. 2007.

MAPA – (Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Culturas cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 14 fev. 2014.

MAPA – (Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Exportações Brasileiras Anuais de Açúcar**. 2016.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; FARIA, J. L.; SIQUEIRA, B. L. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015 : determinantes , consequências e sugestões de política. **Biocombustíveis BNDES**, p. 277–302, 2012.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. **A Dimensão do Setor Sucroenergético: Mapeamento e quantificação da safra 2013/2014**. Ribeirão Preto: 2014.

NOVACANA. **História da legislação sobre o etanol**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/historia-legislacao/>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

NOVACANA. **As 81 maiores empresas do setor sucroenergético em 2014**. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/financeiro/81-maiores-empresas-setor-sucroenergetico-2014-210715/>. Acesso em 13 Ago. 2016.

PEREIRA, C. N. **Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil com o método análise envoltória de dados (DEA) - índice de Malmquist**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Economico). Faculdade de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

PINTO, M. J. A. **Investimentos diretos estrangeiros no setor sucroenergético**. 2011. 174p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

PROCANA. **Sobre Nós**. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/sobre-nos/>>. Acesso em: 29 out. 2014.

RFA – RENEWABLE FUEL ASSOCIATION. **World fuel ethanol production**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1454098996479-8715d404-e546>>.

RPA - Crise atinge um quarto das usinas do país nos 40 anos do proalcool. Disponível em: <http://www.rpaconsultoria.com.br/imprensa/12-areaimprensa/95-cri-se-atinge-um-quarto-das-usinas-do-pais-nos-40-anos-do-proalcool>. acesso em: 20 novembro 2015.

SANTOS, G. R. DOS; GARCIA, E. A.; SHIKIDA, P. F. A. A crise na produção do etanol e as interfaces com as políticas públicas. **Rada**, v. 39, n. 1994, 2015.

SIQUEIRA, P. H. DE L.; JUNIOR, L. G. DE C. Fusões e aquisições das unidades produtivas e da agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil e nas distribuidoras de álcool hidratado etílico. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, p. 709–735, 2011.

SOARES, G. A.; BOMTEMPO, J. V. Novos perfis de empresas no setor sucroenergético. Políticas energéticas para a sustentabilidade. **Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**. 2014.

SOUSA, E. L.; PINHEIRO, M. A. Restrições da infraestrutura na expansão do agronegócio. **VII Encontro de Logística e Transporte**, p. 31, 2011.

TORQUATO, S. A.; MARTINS, R.; RAMOS, S. DE F. Cana-de-açúcar no estado de São Paulo: eficiência econômica das regionais novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas**, v. 39, p. 92–99, 2009.

UNICA. O efeito dominó da crise sobre o setor. **RPA News**, 2014.

UNICA. **União da Indústria de Cana de Açúcar**. Exportação anual de açúcar por estado brasileiro (toneladas). Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=43>. Acesso em: 1 jan. 2016.

UNICA - UNICADATA. Dados de área plantada, 2016.

\_\_\_\_. Dados Produção de Açúcar e Etanol, 2016b.

XAVIER, C. E. O. **Análise da eficiência do setor sucroenergético brasileiro**. 2014. 164p. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Economia Aplicada, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

## **CAPÍTULO 2: Avaliação da Produtividade Total dos Fatores do Setor Sucroalcooleiro Brasileiro.**

### **Resumo**

O objetivo deste estudo foi avaliar a evolução da produtividade das empresas do setor sucroalcooleiro brasileiro, listadas na publicação Melhores e Maiores da revista Exame, informe elaborado pela FIPECAFI – São Paulo através de uma metodologia que permite decompor as mudanças na produtividade total dos fatores, em mudanças devidas ao progresso tecnológico e em mudanças atribuíveis à eficiência técnica, a escolha desta base de dados se deu uma vez que é a única que disponibiliza as informações econômicas por empresa para o setor. Para a análise da produtividade foi empregado o Índice de *Malmquist* e sua decomposição em um conjunto de 43 usinas, no período de 2012 a 2014. Os resultados mostram que existe avanço na produtividade do setor e que esse avanço ocorre pela procura das empresas pela eficiência técnica, uma vez que os resultados mostraram que houve retrocesso tecnológico. Quando avaliado o índice de *Malmquist*, este apresentou avanços durante o período avaliado (1,12). A mudança tecnológica em média foi de 0,89, caracterizando o retrocesso tecnológico. A mudança na eficiência técnica apresentou uma média de 1,26, resultado influenciado pela mudança na eficiência pura produzida no período. As empresas estudadas se aproximaram da fronteira de eficiência, no período analisado, o que pode ser interpretado como a procura pela sua eficiência técnica. A melhoria na eficiência técnica alcançada pelas empresas permite reduzir em parte a perda tecnológica e evita que o índice de produtividade decresça. A metodologia se mostra consistente para a avaliação das empresas do setor e contribui na evolução da avaliação da eficiência de forma objetiva.

**Palavras chaves:** Análise Envoltória de Dados (DEA), Malmquist, Mudança tecnológica.

### **1 Introdução**

O setor sucroalcooleiro brasileiro na atualidade vem enfrentando diversas transformações que exigem das empresas que o conformam maior competitividade. Historicamente o governo brasileiro tem regulamentado o setor através de leis e decretos que procuram atender os interesses das empresas do setor, como uma ferramenta para enfrentar e superar a crise do setor. No entanto fatores como a queda do preço internacional do petróleo

nos anos, a crise governamental e os incrementos da inflação fizeram com que o governo se afastasse deste setor trazendo consigo a falência de várias usinas.

No entanto, como analisado por Siqueira (2007) o setor sucroalcooleiro tem compreendido a importância de realizar uma ótima administração financeira de seus recursos, e uma gestão empresarial mais eficiente, o autor destaca que para alcançar essa eficiência é necessário que as usinas criem estratégias que as levem a cumprir com seus objetivos financeiros. Já os autores Grönroos e Ojasalo (2004), expressam que, as empresas que possuem altos níveis de produtividade e eficiência em seus processos produtivos conseguem um impacto favorável na obtenção de benefícios para elas e na criação de valor para os consumidores.

Para incrementar a eficiência é necessário conhecer o nível atual das operações da empresa, e para incrementar os níveis de produtividade é necessário determinar os fatores que influenciam nesta e quantificar sua influência sob as condições atuais. As pesquisas econômico-financeiras recentes tem incrementado o uso de medidas de fronteira para avaliar a eficiência técnica das empresas, fazendo uso principalmente da DEA.

Um índice bastante difundido na literatura para avaliação da produtividade é o índice de produtividade de *Malmquist*, sugerido inicialmente por (Malmquist, 1953), num contexto de consumo, mas foi introduzido por (Caves, Christensen e Diewert, 1982) no contexto de produtividade expressando-o em termos de funções distâncias. Em 1985 Färe e colaboradores mostraram a relação entre a função distância sugerida por Caves e o índice de eficiência técnica sugerido por Farrell e a forma de calculá-lo mediante o uso da Análise Envoltória de Dados (JUNIOR, 2005).

As empresas sucroalcooleiras orientam seus objetivos para a minimização dos recursos empregados na produção, no entanto, em certa medida também objetivam a obtenção de maiores níveis de produção, considerando o comportamento da demanda, sendo assim, os objetivos deste tipo de empresas são duplos, por um lado procuram a minimização de seus insumos e por outro lado procuram a maximização de seus produtos. Nesse sentido parece ser indiferente a orientação do modelo DEA, no entanto, para este trabalho foi escolhida a orientação para *outputs* para a avaliação da eficiência, ou seja, será analisada em que porcentagem as usinas sucroalcooleiras podem maximizar sua produção com os recursos produtivos atuais. Sendo assim objetiva-se com este trabalho aplicar uma metodologia que

permita decompor as mudanças na produtividade total dos fatores em mudanças devidos à progresso tecnológico e em mudanças ocasionadas pelos ganhos em eficiência técnica.

## **2 Referencial teórico**

### **2.1 Índice de Malmquist – Produtividade Total dos Fatores (PTF)**

Existem diferentes formas de calcular a PTF; os índices tradicionais de produtividade fazem uso de informações de preços como forma de agregar as informações de produtos e insumos, entre os índices tradicionais (paramétricos) encontrasse: índice de *Paasche*, *Laspeyres*, *Fisher* e *Tornqvist*. Segundo (Grifell-Tatjé e Lovell, 1995), o índice de *Malmquist* apresenta uma serie de vantagens sobre os índices paramétricos entre as quais podem-se citar: não exige a adoção de hipótese de maximização do lucro ou minimização de custos; não precisa de informações de preços de produtos e insumos, o que pode distorcer as análises ou em alguns casos são até inexistentes e além disso, permite a decomposição da evolução da PTF. Diante das vantagens citadas, o índice de *Malmquist* (IM) é o mais empregado para a definição da PTF (SÉ, 2012).

O índice de *Malmquist* constitui-se em um ponto de referencia para todos os trabalhos que pretendem analisar mudança produtiva em uma unidade que transforme recursos. Essa mudança produtiva pode ser decomposta em mudança técnica e mudanças na eficiência ou *catching-up*. Os modelos DEA tradicionais focalizam as suas medições de eficiência em um único período de tempo. Ou seja, os planos de produção das empresas (DMUs) são realizados para um único período de tempo. Com o intuito de resolver essa desvantagem e avaliar a eficiência técnica e a produtividade considerando múltiplos períodos foi aplicado o índice de *Malmquist*.

O índice de *Malmquist* é usado para medir e comparar o crescimento da produtividade de diferentes DMUs de um período para outro. A mensuração é baseada na construção de melhores práticas para as fronteiras em anos adjacentes, utilizando dados sobre entradas e saídas de todas as unidades produtoras na amostra e em seguida, calcular o crescimento do produto, que é causada pelo deslocamento da fronteira para cada DMU (CHANDRAPRAKAIKUL e SUEBPONGSAKORN, 2012). Esta abordagem faz uso da DEA para construir a fronteira de produção linear pedaço a pedaço para cada ano avaliado no período de estudo (RIVERA e CONSTANTIN, 2007). Em outras palavras o índice mede a

mudança entre dois pontos de dados por meio do cálculo da razão entre as distancias de cada desempenho relativas a uma tecnologia em comum (ALI et al., 2009).

A metodologia foi inicialmente sugerida por (Malmquist, 1953), para análise de uso de insumos, foi utilizado posteriormente em contextos de produtividade por (Caves, Christensen e Diewert, 1982), que somado às ideias de (Farrell, M. J., 1957) sobre medidas de eficiência, levou ao índice de produtividade DEA-*Malmquist*, desenvolvido por (Färe *et al.*, 1994). A metodologia DEA permite definir as melhores praticas (fronteira tecnológica), ou seja, a máxima quantidade de produto possível com um número de insumos utilizados, a partir das observações consideradas na amostra, e comparar as observações de cada DMU com a fronteira tecnológica, assim é estabelecido um “*Benchmark*” ou parceiro de excelência, mediante o qual é possível mensurar a eficiência, a partir das distancias entre os pontos de produção e a fronteira tecnológica (LANTERI, 2007).

O índice de *Malmquist* permite através do uso das funções de distância, a descrição de múltiplos insumos e múltiplos produtos, sem a necessidade de especificar a função objetivo, adicionalmente; as funções podem ser calculadas tanto na orientação a insumos como para produtos (LEE, 2005). A primeira função calcula o mínimo consumo possível de insumos, dado o vetor de produto, e a segunda indica a máxima expansão possível no vetor de produtos, dado o consumo dos insumos (DÍAZ, 2004).

Além disso, o índice permite a decomposição das mudanças de produtividade dentro da mudança no indicador de eficiência e mudança tecnológica, permitindo, dessa forma, conhecer a natureza da mudança de produtividade (JUNIOR, 2005). A mudança tecnológica é definida como o deslocamento da fronteira de produção devido a uma melhoria da tecnologia, esta é interpretada como um progresso tecnológico. Por outro lado, a aproximação das DMUs da fronteira eficiente, reflete em parte a variação da produtividade global não explicada pelo progresso tecnológico, e que pode ser explicado por uma melhor aplicação do conhecimento tecnológico (DÍAZ, 2004).

O índice de *Malmquist* mostra o progresso em eficiência (deslocamento até a fronteira, se a unidade não estava entre as inicialmente eficientes) em consonância com o progresso da fronteira tecnológica no tempo (ou seja, as unidades inicialmente eficientes, incrementam sua produtividade no tempo, quebrando suas próprias marcas), sob um marco de múltiplos insumos e produtos. O índice de *Malmquist* é definido como o produto de dois termos: o

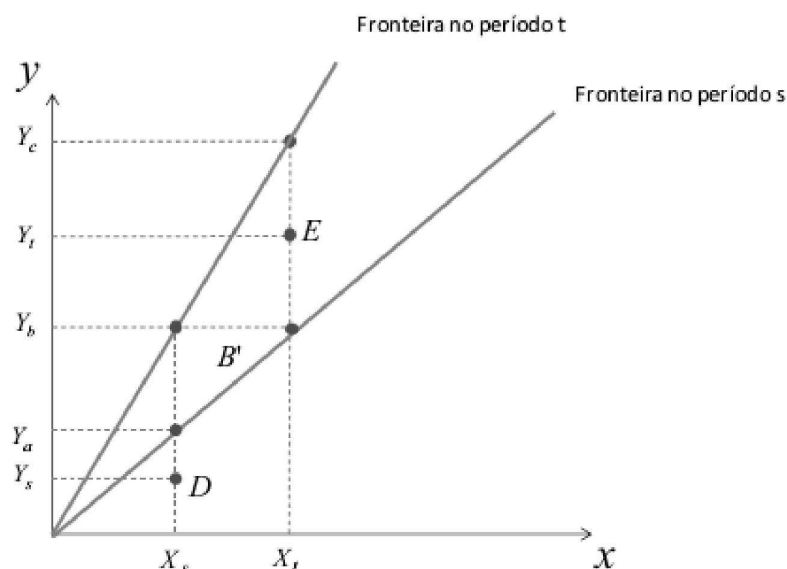
“movimento da fronteira” conhecido também como “inovação”, “mudança tecnológica”, ou “*Frontier – Shift*” e a “mudança de eficiência” (“convergência à fronteira” ou “*Catch-up*”). Esta última representa o grau com que uma DMU melhora sua eficiência relativa em comparação com os demais, em tanto que o movimento da fronteira “*Frontier – Shift*” mostra o progresso da tecnologia e/ou a inovação gerencial durante o período observado (SUEYOSHI e GOTO, 2015).

Fazer uso do índice de *Malmquist* traz uma série de vantagens, entre as que podemos citar temos:

- Não é necessário definir o comportamento da função de minimização de custos ou maximização de receitas, o que é útil quando os objetivos dos produtores são diferentes, ou quando estes são desconhecidos;
- Possibilidade de desmembramento das mudanças de produtividade dentro da mudança no indicador de eficiência e mudança tecnológica, permitindo dessa forma, conhecer a natureza da mudança de produtividade.

O índice de *Malmquist* permite mensurar a mudança na Produtividade Total dos Fatores (PTF) entre dois pontos, pelo cálculo da taxa de distâncias de cada ponto relativo para uma tecnologia comum (PEREIRA, 2012). A PTF é um índice que indica o quanto de produto pode-se produzir a partir dos diversos insumos utilizados.

A decomposição do índice de produtividade de *Malmquist* sob o modelo CRS envolvendo um insumo e um produto, em termos de distâncias ao longo do eixo  $y$ , pode ser ilustrada na Figura 1. Na figura 1 existem duas diferentes fronteiras de melhor prática, uma formada pelos dados do período  $t$  e outra pelos dados do período  $s$ . Estão incluídos na figura dados de cada período para uma DMU, indicados por  $(x^s, y^s)$  e  $(x^t, y^t)$ .



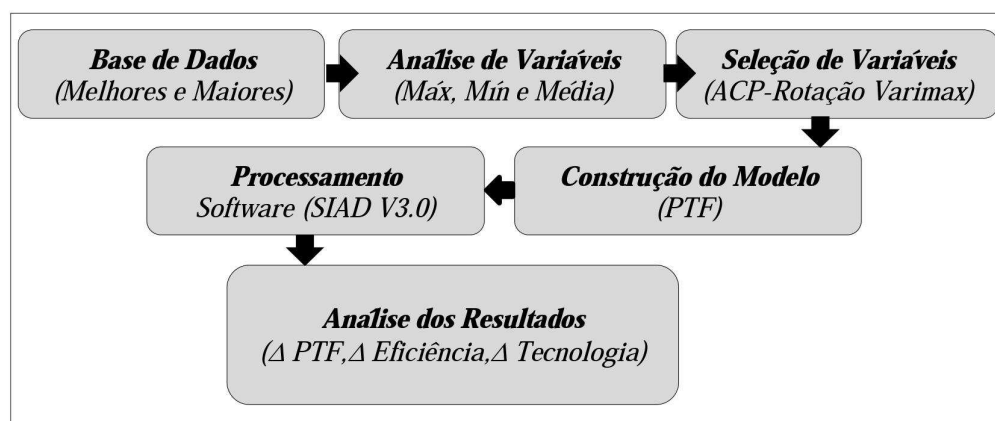
**Figura 1** – Índice de Produtividade de Malmquist.  
 Fonte: Coelli (2005).

Na Figura 1 se considera o caso de uma firma  $n$  no período  $s$  representada por  $D$ . Como a firma se encontra sob a fronteira  $s$ , esta firma não é eficiente e sua ineficiência é calculada pela razão  $0Y_s/0Y_a$ . De igual forma a firma  $n$  na fronteira  $t$  representada por  $E$  é ineficiente em relação à fronteira  $t$ , assim o cálculo de sua ineficiência é dado por  $0Y_t/0Y_c$ .

Espera-se que o componente de eficiência técnica capte a difusão tecnológica e o processo de *catching-up*, enquanto o processo de mudança técnica capta as inovações. A mudança de eficiência técnica pode ser decomposta em eficiência de escala e eficiência técnica pura (PEREIRA et al., 2016). A produtividade total dos fatores é calculada através de dois conceitos sejam: a variação da eficiência técnica e variação tecnológica. A desagregação destes dois conceitos possibilita a identificação e a quantificação dos fatores que são determinantes para o desempenho da PTF ao longo do tempo: sendo a mudança da eficiência técnica o componente que explica uma aproximação da fronteira de produção e a mudança tecnológica que é o componente relativo ao deslocamento da própria fronteira de produção (MARINHO e BITTENCOURT, 2007, p. 8).

### 3 Metodologia

Para avaliar o índice de produtividade é necessário obter informações de níveis de consumo de insumos e de produção considerando diferentes períodos. No desenvolvimento desta pesquisa, os índices de produtividade são dados pelo índice de *Malmquist*, calculado com o auxílio da Análise Envoltória de Dados – DEA. Nesse estudo foi seguida a sequência de passos descrita na Figura 2, envolvendo desde a análise das variáveis selecionadas até a análise dos resultados.



**Figura 2** – Metodologia de Análise – PTF.

Fonte: Santos e Nova (2005) com modificações.

Devido à existência de dados negativos em algumas das variáveis estudadas, foi necessário realizar as transformações desses dados (para descrições mais detalhadas e melhor entendimento deste procedimento recomenda-se a consulta de artigos como: (Ali e Seiford (1990); (Charles, Färe e Grosskopf, 2016)) a transformação de algumas das variáveis foi necessária uma vez que a metodologia não aceita valores negativos, e foi aplicada a Análise Fatorial (AF) por componentes principais com rotação varimax. A rotação varimax é um tipo de rotação ortogonal, que busca minimizar a ocorrência de uma variável possuir altas cargas fatoriais para diferentes fatores, permitindo que uma variável seja facilmente identificada com um único fator (Corrar, Paulo e Filho, 2014) esta rotação foi realizada com o intuito de gerar melhores resultados em relação a sua interpretação.

#### 3.1 Amostragem e coleta de dados

Para a aplicação dos modelos DEA é importante que as DMUs selecionadas sejam homogêneas, ou seja, que utilizem os mesmos insumos e produzam os mesmos produtos, diferenciando-se apenas em relação à intensidade ou na magnitude da produção. As DMUs

estudadas nesta pesquisa são as usinas sucroalcooleiras brasileiras listadas na publicação *Melhores e Maiores* da revista Exame, atendendo a exigência de homogeneidade das empresas.

A amostra utilizada para o cálculo do índice de *Malmquist* é um painel de empresas do setor sucroalcooleiro brasileiro, que inclui os anos 2012 e 2014 e contempla 43 empresas deste setor distribuídas em todo o território nacional (Tabela 1), a escolha destes anos se deu uma vez que são estes os dados disponíveis mais recentes para o setor, no momento da coleta. Na construção da matriz de dados para a execução do modelo foram considerados três insumos e dois produtos.

Inicialmente, foram consideradas como prováveis DMUs todas as empresas listadas na publicação *Melhores e Maiores* da revista Exame (84 em total); depois de realizadas as análises das informações necessárias, observou-se que algumas empresas não possuíam dados disponíveis para todas as variáveis que se pretendia estudar e, outras que não possuíam informações para algum dos três anos em estudo. Assim 43 empresas do setor foram selecionadas para o estudo. Após coletados os dados destas empresas, observou-se homogeneidade nas atividades destas. Todas as empresas selecionadas possuem as informações necessárias para o período 2012 e 2014 referentes às quantidades dos insumos e produtos considerados. Os dados apresentados nesta base de dados são considerados confiáveis uma vez que estes são analisados mediante provas de consistência e são verificados antes de serem publicados.

**Tabela 1** – Distribuição espacial da amostra

<i>Estado</i>	<i>N° de Usinas</i>	<i>%</i>	<i>N° Usinas Ativas</i>	<i>%</i>
<i>Alagoas</i>	1	2,33	25	8,20
<i>Goiás</i>	2	4,65	35	11,48
<i>Mato Grosso</i>	2	4,65	9	2,95
<i>Mato Grosso do Sul</i>	1	2,33	22	7,21
<i>Minas Gerais</i>	3	6,98	37	12,13
<i>Paraná</i>	3	6,98	27	8,85
<i>Pernambuco</i>	1	2,33	16	5,25
<i>São Paulo</i>	30	69,77	134	43,93
<b><i>Total</i></b>	43	100	281	100

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 2, é apresentada uma descrição dos dados para cada uma das variáveis analisadas, tanto de entradas como de saídas, antes de formar os grupos de fatores, para o

conjunto de 43 usinas. Se considerado o total do ativo como um indicativo do tamanho das empresas é possível ver que a amostra esta constituída por empresas de pequeno a grande porte, uma vez que se têm empresas com total de ativos variando entre 78.833 e 2,18 bilhões de dólares. Quando analisados os índices financeiros é possível ver que dentro da amostra existem também empresas com diferentes perfis financeiros, no referente à liquidez corrente existem dentro da amostra empresas que estão aptas a honrar seus compromissos mais imediatos como empresas que não estão aptas a honrar esse tipo de compromissos uma vez que sua liquidez corrente são inferiores à unidade; a mesma análise pode ser feita para a liquidez geral constatando que a amostra esta constituída de empresas com diferentes perfis e diferentes praticas empresarias que fazem que cada uma tenha comportamentos econômicos diferentes. Outro indicador com o qual é possível caracterizar a amostra é o giro do ativo, na amostra foi possível identificar empresas que em média por cada R\$1 investido vendem R\$ 0,77 e outras que em media por cada R\$1 investido vendem R\$ 0,01.

**Tabela 2** – Descrição da amostra

<i>Especificação</i>	<i>Unidade</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Média</i>
<i>Giro</i>	<i>Nº Índice</i>	1,70	0,10	0,50
<i>Vendas Líquidas</i>	<i>Milhões U\$</i>	3.791,27	68.167,00	291.987,00
<i>Patrimônio Líquido Legal</i>	<i>Milhões U\$</i>	869.100,00	-100.133,00	127.301,00
<i>Patrimônio Líquido Ajustado</i>	<i>Milhões U\$</i>	893.133,00	-87.533,00	138.350,00
<i>Total do Ativo</i>	<i>Milhões U\$</i>	2.180,20	78.833,00	565.996,00
<i>Liquidez Geral</i>	<i>Nº Índice</i>	1,50	0,20	0,50
<i>Liquidez Corrente</i>	<i>Nº Índice</i>	2,90	0,30	1,10
<i>Capital Circulante Líquido</i>	<i>Milhões U\$</i>	163.867,00	-250.600,00	-9.302,00
<i>Endividamento Geral</i>	<i>%</i>	122,00	33,90	72,70
<i>Endividamento a Longo Prazo</i>	<i>%</i>	89,80	19,00	46,80

Fonte: Resultados da pesquisa.

### 3.2 Identificação e seleção das variáveis

A primeira fase para a implementação da metodologia consiste em definir as possíveis variáveis com as quais se pretende trabalhar (*inputs* e *outputs*). Na seleção dos *inputs* e *outputs* para a aplicação da DEA, é importante considerar a relevância de uns e outros na atividade das unidades produtivas a avaliar.

Os *inputs* e *outputs* devem refletir os fatores próprios de qualquer processo produtivo, a saber: terra, capital, trabalho e gestão. Este último é de difícil quantificação, e raramente é usado nas análises produtivas. A seleção das variáveis torna-se um ponto relevante na pesquisa, já que alterações no conjunto de variáveis selecionadas para compor os *inputs* e

*outputs* podem exercer um impacto direto nos resultados da modelagem DEA, e consequentemente na análise dos dados (THANASSOULIS, 1996).

As variáveis do modelo estão representadas pelos insumos e produtos que melhor representam as empresas, sendo os insumos todos os recursos utilizados no processo de produção para gerar os produtos. A identificação e escolha das variáveis é uma fase importante e crucial para a implementação da metodologia, pois é através delas que os produtores são representados, e caso o avaliador faça uma escolha inadequada ou inapropriada pode gerar resultados não condizentes com a realidade das empresas.

Assim inicialmente partiu-se de um total de 10 indicadores econômicos, sendo oito *inputs* (*Patrimônio líquido Ajustado, Patrimônio Líquido Legal, Capital Circulante Líquido, Endividamento Geral, Endividamento de Longo Prazo, Total do Ativo, Liquidez Geral e Liquidez Corrente*) e dois *outputs* (*Vendas Líquidas e Giro do Ativo*).

Com o intuito de reduzir o número de variáveis, mas conservando o maior número de informações, foi aplicada a análise fatorial por componentes principais com rotação varimax. Os resultados da AF permitiu agrupar as 8 variáveis de *inputs* em 3 fatores, de igual forma foi possível agrupar as duas variáveis de saída em um fator só (Quadro 1).

Quadro 1 – Fatores – Resultado da ACP.

<b>Fator</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Interpretação</b>	<b>Classificação DEA</b>
<b>1</b>	Patrimônio Líquido Ajustado, Patrimônio Líquido Legal e Total do Ativo	Patrimônio e Ativos	Input
<b>2</b>	Liquidez Geral, Liquidez Corrente e Capital Circulante Líquido	Liquidez da empresa	Input
<b>3</b>	Endividamento Geral e Endividamento a Longo Prazo	Endividamento da empresa	Input
<b>4</b>	Vendas Líquidas e Giro do Ativo	Atividade e Lucratividade	Output

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os dados referentes a um produto (*Fator 4*) e três insumos (*Fator 1, Fator 2 e Fator 3*), relativos à 43 empresas sucroalcooleiras selecionadas, foram calculados com os valores obtidos da base de dados da publicação Melhores e Maiores da revista Exame, informe elaborado pela Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras – FINECAFI de São Paulo. Os dados disponibilizados nesta base de dados são considerados confiáveis por serem submetidos a uma série de exames de consistência e ser verificados por analistas, antes de ser publicados.

### 3.3 Identificação do modelo

Após a seleção das variáveis utilizadas no modelo, o próximo passo é a definição do modelo a ser utilizado. A aplicação do modelo e escolha depende em grande parte da disponibilidade e da sensibilidade do avaliador. O avaliador deve ser capaz de escolher o modelo que traduza a realidade dos dados em termos de insumos e produtos. O modelo usado neste estudo para a avaliação da produtividade foi o índice de *Malmquist*.

O índice de *Malmquist* é uma metodologia que fornece evidências e permite inferir sobre a natureza do progresso tecnológico e sobre as mudanças na produtividade (FERREIRA e GOMES, 2009).

O índice de *Malmquist* também conhecido na literatura como Produtividade Total dos Fatores (PTF), avalia os índices de produtividade em diferentes períodos de tempo, decompondo-os em sub-índices que refletem a variação da eficiência técnica (índice de eficiência técnica – EFFCH) e mudanças tecnológicas (índice de mudança tecnológica – TECHCH (JUNIOR e WILHELM, 2006; PEREIRA, 2012). Quando esses valores são analisados permitem tirar conclusões acerca das causas que contribuem para um aumento ou diminuição da eficiência total das DMUs.

A aplicação do índice de *Malmquist*, nas análises DEA ajuda a preencher uma lacuna deixada pela análise de eficiência através da DEA-CCR ou ainda da DEA-BCC, já que com o índice de Malmquist é possível identificar o progresso ou retrocesso na produtividade das DMUs avaliadas e definidas como eficientes em ambos os períodos de um estudo.

Neste estudo foi aplicado para obter o ganho total de eficiência no setor sucroalcooleiro Brasileiro. Os dados utilizados para esta análise são dados econômicos das empresas do setor, para os anos de 2012 e 2014.

O índice de mudança de eficiência deve-se interpretar da seguinte maneira: quando o valor resultante é maior que um (1) significa que comparando os dados do período  $t+1$  com o período  $t$  (em que  $t$  é o período de referência), a DMU aproximou-se mais da fronteira de eficiência. Em relação ao índice de mudança de tecnologia este indica que a DMU analisada está aproveitando melhor seus insumos para produzir um *output*.

O índice de *Malmquist* permite avaliar os índices de produtividade em diferentes períodos de tempo, decompondo-os em sub-índices que refletem a variação da eficiência

técnica e mudanças tecnológicas. A decomposição do índice contribui para uma análise das alterações nos índices de produtividade, pois permite identificar se um aumento é fruto do progresso tecnológico ou da melhoria na eficiência técnica, ou ainda, dos dois simultaneamente (Dincuță-Tănase *et al.*, 2014).

A análise de eficiência realizada nesta pesquisa foi feita mediante o uso da modelagem DEA, com o índice de *Malmquist*, com o auxílio do programa DEAP Versão 2.1. O *software* é de acesso livre e pode ser obtido desde o site do *Centre for Efficiency and Productivity Analysis*, com o auxílio do *software* foi possível avaliar a PTF e sua decomposição, para as 43 usinas selecionadas. O cálculo do índice de Malmquist envolve quatro funções distância:  $D_p^t(X^t, Y^t)$ ,  $D_p^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})$ ,  $D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1})$ ,  $D_p^{t+1}(X^t, Y^t)$ . O índice de Malmquist orientado ao produto é dado pela Equação (1).

$$M_p(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \left[ \frac{D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^t(X^t, Y^t)} \times \frac{D_p^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^{t+1}(X^t, Y^t)} \right]^{1/2} \quad \text{Equação (1)}$$

E pode ser decomposto em dois fatores conforme a Equação (4):

$$M_p(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \left[ \frac{D_p^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^t(X^t, Y^t)} \right] \left[ \frac{D_p^t(X^t, Y^t)}{D_p^{t+1}(X^t, Y^t)} \times \frac{D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \right]^{1/2} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:  $D^t$ : Função distância relativa à fronteira do período  $t$ ;  $D^{t+1}$ : Função distância relativa à fronteira do período  $t+1$ ;  $y^t$ : Quantidade do *output* virtual da DMU  $p$  no período  $t$ ;  $x^t$ : Quantidade do *input* virtual da DMU  $p$  no período  $t$ ;  $y^{t+1}$ : Quantidade do *output* virtual da DMU  $p$  no período  $t+1$ ;  $x^{t+1}$ : Quantidade do *input* virtual da DMU  $p$  no período  $t+1$ ;  $D_p^t(x^t, y^t)$ : Distância da DMU  $p$  no período  $t$  relativa à fronteira do período  $t$ ;  $D_p^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ : Distância da DMU  $p$  no período  $t+1$  relativa à fronteira do período  $t$ ;  $D_p^{t+1}(x^t, y^t)$ : Distância da DMU  $p$  no período  $t$  relativa à fronteira do período  $t+1$ ;  $D_p^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ : Distância da DMU  $p$  no período  $t+1$  relativa à fronteira do período  $t+1$ .

A primeira componente do índice de *Malmquist* expressa a mudança no índice de eficiência técnica de uma determinada DMU entre os períodos  $t$  e  $t+1$ . A segunda componente detecta mudanças na tecnologia. Esses componentes podem assumir valores maiores que a unidade (1)  $M_p(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) > 1$ , indicando então que a DMU avaliada apresentou melhorias ou aumentos relativos de produtividade; iguais à unidade (1)  $M_p(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = 1$  indicando que não ocorreram mudanças; e valores menores que a

unidade (1)  $M_p(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) < 1$ , indica piores ou decrescimento da produtividade ou desempenho relativo (FÄRE et al., 1994).

As distâncias na equação (2) podem ser calculadas mediante a DEA. A continuação é descrita a formulação para a orientação a *output*.

**Quadro 2** – Funções distância orientadas a *output*.

$D_p^t(x^t, y^t)$ <p>Orientação a <i>output</i></p>	$\max\{e_{j0} = \eta \mid$ $\sum_{j=1}^n y_{rj}^t \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{ij0}^t \geq 0$ $\sum_{j=1}^n x_{ij}^t \cdot \lambda_j \leq x_{ij0}^t$ $\lambda_j \geq 0, \eta \geq 0\}$
$D_p^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ <p>Orientação a <i>output</i></p>	$\max\{e_{j0} = \eta \mid$ $\sum_{j=1}^n y_{rj}^t \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{rj0}^{t+1} \geq 0$ $\sum_{j=1}^n x_{ij}^t \cdot \lambda_j \leq x_{ij0}^{t+1}$ $\lambda_j \geq 0, \eta \geq 0\}$
$D_p^{t+1}(x^t, y^t)$ <p>Orientação a <i>output</i></p>	$\max\{e_{j0} = \eta \mid$ $\sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{rj0}^{t+1} \geq 0$ $\sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \cdot \lambda_j \leq x_{ij0}^{t+1}$ $\lambda_j \geq 0, \eta \geq 0\}$
$D_p^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ <p>Orientação a <i>output</i></p>	$\max\{e_{j0} = \eta \mid$ $\sum_{j=1}^n y_{rj}^{t+1} \cdot \lambda_j - \eta \cdot x_{rj0}^{t+1} \geq 0$ $\sum_{j=1}^n x_{ij}^{t+1} \cdot \lambda_j \leq x_{ij0}^{t+1}$ $\lambda_j \geq 0, \eta \geq 0\}$

Fonte: (Sant'Anna et al., 2001).

Em que:  $e$ : Eficiência;  $\eta$ : Inverso da eficiência;  $D^t$ : Função distância relativa à fronteira do período  $t$ ;  $D^{t+1}$ : Função distância relativa à fronteira do período  $t+1$ ;  $x_{ij}^t$ :

Quantidade do *input*  $i$  da DMU  $j$  no período  $t$ ;  $y_{rj}^t$ : Quantidade do *output*  $r$  da DMU  $j$  no período  $t$ ;  $x_{ij_0}^t$ : Quantidade do *input*  $i$  da DMU em análise  $j_0$  no período  $t$ ;  $y_{rj_0}^t$ : Quantidade do *output*  $r$  da DMU em análise  $j_0$  no período  $t$ ;  $x_{ij}^{t+1}$ : Quantidade do *input*  $i$  da DMU  $j$  no período  $t+1$ ;  $y_{rj}^{t+1}$ : Quantidade do *output*  $r$  da DMU  $j$  no período  $t+1$ ;  $x_{ij_0}^{t+1}$ : Quantidade do *input*  $i$  da DMU em análise  $j_0$  no período  $t+1$ ;  $y_{rj_0}^{t+1}$ : Quantidade do *output*  $r$  da DMU em análise  $j_0$  no período  $t+1$ ;  $D_{j_0}^t(x_v^t, y_v^t)$ : Distância da DMU  $j_0$  no período  $t$  relativa à fronteira do período  $t$ ;  $D_{j_0}^t(x_v^{t+1}, y_v^{t+1})$ : Distância da DMU  $j_0$  no período  $t+1$  relativa à fronteira do período  $t$ ;  $D_{j_0}^{t+1}(x_v^t, y_v^t)$ : Distância da DMU  $j_0$  no período  $t$  relativa à fronteira do período  $t+1$ ;  $D_{j_0}^{t+1}(x_v^{t+1}, y_v^{t+1})$ : Distância da DMU  $j_0$  no período  $t+1$  relativa à fronteira do período  $t+1$ .

O método *Malmquist* – DEA resume-se em aplicar o algoritmo de programação linear DEA para a construção da fronteira de produção de um determinado período e depois para o cálculo da razão entre as distâncias de dois pontos de produção de períodos distintos de uma mesma unidade à fronteira assim construída. O cálculo do índice de *Malmquist* pode se resumir nos seguintes passos:

- 1) Cálculo da distância da DMU  $j_0$  no período  $t$  relativa à fronteira do período  $t$ .
- 2) Cálculo da distância da DMU  $j_0$  no período  $t+1$  relativa à fronteira do período  $t$ .
- 3) Cálculo da distância da DMU  $j_0$  no período  $t$  relativa à fronteira do período  $t+1$ .
- 4) Cálculo da distância da DMU  $j_0$  no período  $t+1$  relativa à fronteira do período  $t+1$ .
- 5) Cálculo do índice de eficiência técnica e índice de mudança de tecnologia.
- 6) Cálculo do índice de *Malmquist*.

### 3.4 Escolha do tipo de modelagem envoltória de dados

A fundamentação teórica da Análise Envoltória de Dados exige a escolha da modelagem, que envolva retornos constantes de escala (CCR) ou retornos variáveis de escala (BCC) e deve-se optar por uma orientação. Os modelos em DEA podem ser orientados para *inputs*, quando o objetivo é encontrar quais *inputs* devem ser reduzidos para se produzirem a mesma quantidade de *outputs* que uma DMU considerada como eficiente; ou orientados a *outputs*, quando o objetivo é analisar quanto deve-se aumentar a produção de *outputs* utilizando a mesma quantidade de *inputs* que uma DMU considerada como eficiente.

A orientação mais recomendada para as empresas do setor sucroalcooleiro é a orientação para a maximização de *outputs*, já que o objetivo principal deste tipo de empresas é sempre o de aumentar as vendas de seus produtos, pois é esse o fator que gera lucro.

#### 4 Resultados

Para o período analisado 2012 – 2014 é possível observar na Tabela 3, que no setor sucroalcooleiro brasileiro ocorreram importantes variações no uso de alguns fatores de produção. Em média neste período de 3 anos, as empresas aumentaram consideravelmente fatores como Vendas líquidas (9,3 %) e Liquidez geral (11,1 %), mas em menor proporção, ocorre mudanças nos fatores Giro do Ativo e Total do Ativo. Por outro lado, houve reduções bem significativas no Capital circulante e nos fatores de Patrimônio Líquido tanto legal como ajustado. De forma geral é possível ver que o setor está conseguindo incrementar o retorno sobre seus investimentos.

**Tabela 3** – Indicadores de desempenho econômico e financeiro das empresas nos períodos 2012 e 2014 para a amostra

<i>Especificação</i>	<i>Unidade</i>	<i>2012</i>	<i>2014</i>	<i>Variação (%)</i>
<i>Giro</i>	<i>Nº Índice</i>	0,40	0,50	3,20
<i>Vendas Líquidas</i>	<i>Milhões U\$</i>	278.258,00	304.288,00	9,30
<i>Patrimônio Líquido Legal</i>	<i>Milhões U\$</i>	140.772,00	116.188,00	-17,40
<i>Patrimônio Líquido Ajustado</i>	<i>Milhões U\$</i>	150.953,00	126.549,00	-16,10
<i>Total do Ativo</i>	<i>Milhões U\$</i>	543.698,00	585.733,00	7,70
<i>Liquidez Geral</i>	<i>Nº Índice</i>	0,40	0,50	11,10
<i>Liquidez Corrente</i>	<i>Nº Índice</i>	1,20	0,90	-18,60
<i>Capital Circulante Líquido</i>	<i>Milhões U\$</i>	7.237,00	-32.193,00	-544,80
<i>Endividamento Geral</i>	<i>%</i>	70,30	74,90	6,70
<i>Endividamento a Longo Prazo</i>	<i>%</i>	48,10	44,70	-6,90

Fonte: Resultados da pesquisa.

#### 4.1 Índice de Malmquist – Produtividade Total dos Fatores (PTF)

Em média, é possível observar que o setor teve ganhos na produtividade total dos fatores no período estudado e que esse avanço vem principalmente dos avanços na eficiência técnica pura; em termos gerais, pode-se dizer também que o setor apresentou retrocesso tecnológico, uma vez que a média geral não superou a unidade. Nas seções seguintes, será discutido e analisado cada um dos componentes da PTF, e caracterizados por grupos de empresas para melhor compreensão.

A Tabela 4 mostra as médias gerais da produtividade total dos fatores – índice de produtividade de *Malmquist* e sua decomposição, considerando os índices de produtividade, mudanças de eficiência técnica e mudanças de tecnologia para as 43 usinas sucroalcooleiras em estudo. A decomposição do índice contribui para uma análise das alterações nos índices de produtividade, pois permite identificar se um aumento é devido a progresso tecnológico ou por melhorias na eficiência técnica ou por causa dos dois simultaneamente.

**Tabela 4** – Classificação e Decomposição da PTF (Média Geral)

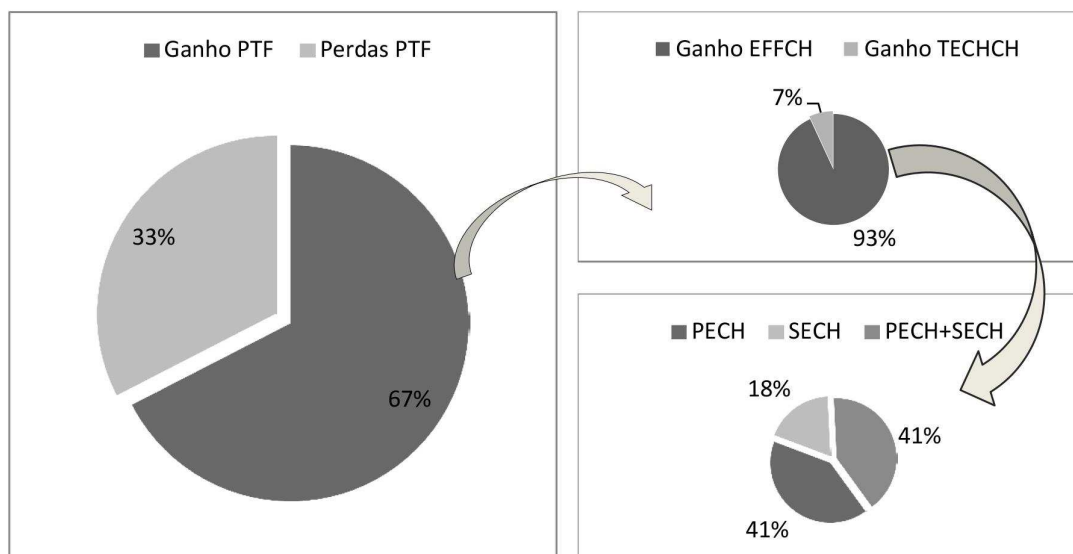
<i>Especificação</i>	<i>PTF &gt;1</i>	<i>PTF &lt; 1</i>
<i>Mudança na eficiência técnica</i>	1,262	1,058
<i>Eficiência técnica pura</i>	1,187	0,974
<i>Eficiência de Escala</i>	1,137	1,111
<i>Mudança tecnológica</i>	0,891	0,889
<i>Mudança na PTF</i>	1,120	0,940

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Figura 3 encontra-se um resumo dos ganhos na PTF e sua decomposição, cabe lembrar que a expressão do índice de Malmquist se decompõe em mudança na eficiência e mudança tecnológica, e que por sua vez a mudança na eficiência pode ser decomposta em mudança na eficiência técnica pura e a mudança na eficiência de escala.

Identifica-se que 67 % das usinas sucroalcooleiras avaliadas tiveram uma mudança favorável na produtividade total dos fatores, e que por sua vez 93 % das usinas que conseguiram melhorar sua PTF, o fizeram via mudança na eficiência (Figura 3). Analisando a origem dos ganhos na eficiência identificou-se que 41 % das empresas o fizeram mediante ganhos na eficiência pura, outras 41 % o fez via eficiência de escala e 18 % restante deu-se através de ganhos conjuntos em eficiência de escala e eficiência pura. As empresas com perdas de produtividade representam 33 % da amostra, sendo que destas, 99 % das empresas conseguiram ganhos na mudança técnica em média de 1,058, mas esses ganhos em eficiência não foram suficientes para compensar as perdas em mudança tecnológica.

Identificou-se também, que 7 % das usinas sucroalcooleiras tiveram uma mudança na produtividade total dos fatores, graças a alterações favoráveis no uso de tecnologias, ou seja, são empresas que tem se modernizado.



**Figura 3** – Distribuição da PTF e seus componentes na amostra estudada.

Nota: PTF- Produtividade Total dos Fatores, EFFCH – Mudança na Eficiência Técnica, TECHCH – Mudança Tecnológica, PECH – Mudança na Eficiência Pura, SECH – Mudança na Eficiência de escala. Fonte: Resultados da pesquisa.

#### **4.1.1 Caracterização das empresas segundo mudança na produtividade total dos fatores**

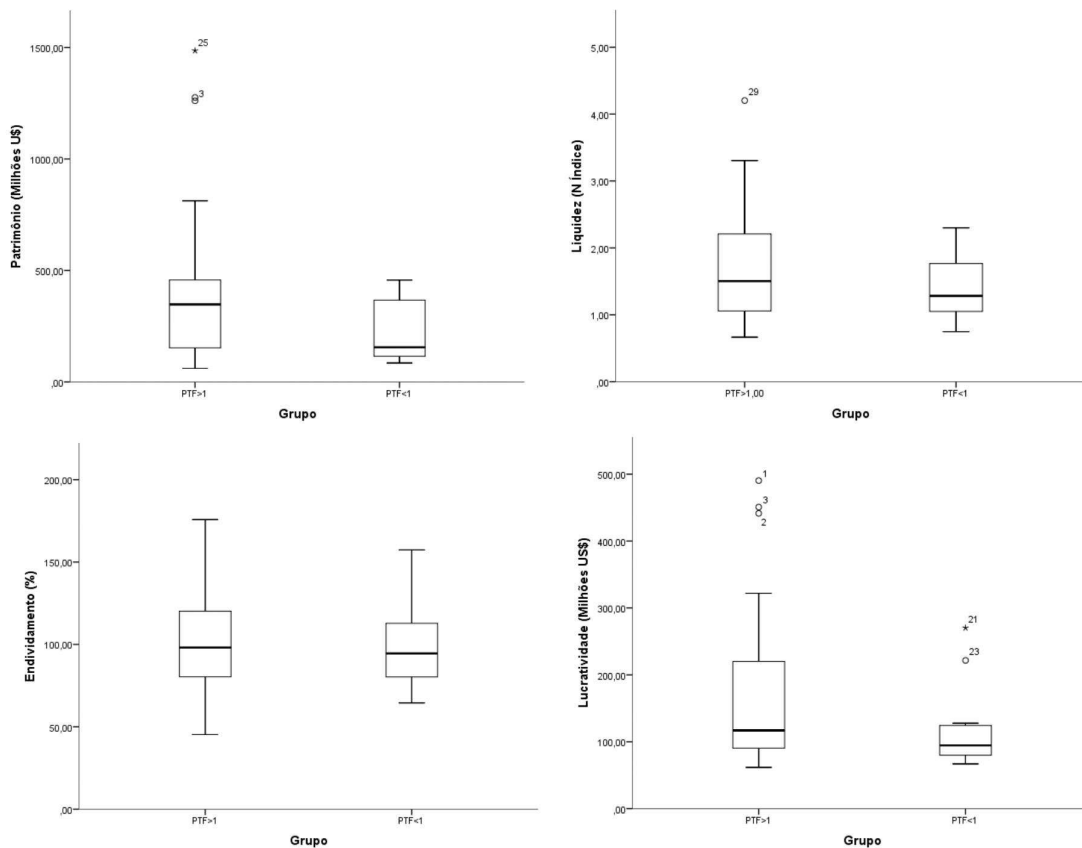
Os resultados da análise de produtividade total dos fatores permitiu classificar a amostra por grupos, segundo seu nível de ganho na PTF. No primeiro grupo ficaram as empresas que tiveram ganhos na PTF, ou seja, as empresas com  $PTF > 1$ , e no segundo grupo ficaram as empresas que tiveram perdas na PTF, ou seja, as empresas com  $PTF < 1$ . O cruzamento dos resultados por estados da federação e por grupo de PTF permitiu identificar que 65,5 % das empresas com ganhos na PTF se localizam em São Paulo, 13,8 % estão localizadas entre Minas Gerais e Paraná e os 20,7 % restantes estão localizadas nos estados de Alagoas, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Com o intuito de caracterizar (tipificar) as empresas segundo seu grupo de produtividade, foram analisadas cada uma das variáveis tanto de entrada como de saída por grupo de PTF. Lembrando que as variáveis de entrada são o Fator 1 (*Patrimônio*), Fator 2 (*Liquidez*) e Fator 3 (*Endividamento*), e a variável de saída é o Fator 4 (*Lucratividade*), estes fatores como mencionado anteriormente estão conformados pelas variáveis listadas no Quadro 1.

Na Figura 4 são apresentadas as distribuições dos fatores de liquidez, patrimônio endividamento e lucratividade em função do seu grupo de PTF. Da análise da Figura 4 é possível identificar que as empresas que ganharam produtividade no período analisado foram

empresas que se classificam como empresas de médio porte e algumas de grande porte, com patrimônio em torno dos 480 mil dólares. Já as empresas de menor porte tiveram perdas na PTF, as empresas de menor porte são empresas que cresceram em desequilíbrio, avançando em algumas áreas, mas ficando estagnadas em outras. As empresas com ganhos de produtividade como esperado também foram caracterizadas por apresentar altos índices de liquidez, o fator de endividamento não se apresentou como um fator decisivo uma vez que não houve diferença entre as empresas que ganharam produtividade e as que perderam.

Quando analisada a variável de lucratividade (saída)(Figura 4), em função da produtividade foi possível identificar que as empresas com ganhos de produtividade foram as que apresentaram os maiores níveis de lucratividade chegando a ter algumas das empresas lucratividade de até 500 milhões de dólares. Já as empresas com perdas de produtividade apresentaram como esperado baixos níveis de lucratividade, em torno dos 100 milhões de dólares.



**Figura 4** – Distribuição das variáveis de estudo por PTF.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise da produtividade no período 2012/2014 permitiu identificar que empresas de médio e grande porte tiveram uma recuperação na sua produtividade, para esse período 67 % das usinas tiveram índices superiores à unidade.

Foi possível verificar que em média as empresas que apresentaram ganhos de produtividade no período 2012/2014, tiveram uma variação nas suas vendas líquidas de 29,94%, ou seja, as vendas dessas empresas foram incrementadas do ano 2012 para 2014, conseqüentemente este grupo aumentou seus lucros.

Quando analisado o nível de endividamento das empresas que ganharam produtividade, comprovou-se que este fator, está sendo reduzido por este grupo de empresas, o que traz consigo um alívio para estas empresas, já que algumas das empresas do setor não conseguem sequer gerar caixa para pagar os juros das dívidas adquiridas.

Quando analisadas as empresas com perdas de produtividade é possível observar que estas empresas têm valores de endividamento no mesmo patamar que as empresas que aumentaram sua produtividade. No setor existem dívidas sem precedentes, sendo que a estimativa dos bancos apresentadas pela Novacana (2016), é de que o setor tem dívidas em torno dos 70 bilhões de reais, dívida esta que deve ser reduzida até níveis operacionais, a fim de reduzir o financiamento de capital externo, o qual está piorando a situação de muitas empresas sobre tudo, pela alta do dólar frente ao real.

Paralelamente é observado que estas empresas têm valores de patrimônio inferiores, o que pode indicar que estas empresas estão adquirindo créditos para aquisição de algum tipo de ativo que não esteja relacionado diretamente com a produtividade da empresa, em consequência estão fazendo uma má alocação de seus recursos. As usinas que perderam em produtividade são empresas que até a crise de 2008 tinham projeções de crescimento, ou seja, tinham planejado aumentar a produção, mas devido à interferência governamental no setor, e a crise financeira, seus índices de produção caíram ou voltaram ao mesmo patamar (BARSSI, 2016). A queda nos preços do etanol e dificuldades em conseguir financiar a produção agrícola levou alguns dos produtores a economizar nos tratamentos culturais, trazendo como consequência uma queda na produtividade nas áreas de produção.

#### **4.1.2 Mudança Tecnológica**

Valores de mudança tecnológica superiores à unidade, implicam implementação de tecnologias. É importante ficar claro que quando se fala de mudança tecnológica, não somente se faz referencia a investimentos em tecnologias de informação. Melhorias em tecnologia ou mudanças tecnológicas representam a possibilidade de incrementar os *outputs* com os mesmos *inputs*, portanto as mudanças de tecnologia podem ser derivadas da implementação de novos procedimentos, melhores praticas administrativas, melhores acordos comerciais entre outros.

No setor sucroalcooleiro, assim como em qualquer outra área produtiva, a inovação tecnológica, a pesquisa e o desenvolvimento, sempre precisam estar ativos e atualizados independente das dificuldades econômicas enfrentadas com o intuito de viabilizar o crescimento da empresa, trazendo novas tecnologias que aprimorem os resultados. O setor sucroalcooleiro brasileiro já teve uma das melhores tecnologias em cana-de-açúcar, tanto em produção como em transformação, ficando com custos de produção imbatíveis.

Ao analisar o período de 2012/2014, observa-se que apenas 7 % das empresas tiveram ganhos de produtividade, e conseguiram aumentar sua PTF mediante aumento nos índices de mudança tecnológica para este período. Ou seja, um grupo muito restrito alcançou ganhos na sua produtividade graças ao uso de tecnologias. Este quadro demonstra que a mudança tecnológica nas empresas avaliadas, foi exclusiva para as empresas mais dinâmicas, aprofundando as diferenças tecnológicas nas indústrias, que no médio prazo podem comprometer a participação no mercado internacional, uma vez que só algumas empresas estarão em condições de atender a demandas dos clientes e competir com seus concorrentes.

A busca pela eficiência tecnológica direciona as empresas do setor sucroalcooleiro a fazer investimentos na área de automação de processos, gerenciamento da logística de transporte da matéria prima e produto acabado, e inovações nos seus produtos e estruturas organizacionais, empreendendo assim processos de reorganização das estruturas produtivas. Segundo (Rosário e Cruz, 2006) tal fato, tem gerado grandes diferenças tecnológicas, aumentando a concentração industrial e o poder de mercado de algumas empresas em detrimento de outras. Na visão de (Paiva, Baccarin e Bueno, 2011) a concorrência entre as empresas tem contribuído para o aumento da necessidade de avanços tecnológicos e para o desenvolvimento de novas ferramentas gerenciais, de modo que as empresas estão investindo em ferramentas eficientes, sobre tudo em ferramentas gerenciais financeiras, para que suas

atividades sejam eficientes, e proporcionem a maximização das riquezas dos proprietários, como corroborado nesta pesquisa.

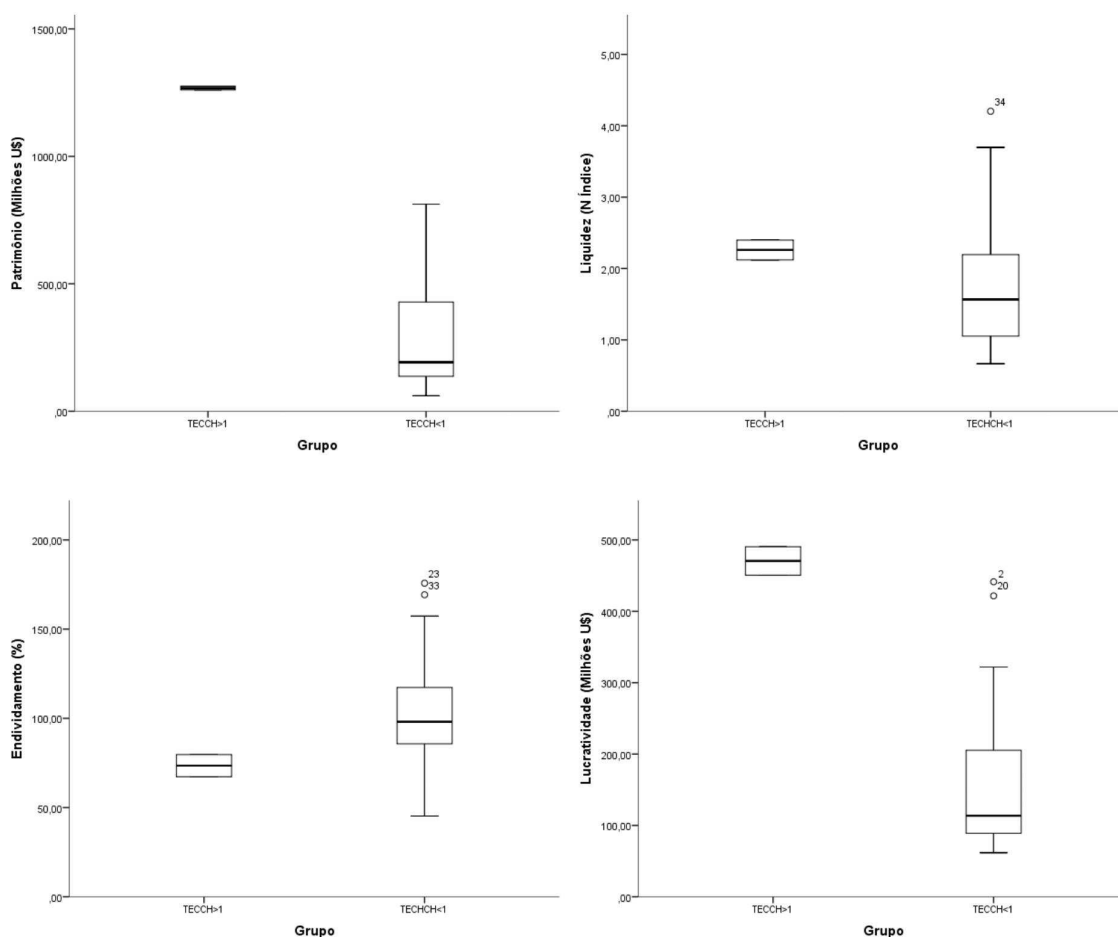
Sendo assim, as empresas que ganharam em tecnologia, nas safras 2012/2013 e 2013/2014, safras que estão no período estudado, avançaram na estruturação do crescimento de sua produção, através de investimentos na infraestrutura agrícola e industrial com modernização em equipamentos, melhorias de tecnologia em agricultura de precisão e recuperação térmica e hídrica na indústria.

Embora tenha havido um leve aumento na PTF das usinas no período considerado, verificou-se que existem empresas que tiveram ganho na sua mudança tecnológica e ganhos na mudança da eficiência técnica e outras que apresentaram perdas nestes dois critérios. Decidiu-se considerar então dois grupos: o primeiro grupo é o grupo competitivo, conformado pelas empresas que mantiveram ou aumentaram sua mudança tecnológica, e o grupo não competitivo: conformado pelas empresas que apresentaram perdas na sua mudança tecnológica; de igual forma foi feito para a mudança na eficiência técnica.

**Grupo competitivo:** de acordo com os resultados, como é observado na Figura 5, as empresas com ganhos de mudança tecnológica são empresas de grande porte, com patrimônio de mais de 1 bilhão de dólares, menor nível de endividamento, alta liquidez e conseqüentemente alta lucratividade. Pode-se dizer, que este tipo de empresas está fazendo uma ótima alocação de seus investimentos em tecnologia e que por sua vez esses investimentos estão trazendo os resultados esperados, uma vez que geram altas taxas de lucratividade; a adoção dessas estratégias tecnológicas tem permitido que essas usinas tomem distancia das demais, gerando uma vantagem competitiva muito importante. Segundo Albanez, Bonizio e Ribeiro (2008) a competitividade do setor sucroalcooleiro é decorrente das tecnologias favoráveis à produção, do nível de organização. Grandes avanços tecnológicos, gerencias e investimentos em infraestrutura resultam na redução de custos de produção e aumento da eficiência trazida com o avanço de processos como: a introdução de novas variedades de cana, novos sistemas de moagem, uso de vinhaça como fertilizante, autonomia em energia etc. todas essas inovações colaboram para o aumento da produtividade e competitividade do setor.

**Grupo não competitivo:** As empresas que estão no grupo de perdas de mudança tecnológica, são empresas caracterizadas como empresas de menor porte, baixa liquidez, alto

endividamento e baixa lucratividade (Figura 5). Segundo a (UNICA, 2014) os baixos montantes de investimentos por parte destas empresas, e a economia feita nos tratos culturais levou conseqüentemente a ter perdas de produtividade nas áreas de produtividade de este tipo de empresas. Além da redução nos tratos culturais, as usinas tem reduzido suas atividades de manutenção industrial, investimentos em novas tecnologias e renovação de canaviais, agravado ainda pelo envelhecimento do parque industrial e da área agrícola, resultando em queda de produtividade. Outra característica deste grupo é a estagnação das empresas, que não investem em novas tecnologias e não acompanham a evolução das outras usinas ficando defasados (UNICA, 2014).



**Figura 5** – Distribuição das variáveis de estudo por mudança tecnológica.  
 Fonte: Resultados da pesquisa.

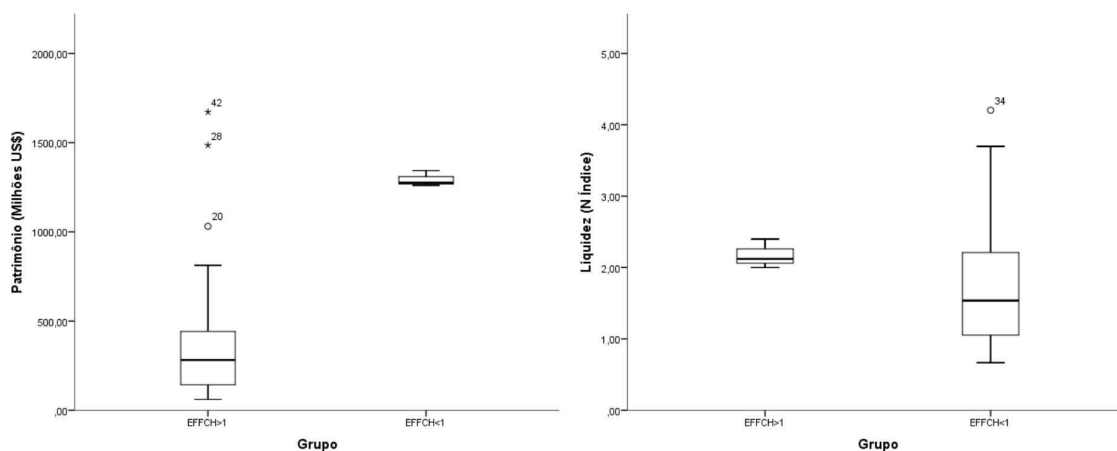
### **4.1.3 Mudança na eficiência técnica**

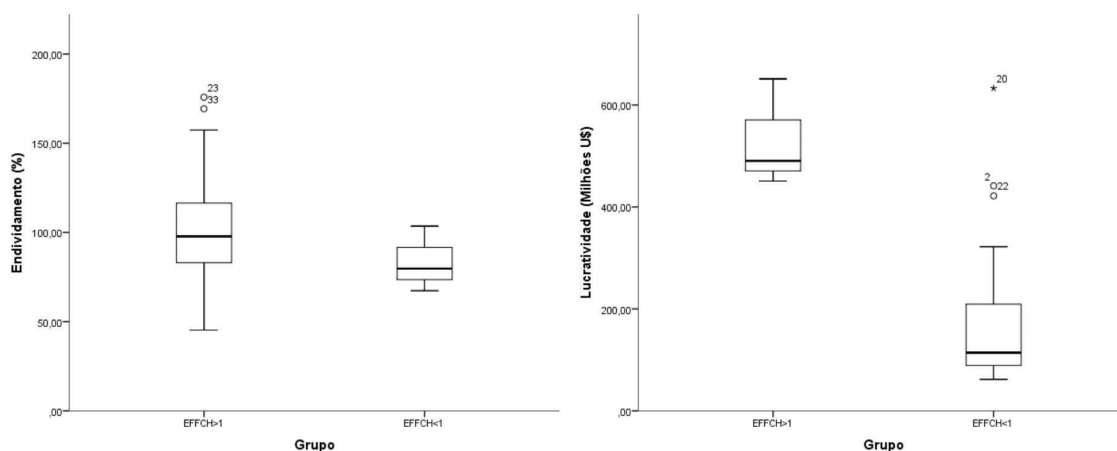
A mudança na eficiência técnica pode ser analisada independentemente dos demais componentes da produtividade. Esta compara a eficiência técnica desde o ponto de vista do

produtor, de um período, com a eficiência alcançada no período anterior. Dessa forma, um valor maior que a unidade implica uma aproximação à fronteira de eficiência e um valor menor que a unidade um afastamento da mesma. Continuando a mesma dinâmica serão analisados os resultados e caracterizados os grupos para cada um dos insumos e produtos para o período.

Para o período 2012/2014 observa-se que 93 % das empresas analisadas incrementaram sua eficiência no ano 2014 em relação ao ano 2012 (Figura 3). A decomposição da mudança na eficiência técnica permitiu saber que 18 % das empresas obtiveram esses ganhos mediante melhorias na sua eficiência de escala, 41 % o fizeram via melhoria na eficiência pura e os 41 % restante se deu mediante melhoria do conjunto da eficiência pura e a eficiência de escala. Autores como (Cano e Tupy, 2005) afirmam que estas diferenças significativas de eficiência técnica e de escala, ocorrem pela forma com que cada empresa administra seus insumos.

**Grupo Competitivo:** As empresas com ganhos na mudança de sua eficiência são as empresas principalmente de porte médio e pequeno, e algumas poucas de grande porte. Fato que é bem distinto da análise do estudo por mudança tecnológica, este grupo ainda é caracterizado por ter alta liquidez e uma diferencia bem significativa na lucratividade deste tipo de empresas (Figura 6), ou seja, as empresas que estão ganhando em eficiência são empresas que efetivamente estão fazendo um ótimo uso de seu mix de insumos, obtendo excelentes resultados na sua lucratividade. Para este grupo de empresas com maior eficiência, o maior índice de endividamento está gerando resultados positivos, possível por estes recursos estarem sendo utilizados para promover o aumento da produção e da eficiência.





**Figura 6** – Distribuição das variáveis de estudo por mudança na eficiência.  
Fonte: Resultados da pesquisa.

**Grupo não competitivo:** Sabendo que a eficiência técnica reflete se os recursos são explorados ao máximo de sua capacidade ou não, e que as empresas pertencentes a este grupo a pesar de ser empresas principalmente de grande porte, apresentam baixa liquidez e baixa lucratividade, o que leva a concluir que estas fazem um mau uso de seus recursos. Embora este grupo de empresas tenha índices de endividamento, perto do grupo competitivo, o mau uso desses recursos leva a ter perdas na sua eficiência técnica.

É importante salientar que a metodologia adotada neste trabalho, é influenciada pela amostra selecionada, portanto, é importante ter discrição quando comparados os dados deste estudo com outros que não usem a mesma amostra de usinas sucroalcooleiras. Os resultados também são influenciados pelo método de estimação, pelo período estudado, pelas especificidades do modelo, podendo-se obter resultados diferentes, e em consequência interferir na interpretação dos mesmos.

## 5 Conclusões

No período dos 3 anos avaliados (2012/2014) o setor sucroalcooleiro aumentou em média sua produtividade. O índice de *Malmquist* foi em média de 1,12, (67 % das empresas avaliadas conseguiram aumentar sua produtividade no período). Esse avanço foi obtido em consequência dos ganhos em eficiência técnica. Destes avanços na eficiência técnica, foram derivados em 41 % por ganhos na pura eficiência, somados a outro 41 % obtido dos ganhos em conjunto da pura eficiência com a eficiência de escala.

Já no grupo de empresas que tiveram retrocesso, a mudança tecnológica aparece como responsável. Durante o período estudado ocorreu um retrocesso tecnológico, sendo o índice médio de 0,89. Apenas um pequeno grupo de empresas (7%), caracterizado por serem de grandes empresas, apresentou ganhos na mudança tecnológica.

A mudança na eficiência técnica, outro componente do índice de Malmquist, apresentou uma média de 1,226 (93 % dos ganhos na PTF foram via mudança na eficiência técnica), um resultado bom, influenciado principalmente pela eficiência técnica pura, e pela eficiência pura conjugada com a eficiência de escala.

As empresas sucroalcooleiras que formam a amostra estudada tem se aproximado da fronteira de eficiência no período estudado, o que pode ser interpretado como a procura pela sua eficiência técnica. Essa melhoria na eficiência técnica permitiu contrariar parte da perda tecnológica e evitar que o índice de produtividade decrescesse.

A aplicação do índice de *Malmquist* mostrou ser adequado na determinação dos índices de produtividade das usinas sucroalcooleiras, proporcionando os meios adequados para determinar as melhores formas de avaliar a condução das atividades, e fornecendo uma comparação entre os períodos, considerando mudanças de eficiência técnica e mudanças de tecnologia.

## **6 Bibliografia**

ALBANEZ, T.; BONIZIO, R. C.; RIBEIRO, E. M. S. Uma análise da estrutura de custos do setor sucroalcooleiro brasileiro. **Custos e Agronegócio**, v. 4, n. 1, p. 79–102, 2008.

ALI, A. I.; SEIFORD, L. M. Translation invariance in data envelopment analysis. **Operations Research Letters**, v. 9, n. November, p. 403–405, 1990.

ALI, J.; SINGH, S. P.; EKANEM, E. Efficiency and productivity changes in the Indian food processing industry: determinants and policy implications. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 12, n. 1, p. 43–66, 2009.

BANKER, R. D. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 17, p. 35–44, 1984.

BARSSI, L. **A crise não é motivo para qualquer pesquisa**. Pesquisa e desenvolvimento. *Jornal Cana*. Nº 268. 2016.

CANO, A.; TUPY, O. **Eficiência produtiva de usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo** Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais...2005**

CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. The Economic Theory of Index

Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. **Econometrica**, v. 50, p. 1393–1414, 1982.

CHANDRAPRAKAIKUL, W.; SUEBPONGSAKORN, A. Evaluation of logistics companies using data envelopment analysis. **International Symposium on Logistics and Industrial Informatics**, p. 6, 2012.

CHARLES, V.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. A translation invariant pure DEA model. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 1, p. 390–392, 2016.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, nov. 1978.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTES, G. E. An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer Science & Business Media, 2005.

COOK, W. D.; SEIFORD, L. M. Data Envelopment Analysis (DEA) – Thirty years on. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 1, p. 1–17, jan. 2009.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; FILHO, J. M. D. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo. 2014.

DÍAZ, A. S. **Evaluación de la eficiencia en la educación secundaria**. La coruña: Netbiblo, 2004.

DINCUȚĂ-TĂNASE, I.; BORDEA, C.; CÂMPEAN, E.; POP, D. Productivity of DMUs: A Proposed Framework. **Procedia Economics and Finance**, v. 15, n. 14, p. 943–950, 2014.

EMROUZNEJAD, A.; PARKER, B. R.; TAVARES, G. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 42, n. 3, p. 151–157, set. 2008.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. **The American Economic Review**, v. 84, n. 1, p. 66–83, 1994.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 120, n. 3, p. pp. 253–290, 1957.

FERREIRA, C. M. DE C.; GOMES, A. P. **Introdução à Análise Envoltoria de Dados teoria, modelos e aplicações**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.

GRIFELL-TATJÉ, E.; LOVELL, C. A. K. A note on the Malmquist productivity index. **Economics Letters**, v. 47, n. 2, p. 169–175, 1995.

GRÖNROOS, C.; OJASALO, K. Service productivity towards a conceptualization of the transformation of inputs into economic results in services. **Journal of Business Research**, v. 57, p. 414–423, 2004.

JUNIOR, A. M. DE M. **Índice de Malmquist aplicado na avaliação de produtividade de soja da região de Guarapuava**. 88 p. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos). Faculdade Ciências Exatas e Tecnologias, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

JUNIOR, A. M DE M; WILHELM, V. E. Índice de Malmquist aplicado na avaliação da

Produtividade de soja na região de Guarapuava. **Revista Capital Científico do Setor de Ciências Sociais Aplicadas**, v. 2, p 51-65, 2006.

KEH, H. T.; CHU, S.; XU, J. Efficiency , effectiveness and productivity of marketing in services. **European Journal of Operational Research**, v. 170, p. 265–276, 2006.

LANTERI, L. N. Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. la propuesta de los índices Malmquist. **Anales de la Asociación Argentina de Economía Política, XXXVII Reunión Anual**. 2002.

LEE, M. The shadow price of substitutable sulfur in the US electric power plant: A distance function approach. **Journal of Environmental Management**, v. 77, n. 2, p. 104–110, 2005.

MACEDO, M. Á. D. S.; BARBOSA, A. C. T. D. A. M.; CAVALCANTE, G. T. Desempenho de agências bancárias no Brasil: aplicando análise envoltória de dados (DEA) a indicadores relacionados às perspectivas do BSC. **Revista Economia & Gestão**, v. 9, n. 19, p. 65–84, 2009.

MALMQUIST, S. Index numbers and indifference surfaces. **Trabajos de Estadística**, v. 4, n. 2, p. 209–242, 1953.

MARINHO, E.; BITTENCOURT, A. Produtividade e Crescimento Econômico na América Latina: A Abordagem da Fronteira de Produção Estocástica. **Estudos Econômicos**, v. 37, p. 5–33, 2007.

MENDONÇA, E. DE C. O desempenho da produtividade da indústria de transformação Brasileira – 1996-2002 : Uma abordagem utilizando o índice de produtividade de Malmquist. **Revista Brasileira de Economia de Empresas**, v. 7, n. 2, p. 43–57, 2007.

NOVACANA. Setor sucroenergético começa safra 2016/17 com dívida de quase R\$ 100 bi.

PAIVA, S.; BACCARIN, J. G.; BUENO, O. DE C. **Time -Driven activity -based costing ( TDABC ) aplicado em planta sucroenergética**XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Belo Horizonte: 2011.

PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 54, n. 1, p. 147-166, 2016.

RIVERA, E. B. B.; CONSTANTIN, P. D. Produtividade total dos fatores nas principais lavouras de grãos brasileiras: análise de fronteira estocástica e índice de Malmquist. **Munich Personal RePEc Archive**. 2007.

ROSÁRIO, F. J. P.; CRUZ, N. J. T. DA. Inovação e eficiência produtiva na agroindústria sucro-alcooleira do Brasil. **ABEPRO**, p. 1–9, 2006.

SANT'ANA, A. P.; OLIVEIRA, C. A.; LINS, M. P. E. Análise de Produtividade do Setor Odontológico do Sistema de saúde da Marinha Utilizando o Índice de Malmquist. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

SÉ, F. E. D. DA S. **Análise da produtividade das distribuidoras de energia elétrica utilizando Índice Malmquist e o método de bootstrap**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Eletrica). Faculdade de Engenharia Eletrica, Universidad Federal de Itajubá, Itajuba, 2012.

SUÁREZ, O. M.; MEJÍA, J. S. Estimación de la eficiencia técnica de las economías de los departamentos cafeteros de Colombia, por el método de programación lineal análisis envolvente de datos (DEA). **Scientia et Technica**, n. 44, p. 348–353, 2010.

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA environmental assessment in time horizon: Radial approach for Malmquist index measurement on petroleum companies. **Energy Economics**, v. 51, p. 329-345, 2015.

THANASSOULIS, E. Assessing the efficiency of schools with pupils of different ability using Data Envelopment Analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 47, p. 84–97, 1996.

UNICA. O efeito dominó da crise sobre o setor. **RPA News**, 2014.

ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 1, p. 1–18, 2008.

### **CAPÍTULO 3: Avaliação e análise da eficiência técnica e de escala na indústria sucroalcooleira brasileira: uma abordagem utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA).**

#### **Resumo**

Este trabalho tem o objetivo de avaliar e comparar a eficiência do setor sucroalcooleiro brasileiro através de indicadores econômicos e financeiros. Foi avaliada a eficiência técnica mediante a metodologia DEA/BCC orientada a *outputs* de 67 usinas sucroalcooleiras distribuídas em todo o Brasil, das quais 19,4 % resultaram eficientes tecnicamente, e 4,47 % mostraram ser eficientes a escala. Em média, as usinas apresentaram eficiência técnica de 41,9 % e eficiência de escala de 66,8 %. As unidades identificadas como ineficientes tiveram como recomendação aumentar suas vendas e giro do ativo em até 1200 %. A metodologia permitiu a identificação de usinas “*Falsas Eficientes*” através da aplicação da fronteira invertida. Os resultados permitem concluir que existe um alto grau de ineficiência relativa no setor, o que possibilita traçar planos de melhoria de desempenho para as usinas avaliadas, assim se fornecem parâmetros que auxiliam na comparação de eficiências entre as empresas avaliadas.

**Palavras Chaves:** Fronteira Invertida, Benchmarks, Análise fatorial.

#### **1 Introdução**

Num ambiente de mercado e concorrência cada dia mais acirrado exige de cada um dos setores econômicos um planejamento adequado e a implantação de melhorias, que não somente procurem o crescimento, mas também a sobrevivência futura dos negócios (Casas e Barboza, 2007). Devido ao crescente número de novas usinas no setor, junto à indisponibilidade de áreas de expansão para cultivos de cana-de-açúcar em algumas regiões do país, tem-se gerado um cenário de acirrada concorrência, o que exige das empresas a gestão dos recursos disponíveis, sendo isso possível com níveis adequados de eficiência.

Segundo Bins, Casas, e Filho (2011), estabelecer critérios e definir parâmetros para mensurar a eficiência não é uma tarefa fácil. Essa dificuldade motivou o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão que auxiliam aos gestores ou aos tomadores de decisão. A Análise Envoltória de Dados – DEA é uma dessas metodologias de auxílio.

As comparações de eficiência entre empresas permitem uma avaliação do desempenho de outras usinas, e se constituem em um principal *benchmark*, que gera melhorias no nível de eficiência. O *Benchmarking* é definido por Badin (1997) como o processo contínuo e sistemático de avaliações de empresas e serviços através da sua comparação com unidades consideradas eficientes, que leva ao estabelecimento de ações gerenciais com o objetivo de aprimorar os resultados. Na visão de Novaes (2001) o *benchmarking* é um instrumento de gerencia que possibilita a melhoria do desempenho técnico-econômico das empresas em forma comparativa. Segundo Badin (1997), no processo parte-se do pressuposto que as empresas atuam num mesmo ramo e apresentam atividade semelhantes, com padrões que podem ser aplicados a todas. Algumas delas conseguem combinar melhor seus insumos, mediante o uso de processos e técnicas de gestão, gerando produtos com maior eficiência. São essas empresas eficientes que vem a ser referências para as demais, que devem rever seus processos com o objetivo de caminhar no sentido de um melhor desempenho gerencial.

O setor além da crescente concorrência enfrenta grandes problemas como a baixa remuneração, ou seja, em muitos casos os custos de produção estão muito próximos dos preços de venda do produto, o que de certa forma acaba colocando em risco a permanência das empresas no setor, sobretudo para aquelas empresas que operam com baixos níveis de eficiência, nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é avaliar e comparar a eficiência de usinas do setor sucroalcooleiro brasileiro, através do uso de parâmetros que mostram como estas empresas organizam o dinheiro investido e como conseguem os resultados financeiros em consequência das decisões estratégicas e alocação dos recursos financeiros, dessa forma o trabalho pretende determinar se as empresas do setor sucroalcooleiro são eficientes no uso de seus recursos econômicos.

## **2 Referencial Teórico**

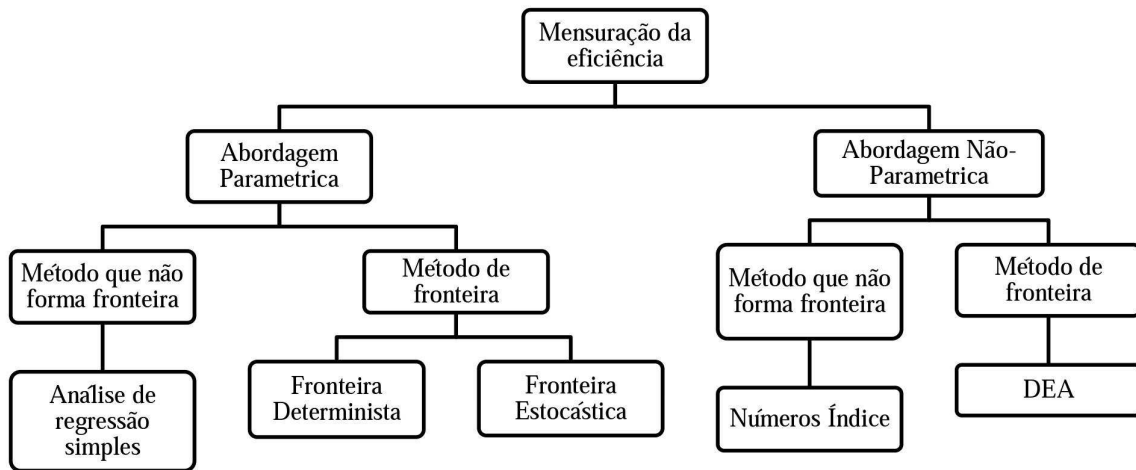
### **2.1 A eficiência e suas técnicas de mensuração**

Segundo Castillo (2007), a eficiência é a capacidade de conseguir um fim mediante a relação desejável entre os fatores e os resultados produtivos. Ou seja, produzir o máximo com o mínimo de recursos ou minimizar o consumo de recursos dado um nível de produção a alcançar. A eficácia por sua vez é a capacidade de conseguir o efeito que se deseja ou espera, sem que se prive dos recursos empregados.

A eficiência é um conceito que atua no âmbito interno da empresa. No entanto os elementos do entorno têm grande influência sobre o comportamento estratégico da organização. Existem diferentes técnicas para mensurar a eficiência estas se agrupam basicamente em dois grandes grupos: os modelos que utilizam as aproximações paramétricas e os que empregam as aproximações não paramétricas. Os autores Berger e Humphrey (1997), classificaram estes dois grupos em fronteiras paramétricas e as fronteiras não paramétricas. No grupo das fronteiras não paramétricas destacam a Análise Envoltória de Dados (DEA) e Livre Disposição de Envoltória (FDH), no caso das aproximações paramétricas destacam-se a *Stochastic Frontier Approach* (SFA), *Distribution-Free Approach* (DFA) e a *Thick Frontier Approach* (TFA).

As aproximações não paramétricas são caracterizadas por impor um menor número de restrições à tecnologia de produção utilizada, baseando-se na ideia de envolver os dados observados na construção da fronteira de eficiência, através do uso da programação linear. Este método não exige a especificação de nenhuma forma funcional para as funções de custos e produção (DA SILVA, 2006).

Os modelos de natureza não paramétrica utilizam técnicas de programação matemática para medir e avaliar a eficiência das unidades de decisão. Nesta categoria destaca-se a Análise Envoltória de Dados – DEA, através da qual se pode construir uma fronteira de produção, que permite medir a eficiência relativa de um conjunto de unidades de decisão que produzem *outputs* similares a partir de um conjunto comum de *inputs*. A fronteira de produção caracteriza o mínimo conjunto de insumos necessários para produzir quantidades fixas de vários tipos de produtos, ou de forma análoga, a fronteira de produção caracteriza a máxima produção possível dada uma quantidade fixa de insumos (SCHERER, 2014). Na Figura 1 visualiza-se um esquema sobre as técnicas de mensuração da eficiência. A figura 1 se apresenta apenas como uma aproximação esquemática simples das técnicas de estimação da eficiência.



**Figura 1** – Organograma das técnicas de mensuração da eficiência.

Fonte: Sarafidis (2002).

A metodologia DEA se caracteriza por apresentar maior flexibilidade para adaptar-se às peculiaridades de determinados setores, permite estabelecer uma série de pressupostos flexíveis para definir o conjunto de possibilidades de produção. Este espaço e sua correspondente fronteira se estimam a partir das observações disponíveis sobre os *inputs* e *outputs* de uma série de DMUs, fazendo uso da programação linear (PL) para realizar os cálculos. Além disso, a metodologia oferece informação completa e individualizada das DMUs avaliadas, o que permite conhecer aspectos de interesse tanto das DMUs eficientes como das ineficientes. Junto com isso, permite incorporar variáveis não discricionais, de natureza categórica, ou a inclusão de informação da opinião de especialistas, para delimitar o conjunto de empresas eficientes. Além, as técnicas baseadas na programação linear se adaptam a situações onde não se têm informação sobre variáveis como preços ou, se existe esta não é confiável (CASTILLO, 2007).

O autor Hormazabal (2003) destaca que a DEA têm se convertido em um método de *benchmark* de uso frequente por parte das empresas, pois esta metodologia não está baseada no conhecimento da função de produção e corresponde a um método não paramétrico, o que permite modelos mais ricos e não dependentes do conhecimento dos preços dos fatores de produção. A metodologia DEA cria uma fronteira de produção através de combinações lineares, com o conjunto de empresas consideradas eficientes. Isto representa uma vantagem por sua maior flexibilidade, ainda que para muitos seu inconveniente fundamental está na falta de propriedades estatísticas dos resultados obtidos com a programação linear. A

vantagem fundamental que justifica sua eleição é a factibilidade de incorporar as economias de escala.

## 2.2 Projeções das empresas

Uma avaliação importante que permite a análise envoltória de dados é a projeção ou as metas que cada DMU ineficiente deve atingir para se tornar eficiente, sendo assim surgem 4 conceitos importantes para a projeção das empresas ineficientes descritos a continuação:

**Produção Atual:** O valor atual refere-se à combinação de produtos utilizados pela DMU que esta sendo analisada (DRUMOND et al., 2011).

**Movimento Radial:** refere-se à redução dos insumos em direção à fronteira eficiente, calculado pela multiplicação dos insumos observados pela eficiência das respectivas unidades, ou pela multiplicação da unidade do insumo da unidade ineficiente pelo lambda do (s) seu (s) *benchmark* (FERREIRA e GOMES, 2009). Outros autores indicam que o movimento radial consiste na determinação de um raio com origem no plano (0,0), sobre o qual a DMU ineficiente percorre em direção à fronteira de eficiência, ou seja, ou seja, representa a combinação de produtos para a mesma quantidade de insumo, que torna a DMU avaliada eficiente, o valor radial é calculado multiplicando o inverso da eficiência pela produção atual da DMU avaliada (DRUMOND et al., 2011).

**Alvos:** estes valores referem-se às metas que as empresas devem atingir a modo de alcançar um nível de eficiência ótimo (SILVA, 2015). Os autores Ferreira e Gomez (2009) o definem como o movimento radial diminuído das possíveis folgas.

**Folgas:** existem folgas quando mesmo após se dar o movimento radial, as unidades produtoras ainda podem maximizar seus produtos, o calculo das folgas leva em consideração todas as DMUs que tem influencia sobre a DMU que esta sendo analisada, ou seja, aquelas que são *benchmarking* da DMU ineficiente (DRUMOND et al., 2011).

## 2.3 Usos e estudos com DEA

O estudo e determinação da eficiência de firmas, bem como suas aplicações têm se tornado uma das grandes linhas de pesquisa na microeconomia. Devido a seu amplo espectro de aplicabilidade, os modelos DEA têm apresentado crescente utilidade em diferentes áreas de estudo a nível nacional e internacional (FREIRE et al., 2012).

Estes estudos em diferentes áreas mostram o amplo espectro de aplicabilidade que têm a metodologia DEA. Na área do agronegócio, especialmente no setor sucroalcooleiro são poucos os estudos realizados aplicando esta metodologia. Como exemplo podem se citar os trabalhos de:

(Junior *et al.*, 2014), os quais avaliam a eficiência operacional de usinas sucroalcooleiras no Brasil para a safra 2008/2009, considerando a relação entre tamanho e localização no estado de São Paulo; usando o modelo DEA orientado a *outputs*, com o objetivo de elaborar um mapa de potencial agrícola para o investimento de novas usinas sucroalcooleiras, considerando que as maiores usinas se encontram no estado de São Paulo e que os cultivos desse estado têm maior conteúdo de sacarose pelas condições edafoclimáticas dessa região, como resultados o estudo mostrou que do grupo de 355 usinas analisadas, só 11 se mostraram eficientes das quais 8 se encontram no estado de São Paulo, outro resultado desta pesquisa mostrou que não existe uma relação direta entre tamanho e eficiência, uma vez que no grupo das usinas eficientes havia usinas de grande, media e pequena escala.

Por outro lado, (Oliveira *et al.*, 2012) estudaram a eficiência da produção em fazendas de produção de cana-de-açúcar considerando como variáveis: renda, matérias-primas, custos de colheita, carga e transporte de açúcar, e lucro, concluindo que é possível realizar reduções nos gastos e incrementar a produção nas fazendas de produção de cana-de-açúcar visando a eficiência na relação insumo/produto.

Assim mesmo, Padilla-fernandez e Nuthall (2009) avaliaram através da metodologia DEA as ineficiências na produção de cana-de-açúcar na área central de Negros, nas Filipinas, neste estudo a metodologia foi utilizada para determinar a relação técnica, a escala, e a eficiência técnica geral das fazendas de produção de cana-de-açúcar, os autores concluíram que a maior fonte de ineficiência do setor na região estudada eram as técnicas em lugar dos efeitos de escala.

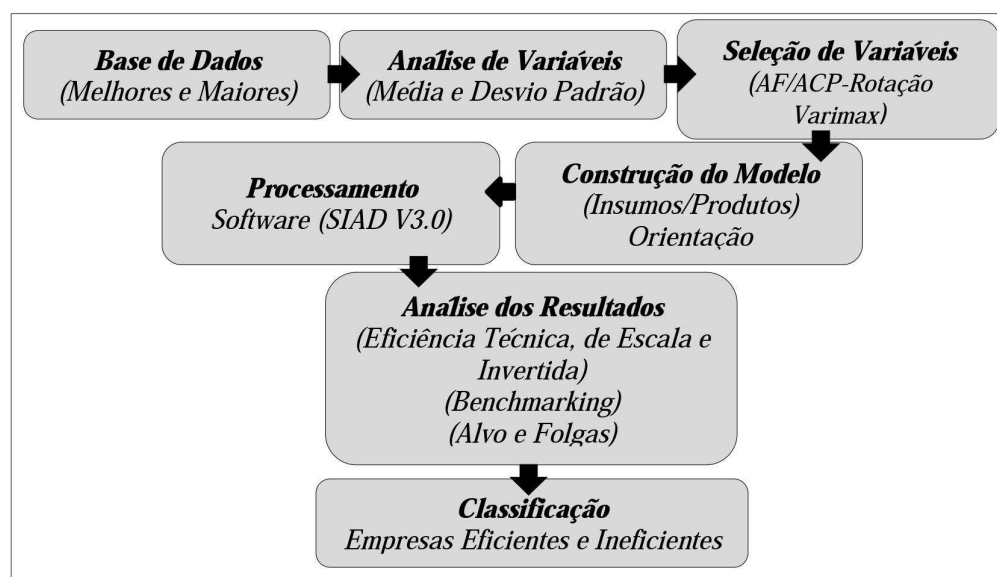
O trabalho de (Ali, Singh e Ekanem, 2009) analisa as mudanças da eficiência e de produtividade em 12 setores da indústria da fabricação de alimentos na Índia em dois períodos, de 1980 até 1981 e de 2001 até 2002, aplicando o índice de *Malmquist* com variáveis como produtividade e principais insumos utilizados na indústria de alimentos, concluindo que a indústria de alimentos neste país é ineficiente no uso de matéria prima, capital e uso da energia elétrica.

Outras referencias da aplicação da metodologia DEA na área de alimentos podem ser encontradas nos trabalhos de: (Dimara *et al.*, 2008); (Dios-Palomares e Martínez-Paz, 2011); (Macedo, Cípola e Ferreira, 2010) e (Mulwa, Emrouznejad e Murithi, 2009).

### **3 Metodologia**

Para o alcance dos objetivos do estudo, foi aplicada a metodologia descrita nos próximos itens, atividades que envolvem testes preliminares, definição da base de dados, estabelecimento da amostra para estudo, seleção de variáveis, construção e aplicação do modelo, processamento dos dados e análise dos resultados (Figura 2).

De posse dos dados e com a amostra definida, foram realizadas análises descritivas das variáveis, e quando necessário, foram realizadas as transformações das variáveis para aplicação do modelo. Realizou-se também a Análise Fatorial (AF) por componentes principais com rotação varimax das variáveis. O uso da análise fatorial se deu, com o intuito de tentar descrever o conjunto de variáveis, através de um número menor de fatores, devido a que, os modelos DEA são afetados pela quantidade de variáveis inseridas no modelo. Quando se aumenta indiscriminadamente o número de variáveis, a tendência é que os escores de eficiência técnica também aumentem gradativamente, pelo fato das DMUs se aproximarem cada vez mais dos limites da possibilidade de produção (FERREIRA e GOMES, 2009). Nesse sentido (Eling, 2006) declara que o uso de muitos *inputs* e *outputs* é de pouca valia, porque quando o número de *inputs* e *outputs* aumentam, mais DMUs tendem a alcançar a fronteira de eficiência, uma vez que se tornam especializadas demais para serem avaliadas em relação às outras unidades.



**Figura 2** – Fluxo de Análise – DEA.

Fonte: Santos e Nova (2005) com modificações.

Quando se trabalha com dados do tipo econômico, são citadas na literatura certas dificuldades, como confiabilidade e disponibilidade dos dados para um número adequado de empresas. Estes problemas foram resolvidos, pelo uso das informações disponibilizadas na base de dados da publicação Melhores e Maiores da Revista Exame, que é um informe elaborado pela Fundação Instituto de Pesquisas Contábeis, Atuariais e Financeiras – FIEPECAFI de São Paulo. Os dados disponibilizados nesta base de dados são considerados confiáveis por serem submetidos a uma série de exames de consistência e serem verificados por analistas antes da publicação.

### 3.1 Amostragem e Coleta dos dados

As empresas selecionadas para o estudo compunham a base de dados anteriormente citada. Inicialmente foram localizadas todas as empresas do setor sucroalcooleiro listadas nesta base de dados para o ano 2014 por serem estes os dados mais atuais no momento da coleta de dados, sendo identificadas 84 usinas ao total, distribuídas em todo o Brasil. Foram identificadas 17 unidades que apresentaram informações financeiras incompletas, motivo pelo qual foram retiradas da amostra, ficando um total 67 usinas sucroalcooleiras, sendo, portanto esta a amostra de empresas consideradas nesta base de dados para o ano em estudo. Levantamentos da RPA (2015) mostram que no Brasil existem 443 usinas, das quais 40 estão paralisadas, 12 faliram e 56 estão em recuperação judicial, ou seja, existem no total 391 usinas ativas.

A amostra foi considerada suficiente, tendo em consideração os critérios definidos para tamanho de amostras em estudos com DEA. Os autores Fitzsimmons e Fitzsimmons (2010) discutem em seu trabalho que uma questão frequentemente erguida a respeito do tamanho da amostra diz respeito ao número de unidades que são necessárias em comparação com o número de variáveis de entrada e saída selecionadas na análise. O seguinte relacionamento, associando o número de empresas ( $K$ ) utilizadas na análise e o número de variáveis de entradas ( $N$ ) e saídas ( $M$ ) que estão sendo consideradas, está baseado em achados empíricos e na experiência de usuários de DEA:

$$K \geq 5(N + M) \qquad \text{Equação (1)}$$

Autores como Guerreiro (2006) recomendam que o número de empresas ( $K$ ) seja de pelo menos três vezes maior que o número de variáveis de entrada ( $N$ ) mais as variáveis de saída ( $M$ ). Em trabalhos mais recentes como o dos autores (Ferreira e Gomes, 2009) recomenda-se que este número seja no mínimo quatro a cinco vezes maior que  $(N) + (M)$ , na procura de uma melhor discriminação das DMUs.

### **3.2 Tratamento dos dados, descrição e seleção das variáveis**

A partir do banco de dados, foram pré-selecionadas as variáveis, considerando principalmente sua disponibilidade. Pretendia-se incluir na modelagem DEA o máximo de variáveis que explicassem a eficiência, mas a metodologia tem uma limitação, que é sua baixa capacidade de ordenar as DMUs, porque quanto maior o número de variáveis em relação ao número de DMUs, menor será a capacidade de ordenação pelas eficiências, já que há a tendência de muitas DMUs ficarem na fronteira de eficiência (SENRA et al., 2007). Ou seja, quando se aumenta indiscriminadamente o número de variáveis, a tendência é que os escores de eficiência técnica também aumentem gradativamente, pelo fato das DMUs se aproximarem cada vez mais dos limites do espaço de produção (FERREIRA e GOMES, 2009). Segundo Thanassoulis (1996), a seleção das variáveis é um fator determinante, pois alterações no conjunto de variáveis selecionadas podem exercer um impacto direto nos resultados da modelagem DEA, e em consequência na análise dos dados avaliados.

Diante das considerações anteriormente citadas, sendo que o banco de dados consultado está conformado por 26 variáveis, foi necessária uma pré-seleção das variáveis, a fim de manter as variáveis de nosso interesse. Para o tratamento destes dados, fez-se uso da Análise Fatorial por componentes principais com rotação varimax, com o intuito de reduzir o

número de variáveis, mas conservando o maior número de informações, esse procedimento foi realizado no software SPSS V22 com licença para a UFV. Os Indicadores/Variáveis usados para o desenvolvimento do modelo DEA são explicados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Indicadores utilizados na análise fatorial

<i><b>Indicador</b></i>	<i><b>Abreviatura</b></i>	<i><b>Descrição</b></i>	<i><b>Variável DEA</b></i>
<i><b>Patrimônio Líquido Ajustado (milhões US\$)</b></i>	PLA	É o patrimônio líquido legal.	Input
<i><b>Patrimônio Líquido Legal (milhões US\$)</b></i>	PLL	É a soma do capital, das reservas e dos ajustes de avaliação patrimonial, menos a soma do capital a integralizar, das ações em tesouraria e dos prejuízos acumulados, sem considerar os efeitos da inflação.	Input
<i><b>Capital Circulante Líquido (milhões US\$)</b></i>	CCL	Representa o total dos recursos de curto prazo que estão disponíveis para financiamento das atividades da empresa.	Input
<i><b>Endividamento Geral (%)</b></i>	EG	É a soma do passivo circulante (isto é, dívidas e obrigações de curto prazo) com o passivo não circulante. O resultado é mostrado em porcentagem, em relação ao ativo total ajustado, e representa a participação de recursos financiados por terceiros na operação da empresa.	Input
<i><b>Endividamento a Longo Prazo (%)</b></i>	ELP	Indica quanto a empresa está comprometida com dívidas classificadas no passivo não circulante.	Input
<i><b>Total do Ativo (milhões US\$)</b></i>	TA	Conjunto de bens e direitos da empresa	Input
<i><b>Liquidez Geral (Nº Índice)</b></i>	LG	Mostra a relação entre os recursos da empresa que não estão “imobilizados” e o total de sua dívida. É calculada pela divisão da soma do ativo circulante com o realizável no longo prazo e sem as duplicatas descontadas pela soma do exigível total	Input
<i><b>Liquidez Corrente (Nº Índice)</b></i>	LC	É o ativo circulante dividido pelo passivo circulante	Input
<i><b>Vendas Líquidas (milhões US\$)</b></i>	VL	Calculadas pela diferença aritmética entre o valor das vendas brutas, deduzidas das devoluções e abatimentos, e os impostos sobre vendas.	Output
<i><b>Giro do Ativo (Nº Índice)</b></i>	GA	É a receita líquida de vendas dividida pelo ativo total ajustado.	Output

\*Valores expressos em dólares de abril de 2015.

Fonte: Exame (2002).

Uma das dificuldades da aplicação da DEA com dados econômicos, advém da impossibilidade de se usar valores negativos, pois, alguns dos indicadores contábeis mais tradicionais os assumem. Como o caso do resultado, que pode ser lucro positivo ou negativo se há prejuízo. Medidas de retorno sobre patrimônio líquido e sobre o ativo são derivadas do resultado e podem, portanto, assumir valores negativos (Freaza, Guedes e Gomes, 2006). Alguns autores propõem avaliar a possibilidade de exclusão das unidades que tenham valores negativos em insumos e produtos, no caso do número de unidades sob avaliação ser grande.

Outra forma de superar o problema dos dados negativos é o uso da transformação dos dados. Esta transformação se faz baseada na propriedade de *translation invariance*, o que permite que seus resultados não sejam alterados por uma transformação de escala de variáveis, assim, em alguns casos, os escores de eficiência são mantidos, e em outros casos é mantida a classificação em unidades eficientes e ineficientes (ALI e SEIFORD, 1990).

O uso de variáveis com valores negativos em DEA foi proposto no artigo de Ali e Seiford (1990). São reconhecidos como portadores desta propriedade o modelo BCC e os modelos aditivos, ou seja, que permitem a transformação de valores negativos através da soma de uma constante. Em seu trabalho, Pastor (1996) provou que a propriedade é limitada para o modelo BCC, ou seja, quando se considera o modelo com orientação para o insumo, a transformação só pode ser aplicada aos produtos; e, quando o modelo for orientado para o produto, a transformação só pode ser aplicada aos insumos.

De acordo as limitações discutidas nos parágrafos anteriores, foi aplicada uma transformação de escala para as variáveis que assumiram valores negativos (*Patrimônio Líquido Ajustado*, *Patrimônio Líquido Legal* e *Capital Circulante Líquido*) nos casos em que foi necessária atendendo as limitações explicadas por (PASTOR, 1996). A transformação foi realizada seguindo a equação 2.

$$Valor\ transformado = \frac{(Valor\ Observado - Valor\ Mínimo)}{Valor\ Máximo - Valor\ Mínimo} \quad \text{Equação 2}$$

A transformação dos dados se faz necessária, pois os modelos DEA não aceitam valores negativos.

### **3.3 Análise Envolvente de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*)**

A DEA é uma metodologia relativamente nova da programação linear, baseada em modelos matemáticos não paramétricos, ou seja, não utiliza inferências estatísticas nem se

apega a medidas de tendência central, testes de coeficientes ou formalizações de análises de regressão (FERREIRA e GOMES, 2009, p. 19). Segundo Oliveira et al., (2013) a metodologia não exige a determinação de relações funcionais entre insumos e produtos, nem se restringe a medidas únicas, singulares dos insumos e produtos e permite o uso de variáveis discricionárias e categóricas em suas aplicações.

A metodologia DEA permite calcular o índice de eficiência técnica relativa, resolvendo um programa matemático de otimização; resolvendo um programa linear para cada unidade produtiva (*Decision Making Units* – DMU) observada. Em contraste com os enfoques paramétricos como a análise de regressão que ajusta os dados através de um plano de regressão, DEA otimiza cada observação individual com o propósito de construir um conjunto de fronteira determinado pelas DMUs pareto eficientes, ou seja, em oposição aos enfoques estatísticos baseados em médias dos parâmetros, a metodologia DEA se centra nas observações individuais (IBARGÜEN, 2005). Uma unidade é pareto eficientes se, e somente se, ela não consegue melhorar alguma de suas características sem piorar as demais (MELLO et al., 2005).

DEA pertence aos chamados métodos de fronteira, nos quais se avalia a saída em relação às funções de produção. Entendendo-se por tal a relação técnica que transforma os fatores em produtos, o maior nível de *outputs* alcançável com certa combinação de *inputs*, ou o mínimo nível de *inputs* necessários para a produção de certo nível de *outputs*. Em modelos não paramétricos como o DEA, a análise de eficiência não requer hipótese alguma sobre a fronteira de produção, definindo-se a eficiência de uma unidade produtiva em relação às unidades observadas com melhor comportamento; a análise se centra na identificação do melhor comportamento em lugar do comportamento médio, como se trata desde um enfoque estatístico (BONILLA et al., 1998).

A história da Análise Envoltória de Dados começa, no início da década de 1970, com o empenho de Edward Lao Rhodes em sua tese de doutorado, sob a orientação de William. W. Cooper, publicada em 1978. O objetivo do estudo era estimar a eficiência técnica relativa, considerando os vários insumos e produtos, sem converter as medidas das variáveis em um padrão comum e sem estabelecer ponderações arbitrárias para elas (FERREIRA e GOMES, 2009). Assim, a busca de uma conceituação precisa e de medidas da eficiência econômica levou à DEA, cujo objetivo é avaliar a eficiência relativa, ou seja, em termos comparativos

aos melhores padrões de excelência (*benchmarks*), de uma amostra de organizações produtivas.

De acordo com Ferreira e Gomes (2009), os modelos de DEA, são ferramentas técnicas, cada vez mais utilizadas na tomada de decisões estratégicas em organizações empresariais e, dessa forma, efetivas quando se objetiva comparar diferentes unidades em termos de eficiência. A DEA permite analisar a eficiência de diferentes unidades produtivas, de modo a verificar qual de elas é a mais eficiente, dado um número de *inputs* (insumos) e de *outputs* (produtos).

A aplicação da DEA fornece uma medida global de eficiência, envolvendo todos os *inputs* considerados relevantes para a obtenção dos *outputs*, além de indicar o conjunto de unidades produtivas a utilizar como referências para um processo de benchmarking para as unidades ineficientes e permite identificar a (s) fontes das ineficiências e sua (s) causa (s). O objetivo principal da análise envoltória de dados é avaliar o desempenho de organizações e atividades, essencialmente por meio de medidas de eficiência técnica.

Segundo (Bonilla et al., 2004) além de estimar a eficiência relativa o uso da metodologia DEA permite:

- Uma superfície envolvente empírica, que representa o comportamento das melhores;
- Objetivos específicos ou projeções eficientes sobre a fronteira, para cada DMU ineficiente;
- Criar um conjunto de referência eficiente ou grupos paritários para cada DMU ineficiente, definido pelas unidades eficientes mais próximas a ela. As DMUs do conjunto de referência (grupo paritário) produzem o mesmo ou maior nível de *outputs* com iguais ou menores *inputs* em relação com as DMUs ineficientes submetidas a comparação;
- Além disso, permite o uso de diferentes unidades como físicas e monetárias, para representar os *inputs* e os *outputs*, sem requerer uma relação a priori entre elas.

Em seu trabalho, Ibarгүйen (2005) cita algumas das limitações encontradas na metodologia DEA:

- Ruídos tais como erros de medição, podem causar problemas significativos;
- Não informa de como se comporta uma unidade respeito a um máximo teórico;
- Funciona relativamente mal quando o número de DMUs é baixo.

A Análise Envoltória de Dados – DEA foi introduzida pelos autores Charnes, Cooper, e Rhodes, (1978), com base no trabalho de Farrell (1957). É uma metodologia de programação linear para cálculo de eficiências relativas de um grupo de organizações ou unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs) e que possuem características em comum, porém sua eficiência pode variar por diferenças internas decorrentes de seus estilos de administração.

Desde então, muitos estudos em diferentes áreas tem aplicado a metodologia DEA. No setor sucroalcooleiro, poucos estudos fazem uso da metodologia DEA. Foi feita uma pesquisa no portal de periódicos da CAPES/MEC, com as palavras chaves: *Data Envelopment Analysis*, *Sugarcane*, Análise Envoltória de Dados, e não foram encontrados trabalhos avaliando a eficiência de usinas através de variáveis de tipo econômico. A metodologia DEA tem gerado um interesse considerável por parte do setor acadêmico e as aplicações para avaliar a eficiência têm sido bem sucedidas em várias organizações, tanto no setor público como privado (EL-MAHGARY e LAHDELMA, 1995).

Para a aplicação da DEA, os modelos matemáticos utilizados são classificados de acordo com o tipo de superfície envoltória, a sua orientação e o cálculo da eficiência. Segundo Kassai (2002) e Vasconcellos, Canen e Lins (2006), existem basicamente dois modelos para determinar a eficiência das DMUs: o modelo CRS (*Constant Returns to Scale*) ou CCR (*Charnes, Cooper e Rhodes*) apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e o modelo VRS (*Variavel Returns to Scale*) ou BCC (*Banker, Charnes e Rhodes*) apresentado por Banker et al. (1984). O modelo CRS permite analisar a eficiência produtiva de uma DMU, identificando as fontes e os montantes dessa ineficiência; o modelo CRS como seu nome indica assume rendimentos de escala constantes, ou seja, uma variação nas variáveis de *inputs* implica uma variação proporcional nas variáveis *outputs* ignorado o efeito de escala na análise de eficiência.

O modelo BCC é uma extensão do modelo CCR, e resolve o problema dos rendimentos de escala constantes, apresentados no modelo CCR. O modelo BCC apresenta quatro regiões características a saber: Região de retornos crescentes a escala: nesta região um

aumento no número de *inputs* (insumos) empregados pela DMU em análise ocasiona um aumento desproporcional maior no número de *outputs* (produtos), este comportamento é observado quando a DMU trabalha abaixo de sua capacidade ótima. A região de retornos constantes a escala é caracterizada porque um aumento no número de insumos traz um aumento proporcional nos produtos, este comportamento se apresenta quando a empresa está trabalhando em sua capacidade ótima. Na região de retornos decrescentes a escala um aumento no número de insumos empregados pela DMU traz consigo um aumento desproporcional, mas menor no número de produtos, este comportamento se apresenta quando a empresa trabalha acima da sua capacidade ótima. Já na última região correspondente à região de retornos negativos de escala, um aumento no número de insumos traz uma redução no número de produtos, este comportamento se apresenta quando a DMU trabalha acima de sua capacidade ótima.

O modelo CCR, apresentado originalmente por Charnes, Charnes, Cooper e Rhodes (1978), trabalha com retornos constantes de escala, ou seja, qualquer variação nos *inputs* produz uma variação proporcional nos *outputs* (DIAS et al., 2010). Segundo Meza et al. (2007), na formulação matemática do modelo CCR considera-se que cada DMU  $k$  ( $k=1 \dots s$ ) é uma unidade de produção que utiliza  $n$  inputs  $x_{ik}$ ,  $i = 1 \dots n$ , para produzir os *outputs*  $y_{jk}$ ,  $j = 1 \dots m$ , onde se busca maximizar o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos inputs, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1.

Já o modelo BCC, considera retornos variáveis de escala, substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade, permitindo que unidades de tomadas de decisão que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e que unidades com altos valores de *inputs* tenham retornos decrescentes de escala (MELLO et al., 2005). Em outras palavras o modelo BCC, considera situações de eficiência de produção com variação de escala, sem assumir uma relação de proporcionalidade direta entre os inputs e outputs (MEZA et al., 2007).

### **3.4 O Modelo empregado**

Este estudo fez uso da modelagem BCC a qual considera retornos variáveis de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* na fronteira, o modelo foi orientado a *output*, já que o objetivo é verificar até quanto se poderia aumentar os lucros das empresas. A

escolha pelo modelo BCC se deu pelo fato deste propiciar um envelopamento mais completo, sem a exigência de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, conforme discutido por Oliveira et al. (2014). A formulação da modelagem utilizada é apresentada na Equação 3.

Modelo envelope BCC orientado a *output*

$$\text{Max } h_0 \quad \text{Equação (3)}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \leq x_0 \quad \text{Equação (4)}$$

$$h_0 y_0 \leq \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \quad \text{Equação (5)}$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \text{Equação (6)}$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad \text{Equação (7)}$$

Em que:  $h_0$  é a eficiência da DMU que está sendo analisada, sendo que se  $h_0=1$  a unidade avaliada é considerada eficiente;  $x_i$  representam os seus *inputs*;  $y_i$  são os *outputs*; e  $\lambda_i$  representa a contribuição da DMU  $i$  para a projeção da DMU  $0$  na fronteira, a projeção na fronteira é o alvo que se deseja determinar.

O uso da modelagem CCR foi necessária para o cálculo da eficiência de escala, o modelo usado é descrito na Equação 8.

$$\text{Max } h_0 \quad \text{Equação (8)}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \leq y_0 h_0 \quad \text{Equação (9)}$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \geq x_0 \quad \text{Equação (10)}$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad \text{Equação (11)}$$

Relacionando os modelos CCR e BCC, obtém-se a eficiência de escala (Equação 12), que é o componente da eficiência produtiva associado às variações de produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção:

$$EES(x_k, y_k) = \frac{EP(x_k, y_k)}{ET(x_k, y_k)} \quad \text{Equação (12)}$$

Em que:

$EES(x_k, y_k)$  = Eficiência de escala;

$EP(x_k, y_k)$  = Eficiência produtiva;

$ET(x_k, y_k)$  = Eficiência técnica.

Se a eficiência de escala apresenta valores iguais à um (1), toda a ineficiência é decorrente de fatores técnicos; se for maior que 1, a DMU analisada apresenta fatores de ineficiências técnica e de escala.

### 3.5 O diagrama *Box Plot*

Com o intuito de ilustrar o comportamento das variáveis estudadas nível de eficiência foi utilizado o diagrama de *box plot*, este diagrama está conformado por uma caixa limitada inferiormente e superiormente pelos percentis 25 e 75 respectivamente; no diagrama o valor da mediana é representado por uma linha horizontal dentro da caixa. O 50 % dos dados estão contidos na caixa, sendo que 25 % ficam abaixo e 25 % ficam acima da caixa. As linhas externas representam o valor máximo e mínimo, a menos que existam dentro da amostra estudada *outliers*, sabendo que o *outlier* é aquele valor que se afasta da borda da caixa uma vez e meia o comprimento da caixa, se existira um *outlier* este ira ser representado como um círculo, se o valor se afasta três vezes esse comprimento passa a ser um valor extremo, e será representado mediante um asterisco (MENDONÇA et al., 2007, p. 229).

### 3.6 Fronteira de Eficiência Invertida

Quando se trabalha com modelos DEA, é frequente obter resultados onde mais de uma empresa se mostra eficiente, devido à flexibilidade na seleção dos pesos, tanto de *inputs* como de *outputs* que permite a metodologia. Isto traz como resultado empresas que possuem bom desempenho em uma variável, mas não são boas em outros critérios, sejam consideradas eficientes, o que acaba dificultando a elaboração do *ranking* de eficiência, este conceito é conhecido como “*falsa eficiência*”.

Para resolver o problema da falsa eficiência e poder elaborar de forma confiável e discriminativa o *ranking* de eficiência, os autores Entani, Maeda, e Tanaka (2002); Entani e Tanaka (2006); Yamada, Matsui, e Sugiyama (1994) introduziram a análise conhecida como “*Análise de Fronteira Invertida*”, em que se faz uma troca de *inputs* por *output*. A fronteira invertida é uma avaliação pessimista, composta pelas DMUs com as piores práticas

gerenciais. Nesta análise, quanto mais próxima a empresa da fronteira invertida, menor a eficiência da empresa avaliada (Mello, et al., 2008).

A discriminação das DMUs é obtida através da combinação da eficiência padrão com a eficiência invertida, como mostrado nas equações 13 e 14.

$$Efi. Composta DMU_i = \frac{Efi. Padrão DMU_i + (1 - Efi. Invertida DMU_i)}{2} \quad \text{Equação (13)}$$

$$Efi. Composta Normalizada DMU_i = \frac{Efi. Composta DMU_i}{Maior Efi. Composta} \quad \text{Equação (14)}$$

A eficiência composta é uma média entre a eficiência padrão e o complemento da eficiência invertida, sendo improvável que a eficiência composta de qualquer DMU atinja o valor de 1. Para se obter um índice em que as unidades tenham o valor de 1, é feita a normalização da eficiência composta, dividindo seus valores pelo maior de todas as eficiências compostas. Para que uma DMU possua alta eficiência composta, esta deve ter um bom desempenho nas variáveis em que ela se destaca e não pode ter um mau desempenho nas variáveis em que ela não se destaca (TSCHAFFON e MEZA, 2014).

## 4 Resultados

### 4.1 Análise descritiva e Fatorial

Na Tabela 2, é apresentada uma análise descritiva dos dados para cada uma das variáveis avaliadas, tanto de entradas (*Inputs*) como de saída (*Outputs*), para a amostra constituída de 67 usinas sucroalcooleiras do Brasil. Da análise da Tabela 2 é possível ver, que na amostra estudada existem empresas com diferentes tamanhos, com ativos desde 82,7 milhões de dólares até 2,4 bilhões de dólares; a análise dos índices financeiros como a liquidez corrente, mostra que existem empresas aptas a honrar seus compromissos financeiros imediatos e outras que não, uma vez que a liquidez corrente destas é menor à unidade; se analisada a liquidez geral o comportamento resulta o mesmo da liquidez corrente, sendo assim constata-se que a amostra é conformada por empresas com perfis diferentes, que podem ser decorrentes de práticas empresariais mais ou menos aprimoradas segundo o caso. Outro indicador com o qual é possível caracterizar a amostra é o giro do ativo, na amostra foi possível identificar empresas que em média por cada R\$1 investido vendem R\$ 0,53 e outras que em média por cada R\$1 investido vendem R\$ 0,01.

**Tabela 2** – Análise descritiva das variáveis de entrada e saída na modelagem DEA

	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Medía</i>	<i>Desvio-padrão</i>	<i>Coef. Var</i>
VL	70,50	3819,60	299,306	523,444	1,75
LG	0,10	2,30	0,567	0,359	0,63
GA	0,10	1,90	0,534	0,308	0,57
LC	0,20	3,70	0,980	0,698	0,71
PLA	0,00	1,00	0,296	0,191	0,64
PLL	0,00	1,00	0,295	0,188	0,64
CCL	0,00	1,00	0,659	0,145	0,22
EG	14,70	133,90	70,920	22,485	0,31
ELP	1,20	109,30	41,510	16,985	0,40
TA	82,70	2450,30	559,632	512,903	0,91

Em que VL: Vendas Líquidas, LG: Liquidez Geral, GA: Giro do Ativo, LC: Liquidez Corrente, PLA: Patrimônio Líquido Ajustado, PLL: Patrimônio Líquido Legal, CCL: Capital Circulante Líquido, EG: Endividamento Geral, ELP: Endividamento de Longo Prazo, TA: Total do Ativo.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Seguidamente, são apresentados de forma resumida os resultados da Análise Fatorial, com as variáveis que integram cada fator em negrito (Tabela 3). As variáveis utilizadas apresentaram ajustamento significativo representado pelo teste de *Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)* de 0,51. O teste de KMO mede o grau de correlação parcial entre as variáveis (*Measure Sampling Adequacy – MSA*), ou seja, indica o grau de explicação dos dados a partir dos fatores encontrados na análise fatorial, caso o KMO indique um grau de explicação menor que 0,5, indica que os fatores encontrados na análise fatorial não conseguem descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais. Outro teste aplicado foi o teste de esfericidade de Bartlett, este indica se a matriz de correlação é uma matriz de identidade (correlação zero entre as variáveis), ou seja, indica se existe relação suficiente entre os indicadores para a aplicação da análise fatorial. Para a aplicação da análise fatorial recomenda-se que o teste de significância não ultrapasse os 0,05 (Corrar, Paulo, e Filho, 2014). Os quatro fatores resultantes explicam em conjunto 87,82 % da variância amostral.

**Tabela 3** – Resultados da Análise Fatorial – Rotação Varimax

Indicadores	Cargas Fatoriais			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
PLA	<b>0,955</b>	0,116	-0,220	-0,050
PLL	<b>0,948</b>	0,126	-0,241	-0,046
TA	<b>0,703</b>	-0,238	0,288	0,535
LG	-0,156	<b>0,516</b>	-0,506	0,339
LC	0,025	<b>0,897</b>	-0,141	0,121
CCL	0,141	<b>0,873</b>	-0,079	-0,088
EG	-0,387	-0,383	<b>0,767</b>	0,165
ELP	-0,154	-0,027	<b>0,960</b>	-0,018
VL	0,214	-0,077	0,119	<b>0,933</b>
GA	-0,295	0,271	-0,190	<b>0,789</b>

Em que VL: Vendas Líquidas, LG: Liquidez Geral, GA: Giro do Ativo, LC: Liquidez Corrente, PLA: Patrimônio Líquido Ajustado, PLL: Patrimônio Líquido Legal, CCL: Capital Circulante Líquido, EG: Endividamento Geral, ELP: Endividamento de Longo Prazo, TA: Total do Ativo.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados da Análise Fatorial mostram que o **fator 1**, o qual inclui as variáveis *Patrimônio Líquido Ajustado*, *Patrimônio Líquido Legal* e *Total do Ativo*, é um fator relacionado ao valor das propriedades da empresa, sendo responsável por 26,55 % da variância explicada; o **fator 2**, que inclui as variáveis *Liquidez Geral*, *Liquidez Corrente* e *Capital Circulante*, é um fator que tem relação com a capacidade da empresa em cumprir com suas obrigações de curto prazo, ou seja, a capacidade que tem a empresa para obter dinheiro em efetivo, sendo responsável por 21,46 % da variância explicada; o **fator 3**, é responsável por 20,31 % da variância explicada, o qual inclui as variáveis *Endividamento Geral* e *Endividamento de Longo Prazo*, sendo um fator que se relaciona com o nível de endividamento da empresa, ou seja, o capital investido da empresa composta por fundos de longo prazo provenientes de terceiros; já o **fator 4**, responsável por 19,48 % da variância explicada, consolida as variáveis *Vendas Líquidas* e *Giro do Ativo*, as quais expressam a lucratividade da empresa. Na Tabela 4 é apresentada a interpretação de cada um dos fatores formados, e as variáveis que conformam cada um de eles, além de sua classificação no modelo (Input ou Output).

**Tabela 4** – Resultado da Análise Fatorial

<b>Fator</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Interpretação</b>	<b>Classificação DEA</b>
<b>1</b>	Patrimônio Líquido Ajustado, Patrimônio Líquido Legal e Total do Ativo	Patrimônio e Ativos	Input
<b>2</b>	Liquidez Geral, Liquidez Corrente e Capital Circulante Líquido	Liquidez da empresa	Input
<b>3</b>	Endividamento Geral e Endividamento a Longo Prazo	Endividamento da empresa	Input
<b>4</b>	Vendas Líquidas e Giro do Ativo	Atividade e Lucratividade	Output

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para o processamento do modelo DEA foi utilizado o *Software SIAD (Sistema Integrado de Apoio a Decisão)* V 3.0, apresentado por MEZA, et al., (2005a) e MEZA, et al., (2005b) com capacidade para avaliar até 100 unidades e 20 variáveis entre *inputs* e *outputs*. Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa estatístico SPSS versão 22.0 para Windows licenciado para a UFV.

#### **4.2 Análise das eficiências**

Inicialmente foi utilizado o modelo DEA-CCR, ou seja, com retornos constantes à escala, com o intuito de obter o valor da eficiência técnica para cada uma das usinas estudadas. Seguidamente, foi utilizado o modelo DEA-BCC, ou seja, com retornos variáveis à escala, de posse dessas duas medidas, foi possível calcular a eficiência de escala para cada uma das empresas. A tabela 5 mostra o resumo dos resultados obtidos. Quando avaliadas as empresas com o modelo de retornos variáveis, verifica-se que das 67 usinas da amostra, 13 delas obtiveram a máxima eficiência (eficiência = 1), sabendo que foi utilizada a orientação a output, a ineficiência das empresas mostra a quantidade que as empresas ineficientes podem expandir seu produto, sem a necessidade de aumentar seus insumos. Já as usinas eficientes não podem expandir seus produtos sem antes aumentar seus insumos.

**Tabela 5** – Distribuição das usinas segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

Especificação	Efic. técnica Ret. Variáveis	Efic. técnica Ret. Constantes	Eficiência de escala
	Número de usinas		
$E < 0.1$	3	6	0
$0.1 \leq E < 0.2$	16	34	2
$0.2 \leq E < 0.3$	15	15	6
$0.3 \leq E < 0.4$	6	4	4
$0.4 \leq E < 0.5$	11	2	8
$0.5 \leq E < 0.6$	2	2	6
$0.6 \leq E < 0.7$	0	0	6
$0.7 \leq E < 0.8$	1	0	7
$0.8 \leq E < 0.9$	0	0	14
$0.9 \leq E < 1$	0	1	11
$E = 1$	13	3	3
Total	67	67	67

Fonte: Resultados da pesquisa.

Analisando a distribuição dos escores de eficiência técnica pode-se verificar que das 67 empresas do setor sucroalcooleiro avaliadas, 19,4 % correspondem a empresas tecnicamente eficientes, 1,49 % tiveram eficiências entre 0,7 e 0,8 %, 19,4 % tiveram eficiências entre 0,4 e 0,6 %, o restante (59,8 %) tiveram eficiências menores que 0,4.

A ineficiência técnica com retornos variáveis mostra se as empresas estão fazendo uso excessivo de seus insumos, dando uma ideia da capacidade produtiva das empresas, caso estivesse utilizando corretamente seus insumos. Já a eficiência de escala, fornece uma projeção de quanto a empresa pode ganhar se operasse em uma escala ótima. Na tabela 6 são detalhadas as médias para cada uma das eficiência, ou seja, tanto técnica como de escala.

Sabendo que, se o coeficiente de eficiência for menor que a unidade, indica que a empresa avaliada é ineficiente, na aplicação de seu mix de insumos para obter os resultados finais, sendo tanto mais ineficientes quanto menor seja esse valor. Depois de ter aplicado a modelagem DEA/BCC orientada a *output*, observa-se que houve benevolência com as unidades avaliadas, ou seja, pouca discriminação, o que levou a 13 das 67 DMUs (19,4 %) se apresentaram como eficientes (Eficiência = 1) de acordo com os escores apresentados na coluna referente a eficiência padrão. De acordo com os escores apresentados na coluna de eficiência padrão fica evidente que a fronteira de eficiência na geração de atividade e lucratividade das empresas analisadas é composta pelas DMUs: 23, 24, 28, 29, 35, 47, 49, 57,

59,64, 65, 67 e 60. Estas DMUs foram eficientes na utilização de seus insumos, pois não identificaram perdas nos insumos e no produto. Houve diferença nos escores de eficiência padrão das 67 unidades avaliadas, variando de 7 a 100 %.

A partir do *ranking* da fronteira padrão, não é possível identificar, no conjunto avaliado, qual foi a empresa mais eficiente, devido à baixa discriminação apresentada. No entanto, com o intuito de identificar se estas DMUs não se encaixam como “Falsas Eficientes” avaliou-se através do conceito de fronteira invertida este parâmetro, o que permitiu identificar que só a DMU 60 foi 100 % eficiente na geração de lucratividade, seguida da DMU 59 com 98 % de eficiência. Por outro lado a empresa mais ineficiente foi a DMU 18 (Anexo II).

Na Tabela 6 é possível observar pela média dos escores da eficiência técnica que as usinas sucroalcooleiras avaliadas apresentam baixo desempenho, o que possibilita aos tomadores de decisão traçar políticas ou planos que permitam a melhoria do desempenho no setor. Os resultados mostram o alto grau de ineficiência técnica e de escala das indústrias sucroalcooleiras.

**Tabela 6** – Análise descritiva dos escores de eficiência Técnica

	<i>Unidades Eficientes %</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
Eficiência Técnica	19,4	0,075	1,000	0,419	0,315
Eficiência de escala	4,47	0,168	1,000	0,668	0,254

Fonte: Resultados da pesquisa.

As médias da eficiência técnica e de escala são 0,419 e 0,668 respectivamente. Da análise desses dados pode-se dizer que as usinas ineficientes poderiam em média aumentar 58,1 % sua lucratividade utilizando corretamente seus insumos, e se estivessem operando na escala correta, poderiam aumentar sua lucratividade sem necessidade de mais insumo em 33,2 %.

Observa-se que 37,31 % das empresas obtiveram eficiências maiores que a média, que foi de 0,419 obtidas pelo modelo BCC com orientação a output. A DMU com o pior desempenho foi a DMU 18 com um escore de eficiência de 0,075. Pela caracterização dos dados foi possível identificar que dos 19,4 % de usinas eficientes 69,3 % se encontram localizadas no estado de São Paulo, e os 30,7 % restante das usinas eficientes se encontram nos estados de Goiás, Paraná, Pernambuco e Rio de Janeiro. As usinas eficientes se localizaram nos estados em que o Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Prestação de Serviço – ICMS é dos menores sob o etanol, e se mantem alto para a gasolina, fato que poderia estar beneficiando o desempenho econômico destas. Dentre as usinas eficientes foram

identificadas usinas de todos os tamanhos, considerando o total de ativos que variaram de 90,1 até 2450,30 milhões de dólares.

Outro aspecto que resulta interessante avaliar é o referentes à natureza dos retornos de escala, que como mencionado na seção 3.3 pode ser crescente, decrescente, constante ou negativo. De acordo com os resultados obtidos as DMUs 29, 35 e 59 se encontram na região de retornos constantes a escala, o que indica que estas empresas devem manter seu tamanho para assim manter-se sobre a fronteira de eficiência. As demais usinas sucroalcooleiras avaliadas se situaram na região de retornos crescentes a escala, o que quer dizer que um aumento nos insumos (Patrimônio, Liquidez e Endividamento), aumenta mais que proporcionalmente a quantidade de produto, sendo assim estas empresas devem aumentar seu tamanho para conseguir atingir a fronteira de eficiência (Ver anexo I).

### 4.3 Projeções das empresas ineficientes

A partir da análise de eficiência, foi possível identificar as metas de melhoria para que as empresas ineficientes atinjam seu nível de eficiência. Por exemplo, a DMU 18, que foi a empresa pior colocada no *ranking* de eficiência, a Tabela 7 mostra as expansões nos produtos que devem ser realizadas para que esta se torne eficiente à semelhança de seus *benchmarks* que são as DMUs 23, 47, 59 e 64. Das 4 DMUs de referência para a DMU 18, a DMU 64 por ter um valor lambda de 0,363 (maior que as outras três DMUs de referencia) é a que possui maior importância como referência para a DMU 18. É possível identificar que a DMU 18 alcançaria a fronteira de eficiência, mantendo o mesmo valor das variáveis *fator1*, *fator2* e *fator3*, e aumenta-se seu *fator4* (*Vendas e Giro de Ativo*) em 1228,5 % o maior percentual de aumento.

Já a DMU 9 segunda pior colocada alcançaria a fronteira de eficiência, se aumenta-se seu *fator4* (*Vendas e Giro de Ativo*) em 1154,9 %. Para as DMUs ineficientes foram sugeridos aumentos de *output* (*Vendas e Giro do Ativo*) oscilando entre 32,11 e 1228,5 %. Concluindo-se que este aumento deverá ser nas vendas.

**Tabela 7** – Projeção da DMU 18 no modelo BCC-O

<i>Variável</i>	<i>Atual</i>	<i>Radial</i>	<i>Folga</i>	<i>Alvo</i>	<i>Varição</i>
<b><i>Fator 4</i></b>	67,908	902,160	0,000	902,160	1228,50 %
<b><i>Benchmarks</i></b>	DMU23	DMU47	DMU59	DMU64	
<b><i>Valor lambda</i></b>	0,085	0,320	0,230	0,363	

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados permitiram identificar o número de vezes que uma empresa eficiente aparece como *benchmark* de uma empresa ineficiente (Tabela 8). Quanto maior o número de vezes que uma unidade aparece, maior é a sua importância como referência de bom desempenho, podendo assim ser considerada a DMU como líder global, se possuir desempenho consistente em comparação com as demais. Das empresas avaliadas sob a modelagem BCC-O observa-se que a DMU 59 é a empresa que aparece com maior frequência como *benchmark*, seguida das DMUs: 65, 23, 29, 28, 47, 57, 49, 35 e 64.

**Tabela 8** – Hierarquia das empresas eficientes

<i>DMU</i>	<i>Nº Referência</i>	<i>DMU</i>	<i>Nº Referência</i>
DMU 59	56	DMU 57	10
DMU 65	30	DMU 49	8
DMU 23	29	DMU 35	7
DMU 29	20	DMU 64	4
DMU 28	12	DMU 24	0
DMU 47	10		

Fonte: Resultados da pesquisa.

As empresas que foram consideradas eficientes se constituem referências para as DMUs ineficientes. Esta referência varia conforme a aproximação dos níveis de utilização de insumos e produtos entre as empresas, podendo variar de 0 a 1. A importância da DMU eficiente para as demais é tanto maior quanto mais próximo de 1 (Oliveira *et al.*, 2014).

Foi possível identificar que a DMU 65 é considerada a principal *benchmark* para um maior número de empresas ineficientes (DMUs: 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 16, 20, 21, 22, 36, 38, 40, 41, 44, 46, 52, 54, 56, 61, 62), sendo destas as DMU 12, 13 e 21 as que se encontram mais próximas com um *lambda* de 0,89, 0,85 e 0,85 respectivamente.

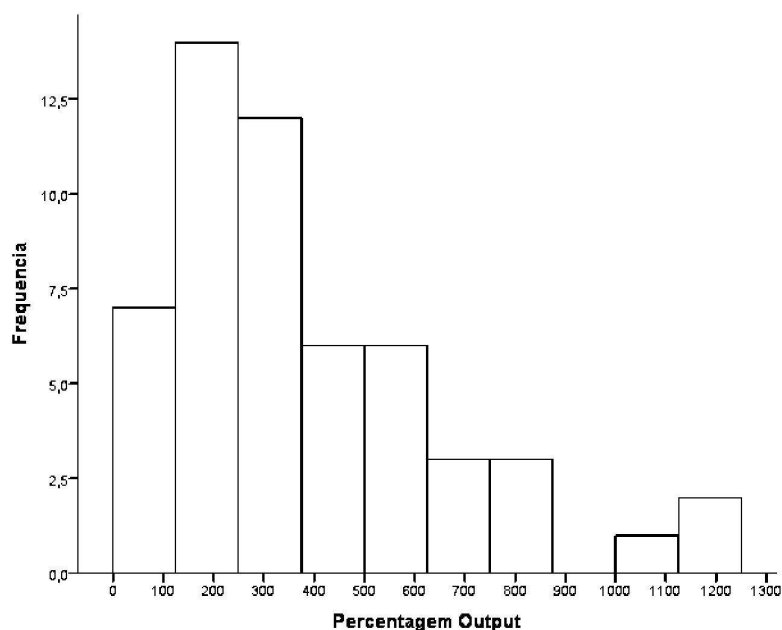
As DMUs 24, 28 e 35 são consideradas eficientes, aparecem como referências de algumas DMUs ineficientes, no entanto estas não se constituem como principal referência para nenhuma outra empresa.

É preciso analisar a distribuição de frequência para cada uma das variáveis, para compreender como estas acabam influenciando o desempenho das empresas ineficientes. A metodologia DEA fornece para cada uma das empresas ineficientes seu nível atual, e o alvo que ela deve alcançar para se tornar eficiente, baseado na comparação com seus *benchmarks*, estes dados permitem calcular o percentual de variação de cada uma das variáveis. O nível

atual refere-se aos dados originais inseridos no *software* e o alvo é o valor que a empresa deve alcançar para se tornar eficiente.

Na Figura 3 é apresentado o histograma da distribuição do percentual de melhoria para a lucratividade (Fator 4 – Variável de saída) utilizada na análise de eficiência.

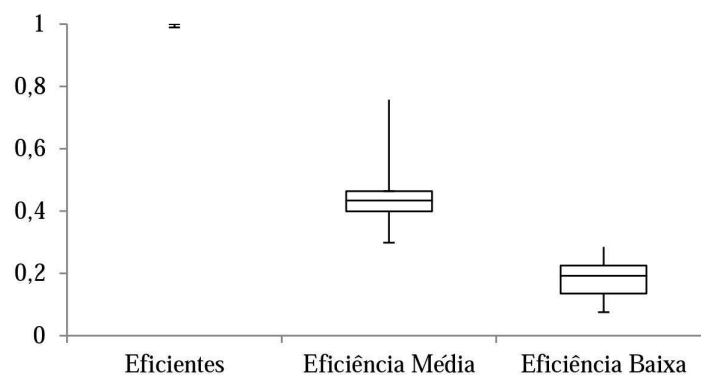
Na análise do *output* (Fator 4), variável que representa a *atividade e lucratividade* das empresas, através das *vendas* e do *giro do ativo*, tem-se que 10 % das empresas não precisam aumentar este fator, aproximadamente 38 % podem aumentar sua lucratividade entre 200 e 400 %, e 31,3 % podem incrementar sua lucratividade em até 1200 %.



**Figura 3** – Distribuição de frequência de melhorias para o output (Fator 4).  
Fonte: Resultados da pesquisa.

#### 4.4 Caracterização das empresas

A partir de uma análise de *cluster* de k-medias, foi possível dividir a amostra em estudo em 3 grupos, conforme seu nível de eficiência, no primeiro grupo ficaram as usinas eficientes, ou seja, aquelas unidades que obtiveram eficiências iguais à 1; no segundo grupo foram agrupadas as empresas com eficiência média (mediana de 0,43) e por último, no terceiro grupo encontram-se as unidades com eficiência baixa (mediana de 0,18). No estudo só uma das empresas (DMU 34) apresentou eficiência intermediária com valor de 0,75, ou seja, esta foi a empresa que esteve mais perto do grupo das usinas eficientes. Na figura 4 é apresentada a distribuição da eficiência para cada um dos 3 grupos formados.



**Figura 4** – Distribuição dos índices de eficiência nos três grupos.  
Fonte: Resultados da pesquisa.

Com o intuito de caracterizar as empresas segundo seu grupo de eficiência foram analisadas cada uma das variáveis tanto de entrada como de saída por grupo de eficiência. Para avaliar as diferenças estatisticamente significativas tanto nas variáveis de entrada como de saída e nos próprios valores de eficiência, entre os três grupos foi aplicado o teste não paramétrico de *Kruskal – Wallis*. Os resultados do teste (Tabela 9) mostram que não há diferenças significativas nos valores de endividamento para as empresas nos três grupos ao nível de 5 % de significância. Os resultados mostram que existe diferença significativa na eficiência das usinas, mas não em função do endividamento, e sim em função das variáveis *patrimônio*, *liquidez* e *lucratividade* da empresa.

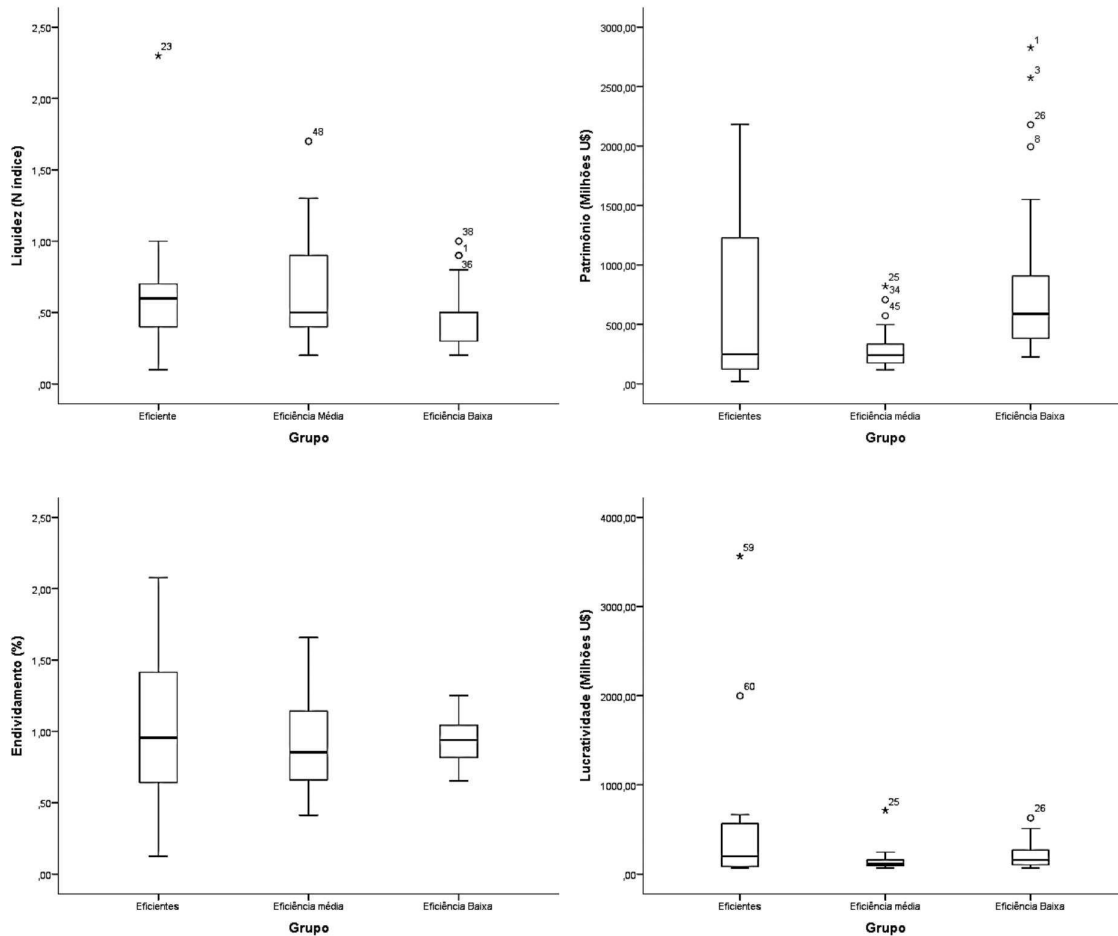
**Tabela 9** – Resultados do teste de Kruskal-Wallis

<i>Variáveis</i>	<i>Chi-quadrado</i>	<i>GL</i>	<i>Sig</i>
<i>F1 (Patrimônio)</i>	14,760	2	0,007*
<i>F2 (Liquidez)</i>	6,140	2	0,004*
<i>F3 (Endividamento)</i>	0,433	2	0,861
<i>F4 (Lucratividade)</i>	3,185	2	0,013*
<i>Eficiência</i>	55,931	2	0,000*

\* sig<0,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na figura 5 são apresentadas as distribuições de liquidez, patrimônio, endividamento e lucratividade em função do grupo de eficiência respectivamente.



**Figura 5** – Diagrama Box – Plot de distribuições das variáveis em estudo.  
 Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados da pesquisa permitiram identificar que as empresas eficientes apresentaram níveis de *liquidez* acima de 0,6, ou seja, empresas que tem ou terão recursos suficientes para honrar suas dívidas. Em relação à variável *patrimônio* as usinas eficientes foram as que apresentaram menor valor nesta variável apresentando mediana de 249 milhões de dólares em quanto as de eficiência baixa apresentaram mediana de 587 milhões de dólares, ou seja, investimentos mal alocados em patrimônio podem se converter em fontes de ineficiências nas indústrias do setor, em virtude da subutilização destes investimentos. Quando analisada a variável *lucratividade* em função da eficiência percebe-se que as unidades eficientes apresentaram os maiores níveis de lucratividade variando de 68 até 3563,17 milhões de dólares, as empresas ineficientes tiveram lucratividade máxima de 630 milhões de dólares, resultado que era esperado pela pesquisa, uma vez que esta procurou identificar se as empresas do setor estão explorando seus recursos econômicos ao máximo de sua capacidade. Sendo assim as variáveis, *liquidez*, *patrimônio* e *lucratividade*, podem ser

utilizadas na discriminação das usinas em cada um dos três grupos conformados. Estes resultados auxiliam na classificação de uma usina em termos de eficiência conhecendo cada uma das três variáveis relacionadas.

## **5 Conclusões**

A modelagem DEA permitiu verificar de forma geral que as empresas do setor sucroalcooleiro brasileiro avaliadas neste estudo, na maioria dos casos faz uso ineficiente dos recursos econômicos aplicados.

Do total 69,3 % das usinas sucroalcooleiras eficientes estão localizadas no estado de São Paulo, estado que possui a menor alíquota de ICMS sobre o etanol, e 30,7 % de usinas eficientes restantes encontra-se também em estados como (Goiás, Paraná, Pernambuco e Rio de Janeiro) que tem apostado na redução do ICMS não na mesma proporção que o estado de São Paulo, mas sim mantendo o ICMS da gasolina acima do de etanol.

Existe diferença significativa na eficiência entre os três grupos formados, e que as variáveis patrimônio, liquidez e lucratividade, são importantes para a distinção entre os grupos de empresas.

Houve 13 unidades eficientes (segundo eficiência padrão) representando 19,4 % das unidades avaliadas. É possível realizar incrementos da produção em até 1200 % para as unidades ineficientes, visando à eficiência na relação insumo/produto.

Em relação a eficiência técnica e de escala das usinas avaliadas, das 67 empresas estudadas, somente 19,4 % e 4,47 % se apresentaram eficientes respectivamente. As sugestões para aumento dos produtos, para as usinas consideradas ineficientes situaram-se entre 32,11 e 1228,5 %, o que indica que há grandes diferenças de desempenho entre as usinas do setor sucroalcooleiro avaliadas neste estudo.

O grupo de usinas do setor sucroalcooleiro avaliadas neste estudo, apresentaram altos índices de ineficiência relativa, no entanto, existem empresas no setor, que trabalhando sob as mesmas condições, conseguem administrar de forma eficiente seus recursos econômicos e gerar lucro, independente do seu tamanho, convertendo-se assim em empresas de referências em competitividade e produção, para as empresas ineficientes. As empresas eficientes estão de acordo com a fundamentação teórica que diz que para que uma empresa seja eficientes precisa gerar lucros.

## 6 Bibliografia

ALI, A. I.; SEIFORD, L. M. Translation invariance in data envelopment analysis. **Operations Research Letters**, v. 9, n. November, p. 403–405, 1990.

ALI, J.; SINGH, S. P.; EKANEM, E. Efficiency and productivity changes in the Indian food processing industry: determinants and policy implications. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 12, n. 1, p. 43–66, 2009.

ANCARANI, A.; DIMAURO, C.; GIAMMANCO, M. D. The impact of managerial and organizational aspects on hospital wards' efficiency: Evidence from a case study. **European Journal of Operational Research**, v. 194, n. 1, p. 280–293, abr. 2009.

BADIN, N. T. **Avaliação da produtividade de supermercados e seu benchmarking**. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Faculdade de Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.

BERGER, A. N.; HUMPHREY, D. B. Efficiency of financial institutions: international survey and directions for future research. **European Journal of Operational Research**, v. 98, n. 2, p.175 - 212, 1997.

BINS, M. DA S.; CASAS, G. DE A.; FILHO, E. M. DE S. **Avaliação de empresas do setor varejo: uma abordagem via análise envoltoria de dados**XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Belo Horizonte: 2011.

BONILLA, M.; CASASÚS, T.; MEDAL, A.; SALA, R. Un Análisis de la eficiencia de los puertos españoles. **VI Jornada de ASEPUMA, U.d. Valencia, Departamento de Economía Financiera y Matemática: Santiago de Compostela**, 1998.

BONILLA, M.; CASASÚS, T.; MEDAL, A.; SALA, R. The traffic in Spanish ports: an efficiency analysis with tolerances. **Internataional Journal of TranSport Economics**, v. XXXI, p. 21, 2004.

CASAS, A. L. LAS; BARBOZA, V. A. Marketing no varejo. *In*: NOVATEC (Ed.). . **Estratégias de marketng para varejo: Inovações e diferenciações estratégicas que fazem a diferença no marketing de varejo**. p. 325. 2007.

CASTILLO, G. Y. B. La medición de la eficiencia técnica mediante el análisis envolvente de datos. **Contribuciones a la Economía**, p. 10, 2007.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, nov. 1978.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; FILHO, J. M. D. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: 2014.

DA SILVA, T. L. Análise dos modelos não paramétricos de avaliação de eficiência e a performance dos bancos comerciais brasileiros. Porto Alegre 2006. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p.149. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas).

DIAS, C. G.; LABEGALINI, L.; MARTINS, R. S.; GOMES, A. P.. Análise da eficiência da logística aeroportuária no Brasil. **Revista de Economia e Administração**, v. 9, p. 271–293, 2010.

DIMARA, E.; SKURAS, D.; TSEKOURAS, K.; TZELEPIS, D. Productive efficiency and firm exit in the food sector. **Food Policy**, v. 33, n. 2, p. 185–196, abr. 2008.

DIOS-PALOMARES, R.; MARTÍNEZ-PAZ, J. M. Technical, quality and environmental efficiency of the olive oil industry. **Food Policy**, v. 36, n. 4, p. 526–534, ago. 2011.

DRUMOND, A. M.; SILVEIRA, S. F. R.; RODRIGUES, A. C.; LAGE, M. L. C. Análise do Desempenho do Programa Lares Habitação Popular do Estado de Minas Gerais.

ELING, M. Performance measurement of hedge funds using data envelopment analysis. **Financial Markets and Portfolio Management**, v. 20, p. 442–471, 2006.

EL-MAHGARY, S.; LAHDELMA, R. Data envelopment analysis : Visualizing the results. **European Journal of Operational Research**, v. 2217, n. 94, p. 700–710, 1995.

ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval DEA and its extension to interval data. **European Journal of Operational Research**, v. 136, p. 32–45, 2002.

ENTANI, T.; TANAKA, H. Improvement of efficiency intervals based on DEA by adjusting inputs and outputs. **European Journal of Operational Research**, v. 172, n. 3, p. 1004–1017, ago. 2006.

EXAME. Os conceitos utilizados. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/770/noticias/os-conceitos-utilizados-m0052347>. acesso em: 14 de junho 2015.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the royal statistical society**, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.

FERREIRA, C. M. DE C.; GOMES, A. P. **Introdução à Análise Envoltória de Dados teoria, modelos e aplicações**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de Serviços: Operações, Estratégia e Tecnologia da Informação**. Porto Alegre: 2010.

FREAZA, F. P.; GUEDES, L. E. M.; GOMES, L. F. A. M. **Análise de Eficiência do Mercado Bancário Brasileiro Utilizando a Metodologia da Análise Envoltória de Dados**XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...**Goiânia: 2006.

FREIRE, A. H.; REIS, R. P.; LIMA, D. P. M.; FONTES, R. E. Eficiência econômica da cafeicultura no sul de Minas Gerais: uma abordagem pela análise envoltória de dados. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 14, p. 60–75, 2012.

GUERREIRO, A. DOS S. **Análise da eficiência de empresas de comércio eletrônico usando técnicas da análise envoltória de dados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Faculdade de Engenharia da Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

HORMAZÁBAL, R. E. S. **Fronteras de eficiencia, metodología para la determinación del valor agregado de distribución**. 182p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia). Faculdade de Engenharias, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2003.

IBARGÜEN, V. M. Q. **Análisis de eficiencia en logística portuaria mediante DEA**. 311p. Tese (Doutorado em Organização Industrial e Gestão de Empresas). Faculdade de Engenharia, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2005.

JUNIOR, A. P. S.; CARLUCCI, F. V. BONACIM, C. A. G.; Novi, J. C.; JUNIOR, A. C. P. Investment potential for new sugarcane plants in Brazil based on assessment of operational efficiency. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 17, n. 2, p. 41–64, 2014.

JUNIOR, A. P. S.; CARLUCCI, F. V.; NOVI, J. C. Aplicação da análise envoltória de dados (AED) na avaliação da eficiência operacional relativa entre usinas de cana-de-açúcar no território brasileiro. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 34, n. 16, p. 826–843, 2014.

JÚNIOR, A. S. C.; OLIVEIRA, M. M. B. DE. Eficiência econômica no setor sucroalcooleiro: uma análise de algumas usinas do estado de São Paulo. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, p. 330–343, 2011.

KAO, C.; LIU, S.-T. Stochastic data envelopment analysis in measuring the efficiency of Taiwan commercial banks. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 1, p. 312–322, jul. 2009.

KASSAI, S. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 350p. Tese (Doutorado em Contabilidade e Contraloria). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LAMB, J. D.; TEE, K.-H. Data envelopment analysis models of investment funds. **European Journal of Operational Research**, v. 216, n. 3, p. 687–696, fev. 2012.

MACEDO, M. A. D. S.; CÍPOLA, F. C.; FERREIRA, A. F. R. Desempenho social no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no segmento de usinas de processamento de cana-de-açúcar. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 1, p. 223–243, mar. 2010.

MELLO, J. C. C. B. S. DE.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. Curso de Análise de Envoltória de Dados. **XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 28, 2005.

MELLO, J. C. C. B. S. DE.; GOMES, E. G.; MEZA, L. A. LETA, F. R. DEA advanced models for geometric evaluation of used lathes. **WSEAS Transactions on systems**, v. 7, n. 5, p. 500–520, 2008.

MELLO, J. C. S. DE.; MEZA, L. A. SILVEIRA, J. Q.; GOMES, E. G. About negative efficiencies in Cross Evaluation BCC input oriented models. **European Journal of Operational Research**, v. 229, n. 3, p. 732–737, set. 2013.

MENDONÇA, T. M.; PINTO, S. M. CAZORLA, I. M. RIBEIRO, E. As estruturas aditivas nas séries iniciais do ensino fundamental: um estudo diagnóstico em contextos diferentes. *Revista Latinoamericana de Investigación em Matemática Educativa*, v. 10, n. 2, p. 219-239, 2007.

MEZA, L. A.; NETO, L. B.; MELLO, J. C. C. B. S. DE; GOMES, E. G. ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão) a software package for Data Envelopment Analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, p. 493–503, 2005.

MEZA, L. A.; NETO, L. B.; MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; COELHO, P. H. G. Free Software for decision analysis - a Software Package for Data Envelopment Models. **Proceedings of the Seventh International Conference on Enterprise Information Systems**, p. 207–212, 2005.

MEZA, L. A.; MELLO, J. C. C. B. S.; GOMES, E. G.; FERNANDES, A. J. S. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. **Associação Portuguesa de Investigação Operacional**, v. 27, p. 21–36, 2007.

MONTGOMERY, C. A.; PORTER, M. E. **Estrategia: a busca da vantagem competitiva**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1998.

MULWA, M. R.; EMROUZNEJAD, A.; MURITHI, F. M. Impact of liberalization on efficiency and productivity of sugar industry in Kenya. **Journal of Economic Studies**, v. 36, n. 3, p. 250–264, 2009.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. **A Dimensão do Setor Sucroenergético: Mapeamento e quantificação da safra 2013/2014**. Ribeirão Preto: 2014.

NOVA, S. P. DE C. C. **Bons em ser Ruins: A utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) em modelos de análise de inadimplência/insolvência de empresas**XXXIV Encontro da ANPAD. **Anais...**Rio de Janeiro: 2010.

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

OLIVEIRA, T. B. A.; BORNIA, A. C.; SILVEIRA, S. F. R.; OLIVEIRA, M. W.; DRUMONT, A. M. The production efficiency in sugarcane farms. *In: Proceedings of the 10th International Conference on DEA (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS): THEORY AND APPLICATIONS*. [2012]. p. 305.

OLIVEIRA, T. B. A.; BORNIA, A. C.; SILVEIRA, S. F. R.; DRUMOND, A. M.; OLIVEIRA, M. W. Analyzing the costs and efficiency in the sugarcane farms using data envelopment analysis. **Custos e Agronegócio**, v. 10, p. 228–252, 2014.

OLIVEIRA, M. S.; AZAMBUJA, A. M. V.; LIMA, M. L. P. Aplicação de uma metodologia para análise de eficiência em terminais de contêineres. **Revista Vector**, v. 23, p. 32-43, 2013.

ONUSIC, L. M.; NOVA, S. P. DE C. C.; ALMEIDA, F. C. DE. Modelos de Previsão de Insolvência Utilizando a Análise por Envoltória de Dados : Aplicação a Empresas Brasileiras. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 11, n. 6, p. 77–97, 2007.

PADILLA-FERNANDEZ, M. D.; NUTHALL, P. L. Technical efficiency in the production of sugar cane in central negroes area, Philippines: An application envelopment analysis. **Journal International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences**, v. 15, n. 1, p. 77–90, 2009.

PASTOR, J. T. **Translation invariance in data envelopment analysis: A generalization** Annals of Operations Research. **Anais...**1996.

RAY, S. C.; JEON, Y. Reputation and efficiency: A non-parametric assessment of America's top-rated MBA programs. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 1, p. 245–268, ago. 2008.

REBELO, S.; MATIAS, F.; CARRASCO, P. Aplicação da metodologia DEA na análise da eficiência do setor hoteleiro português: uma análise aplicada às regiões portuguesas. **Tourism & Management Studies**, v. 9, p. 21–28, 2013.

RPA - Crise atinge um quarto das usinas do país nos 40 anos do proalcool. Disponível em: <http://www.rpaconsultoria.com.br/imprensa/12-areaimprensa/95-crise-atinge-um-quarto-das-usinas-do-pais-nos-40-anos-do-proalcool>. acesso em: 20 novembro 2015.

SANTOS, A. DOS; NOVA, S. P. DE C. C. Proposta de um modelo estruturado de análise de demonstrações contábeis. **Revista de Administração de Empresas**, v. 4, p. 24, 2005.

SARAFIDIS, V. An assessment of comparative efficiency measurement techniques. **Europe Economics**, v. 2, p. 24, 2002.

SCHERER, C. E. M. **Eficiência produtiva regional da agricultura Brasileira: uma análise de fronteira estocástica**. 53p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Economico). Faculdade de Economia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SENRA, L. F. A. DE C.; NANJI, L. C.; MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, v. 27, p. 191–207, 2007.

SILVA, F. A. Mensuração e análise da eficiência técnica de pequenos produtores de soja na região da grande dourados (MS). 68 p. Dissertação (Mestrado em Produção e Gestão Agroindustrial). Faculdade de Produção e Gestão Agroindustrial, Universidade de Anhanguera, Mato Grosso do Sul, 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C. HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2006.

THANASSOULIS, E. Assessing the efficiency of schools with pupils of different ability using Data Envelopment Analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 47, p. 84–97, 1996.

TSCHAFFON, P. B.; MEZA, L. A. Assessing the efficiency of the electric energy distribution using data envelopment analysis with undesirable outputs. **IEEE Latin America Transactions**, v. 12, n. 6, p. 1027–1035, 2014.

VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação Benchmarking-DEA: O caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v. 26, p. 51–67, 2006.

XAVIER, C. E. O. **Análise da eficiência do setor sucroenergético brasileiro**. 164p. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Economia Aplicada, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

YAMADA, Y.; MATSUI, T.; SUGIYAMA, M. An inefficiency measurement method for management systems. **The Operations Research Society of Japan**, v. 37, p. 158–167, 1994.

## Anexos

### Anexo I - Escores de eficiência.

<i>DMU</i>	<i>ET-RV</i>	<i>ET-RC</i>	<i>Escala</i>	<i>Retornos</i>
Usina Guarani	0,268060	0,256099	0,955379	irs
Usina Coruripe	0,224365	0,216407	0,964531	irs
Usina Iracema	0,209357	0,204109	0,974933	irs
Usina da Pedra	0,220606	0,204893	0,928773	irs
Usina Santa Isabel	0,475446	0,363305	0,764135	irs
Usina Batatais	0,196701	0,177021	0,89995	irs
Usina Santa Adélia	0,194606	0,157656	0,810129	irs
Usina Delta	0,163335	0,158966	0,973251	irs
Usina São Manoel	0,079688	0,0736	0,923602	irs
Usina Boa Vista	0,113160	0,098348	0,869106	irs
Usina Santa Fé	0,346681	0,236781	0,682994	irs
Usina Santo Antônio	0,333928	0,21447	0,642264	irs
Usina São José da Estiva	0,297909	0,188096	0,631387	irs
Usina Ipiranga	0,129049	0,105582	0,818154	irs
Usina Furlan	0,347226	0,136776	0,393911	irs
Usina São Luiz	0,398463	0,191559	0,480745	irs
Usina São Domingos	0,258636	0,150121	0,580434	irs
Usina El Dorado	0,075273	0,054103	0,718757	irs
Usina São Francisco	0,284341	0,161711	0,568722	irs
Usina Jacarezinho	0,399862	0,21198	0,530133	irs
Usina Olho D'água	0,433820	0,167042	0,385049	irs
Usina Iacanga	0,151203	0,112577	0,744542	irs
Usina Trapiche	<b>1,000000</b>	0,182048	0,182048	irs
Biosev	<b>1,000000</b>	0,313329	0,313329	irs
Biosev Bioenergia	0,412198	0,404913	0,982326	irs
Usaçúcar	0,191442	0,190606	0,995633	irs
Alto Alegre	0,162997	0,150585	0,923851	irs
Petrobras Biocombustível	<b>1,000000</b>	0,526425	0,526425	irs
Renuka	<b>1,000000</b>	<b>1,000000</b>	<b>1,000000</b>	-
Clealco	0,239225	0,21303	0,890501	irs
Virgolino de Oliveira	0,463569	0,214871	0,463515	irs
Alta Mogiana	0,134450	0,123948	0,921889	irs
Abengoa Agroindústria	0,122206	0,107391	0,87877	irs
Açucareira Virgolino de Oliveira	0,756963	0,167533	0,221323	irs
Brenco	<b>1,000000</b>	<b>1,000000</b>	<b>1,000000</b>	-
Açucareira Zillo Lorenzetti	0,247884	0,194661	0,785291	irs
Adecoagro Vale do Ivinhema	0,110847	0,096461	0,870218	irs
Barra Grande	0,240154	0,189003	0,787008	irs
Açucareira Quatá	0,430957	0,364114	0,844896	irs
Destilaria Andrade	0,433149	0,312677	0,721869	irs

Jalles Machado	0,142815	0,127112	0,890047	irs
Conquista do Pontal	0,218975	0,137446	0,627679	irs
Agro Energia Santa Luzia	0,109085	0,090445	0,829124	irs
São José	0,161108	0,13135	0,815292	irs
Cerradinho Bionergia	0,325126	0,139335	0,428557	irs
Bioenergetica Vale do Paracatu	0,090122	0,080926	0,897961	irs
Rio Claro	<b>1,000000</b>	0,212545	0,212545	irs
Barralcool	0,460366	0,132612	0,288058	irs
Alcídia	<b>1,000000</b>	0,408461	0,408461	irs
Vale do Ivaí	0,440247	0,185838	0,422122	irs
Ferrari Agroindústria	0,494167	0,19516	0,394927	irs
USA	0,188507	0,144056	0,764194	irs
Da Mata	0,254195	0,154574	0,608092	irs
Coprodiá	0,516766	0,235663	0,456034	irs
Cosan Caarapó	0,515069	0,114781	0,222846	irs
Uberaba	0,439840	0,213615	0,485665	irs
DCBio	<b>1,000000</b>	0,207625	0,207625	irs
Iaco	0,150998	0,102495	0,678784	irs
Copersucar-Cooperativa	<b>1,000000</b>	<b>1,000000</b>	<b>1,000000</b>	-
Copersucar	<b>1,000000</b>	0,942264	0,952537	irs
Usina Caeté	0,230652	0,205525	0,891061	irs
Usina Nardini	0,221558	0,182478	0,823613	irs
Usina Vale do Tijuco	0,406642	0,178986	0,440156	irs
Raízen Araraquara	<b>1,000000</b>	0,168454	0,168454	irs
Melhoramentos	<b>1,000000</b>	0,25905	0,25905	irs
Central Energética Morrinhos	0,204241	0,119628	0,58572	irs
Raízen Taramã	<b>1,000000</b>	0,504618	0,505675	irs

\*irs: (*Increasing Returns to Scale*) Retorno Crescente de Escala, - Retorno Constante de Escala.

ANEXO II – Escores de eficiência

<i>Escores de eficiência BCC-O</i>					
<i>Ranking*</i>	<i>DMU</i>	<i>Padrão</i>	<i>Invertida</i>	<i>Composta</i>	<i>Composta normalizada</i>
1	60	<b>1,000000</b>	0,081472	0,953871	<b>1,000000</b>
2	59	<b>1,000000</b>	0,114141	0,942930	0,988529
3	67	<b>1,000000</b>	0,211007	0,893451	0,936658
4	34	0,756963	0,322297	0,717333	0,752023
5	47	<b>1,000000</b>	0,661384	0,669308	0,701675
6	24	<b>1,000000</b>	0,677494	0,661253	0,693231
7	64	<b>1,000000</b>	0,738958	0,630521	0,661013
8	65	<b>1,000000</b>	0,792762	0,603619	0,632810
9	31	0,463569	0,323620	0,569974	0,597538
10	25	0,412198	0,378114	0,517042	0,542045
11	23	<b>1,000000</b>	1,000000	0,500000	0,524180
12	28	<b>1,000000</b>	1,000000	0,500000	0,524180
13	29	<b>1,000000</b>	1,000000	0,500000	0,524180
14	35	<b>1,000000</b>	1,000000	0,500000	0,524180
15	49	<b>1,000000</b>	1,000000	0,500000	0,524180
16	57	<b>1,000000</b>	1,000000	0,500000	0,524180
17	51	0,494167	0,619306	0,437430	0,458584
18	30	0,239225	0,370654	0,434286	0,455288
19	63	0,406642	0,539205	0,433719	0,454693
20	61	0,230652	0,372440	0,429106	0,449858
21	2	0,224365	0,403337	0,410514	0,430366
22	4	0,220606	0,400499	0,410054	0,429884
23	45	0,325126	0,510883	0,407121	0,426809
24	12	0,333928	0,537428	0,398250	0,417509
25	7	0,194606	0,418284	0,388161	0,406932
26	11	0,346681	0,578662	0,384010	0,402580
27	5	0,475446	0,718515	0,378465	0,396768
28	38	0,240154	0,500943	0,369605	0,387479
29	54	0,516766	0,782890	0,366938	0,384683
30	55	0,515069	0,792447	0,361311	0,378784
31	36	0,247884	0,532540	0,357672	0,374969
32	13	0,297909	0,609042	0,344434	0,361090
33	62	0,221558	0,540125	0,340717	0,357194
34	42	0,218975	0,538069	0,340453	0,356917
35	56	0,439840	0,784976	0,327432	0,343266
36	15	0,347226	0,697609	0,324809	0,340516
37	6	0,196701	0,555200	0,320751	0,336262
38	50	0,440247	0,824060	0,308094	0,322993
39	41	0,142815	0,571001	0,285907	0,299733
40	58	0,150998	0,636039	0,257479	0,269931
41	19	0,284341	0,778888	0,252727	0,264948

42	53	0,254195	0,760746	0,246725	0,258656
43	16	0,398463	0,922774	0,237844	0,249346
44	17	0,258636	0,784383	0,237127	0,248594
45	48	0,460366	1,000000	0,230183	0,241315
46	44	0,161108	0,704138	0,228485	0,239534
47	21	0,433820	1,000000	0,216910	0,227400
48	40	0,433149	1,000000	0,216574	0,227048
49	39	0,430957	1,000000	0,215478	0,225899
50	52	0,188507	0,759711	0,214398	0,224766
51	20	0,399862	1,000000	0,199931	0,209599
52	10	0,113160	0,733051	0,190054	0,199245
53	43	0,109085	0,756297	0,176394	0,184925
54	33	0,122206	0,805161	0,158523	0,166189
55	14	0,129049	0,857526	0,135761	0,142327
56	1	0,268060	1,000000	0,134030	0,140511
57	66	0,204241	0,956121	0,124060	0,130059
58	22	0,151203	0,909498	0,120853	0,126697
59	3	0,209357	1,000000	0,104678	0,109741
60	8	0,163335	0,954265	0,104535	0,109591
61	26	0,191442	1,000000	0,095721	0,100350
62	27	0,162997	1,000000	0,081499	0,085440
63	32	0,134450	1,000000	0,067225	0,070476
64	9	0,079688	0,956429	0,061629	0,064610
65	37	0,110847	1,000000	0,055423	0,058103
66	46	0,090122	1,000000	0,045061	0,047240
67	18	0,075273	1,000000	0,037636	0,039456

\*Rankeamento utilizando a eficiência composta normalizada. Valores em negrito para eficiência iguala 1 – Fonte: Resultados da pesquisa.

## CONCLUSÃO GERAL

O setor sucroalcooleiro é um setor de grande importância para a economia brasileira, movimentando pouco mais de US\$43,36 bilhões, e empregando mais de 3,5 milhões de pessoas em toda sua cadeia, a pesar dos dados apresentados o setor enfrenta na atualidade uma crise econômica, em meio a um entorno que cada vez mais exerce maior influência nas empresas que estão inseridas nele, obrigando-as a estar em constante atualização das estratégias empresariais, que visem o uso eficiente de seus recursos. A avaliação e análise de eficiência realizado neste trabalho, para o setor sucroalcooleiro permitiu identificar que, embora o setor tenha sido afetado pela crise econômica de 2008, e que esta crise seja o motivo pelo qual muitas empresas do setor tenham fechado suas portas, existem empresas que tem administrado eficientemente seus recursos financeiros, e tem sob controle suas dívidas. A administração eficiente dos recursos econômicos garante a supervivência das empresas sucroalcooleiras brasileiras em um mercado de acirrada concorrência e de grandes desafios.

Identificou-se através da Análise Envoltória de Dados – DEA, que aproximadamente 20 % das empresas avaliadas fazem uso eficiente de seus recursos financeiros, e que um fator que pode estar influenciando esse comportamento pode ser o ICMS sobre o etanol, uma vez que pouco mais de 69 % das empresas eficientes se localizam no estado de São Paulo, o qual é o Estado que possui a menor alíquota de ICMS sobre o etanol, estando os 30,7 % restantes das usinas eficientes estão localizadas em estados como: Goiás, Paraná, Pernambuco e Rio de Janeiro, estados que também tem apostado na redução do ICMS sobre o etanol. É possível concluir que as empresa do setor tem avançado na produtividade total dos fatores, via mudança na eficiência pura ou via eficiência de escala.

Através da análise dos dados apresentados no trabalho, foi possível identificar que 67% das usinas sucroalcooleiras avaliadas tiveram uma mudança favorável na produtividade total dos fatores, destas 93 % conseguiram melhorar sua PTF via mudança na eficiência. De igual forma a análise da origem dos ganhos na eficiência permitiu concluir que 41 % das empresas que ganharam eficiência o fizeram mediante ganhos na eficiência pura, outro 41 % o fez via eficiência de escala e o 18 % restante o fez através de ganhos conjuntos em eficiência de escala e eficiência pura. Empresas com perdas de produtividade representaram 33 % da amostra, destas 99 % conseguiram ganhos na mudança técnica em média de 1,058, mas esses ganhos em eficiência não foram suficientes para compensar as perdas em mudança tecnológica. Do total 7 % das usinas sucroalcooleiras tiveram uma mudança na produtividade

total dos fatores, graças a alterações favoráveis no uso de tecnologias, ou seja, o que indica que estas empresas tem se modernizado.

O cruzamento dos resultados por estados da federação e por grupo de PTF permitiu concluir que 65,5 % das empresas com ganhos na PTF se localizam em São Paulo, 13,8 % estão localizadas entre Minas Gerais e Paraná e os 20,7 % restantes estão localizadas nos estados de Alagoas, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Empresas que ganharam produtividade no período analisado foram empresas que se classificam como empresas de médio porte e algumas de grande porte. Já as empresas de menor porte tiveram perdas na PTF, as empresas de menor porte são empresas que cresceram em desequilíbrio, avançando em algumas áreas, mas ficando estagnadas em outras. As empresas com ganhos de produtividade como esperado também foram caracterizadas por apresentar altos índices de liquidez, o fator de endividamento não se apresentou como um fator decisivo uma vez que não houve diferença entre as empresas que ganharam produtividade e as que perderam. Quando analisado o nível de endividamento das empresas que ganharam produtividade, comprovou-se que este fator, está sendo reduzido por este grupo de empresas, o que traz consigo um alívio para estas empresas, já que algumas das empresas do setor não conseguem sequer gerar caixa para pagar os juros das dívidas adquiridas.

Empresas com ganhos de mudança tecnológica são empresas de grande porte, caracterizadas por ter patrimônio de mais de 1 bilhão de dólares, menor nível de endividamento, alta liquidez e conseqüentemente alta lucratividade. Ou seja, empresas grandes estão fazendo uma ótima alocação de seus investimentos em tecnologia e que por sua vez esses investimentos estão trazendo os resultados esperados, uma vez que geram altas taxas de lucratividade; a adoção dessas estratégias tecnológicas tem permitido que essas usinas tomem distância das demais, gerando uma vantagem competitiva muito importante. Já no referente à mudança de eficiência observada no setor encontrou-se que empresas com ganhos na mudança de sua eficiência são empresas principalmente de porte médio e pequeno, e algumas poucas de grande porte. Fato que é bem distinto da análise do estudo por mudança tecnológica, este grupo ainda é caracterizado por ter alta liquidez e uma diferença bem significativa na lucratividade de este tipo de empresas, ou seja, as empresas que estão ganhando em eficiência são empresas que efetivamente estão fazendo um ótimo uso de seu mix de insumos, obtendo excelentes resultados na sua lucratividade. Para este grupo de empresas com maior eficiência, o maior índice de endividamento está gerando resultados

positivos, possível por estes recursos estarem sendo utilizados para promover o aumento da produção e da eficiência, o que leva a concluir que empresas grandes estão ganhando em tecnologia enquanto empresas pequenas ganham em eficiência. Sendo assim o setor deve seguir trabalhando na procura de atingir a eficiência técnica, e buscar emular essas empresas que a pesar da crise conseguiram se manter e até crescer.