

LUIZA AMARA MACIEL BRAGA

**A EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS:  
DETERMINANTES E IMPACTOS PARA A ECONOMIA BRASILEIRA**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2016

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

T

B813e

2016

Braga, Luiza Amara Maciel, 1991-

A eficiência técnica das usinas sucroenergéticas :  
determinantes e impactos para a economia brasileira / Luiza  
Amara Maciel Braga. – Viçosa, MG, 2016.  
xii, 82f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Adriano Provezano Gomes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.77-82.

1. Usinas de açúcar. 2. Álcool - Indústria. 3. Agroindústria.  
4. Economia - Brasil. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Economia. Programa de Pós-graduação em  
Economia. II. Título.

CDD 22 ed. 664.1

LUIZA AMARA MACIEL BRAGA

**A EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS:  
DETERMINANTES E IMPACTOS PARA A ECONOMIA BRASILEIRA**

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

APROVADA: 17 de novembro de 2016.

Giovana F. Rossi  
Giovana Figueiredo Rossi

Elaine A. Fernandes  
Elaine Aparecida Fernandes

Maria da Graça Derengowski Fonseca  
Maria da Graça Derengowski Fonseca  
(Coorientadora)

Adriano Provezano Gomes  
Adriano Provezano Gomes  
(Orientador)

*“Aos grandes amores da minha vida, Paulo e Bernadete.”*

*“Pessoas felizes são aquelas cujas mentes estão fixadas em algum outro objeto que não seja a própria felicidade; na felicidade dos outros, no aperfeiçoamento da humanidade, até mesmo em alguma arte ou busca empreendida não como meio, mas como fim ideal. Ao visar assim o outro elas encontram a felicidade casualmente.” (John Stuart Mill)*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
LISTA DE SIGLAS .....	x
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 O problema e sua importância .....	3
1.3 Objetivo geral .....	5
1.4 Objetivos específicos .....	5
2. A AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA .....	7
2.1 Caracterização da agroindústria sucroenergética brasileira.....	7
2.2 Sobre a produção de açúcar e álcool.....	9
2.3 Composição da cana-de-açúcar e seu impacto na eficiência industrial .....	10
2.4 A safra 2011/12.....	11
2.5 A importância da adoção de novas tecnologias para o setor sucroenergético .....	13
2.5.1 Variedades genéticas de cana-de-açúcar .....	14
2.5.2 Novas tecnologias industriais .....	15
2.6 A utilização do modelo DEA no setor sucroenergético.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1 Funções de produção e de custo.....	20
3.2 Conceitos de eficiência e produtividade .....	22
3.3 A fronteira de produção .....	23
3.4 Economia de escala e de escopo .....	24
3.5 As relações intersetoriais na economia .....	25

4.	METODOLOGIA.....	26
4.1	Análise envoltória de dados (DEA) .....	27
4.2	Tobit (truncado) com reamostragem.....	33
4.3	Detecção de outliers na amostra .....	38
4.4	Matriz insumo-produto e seus multiplicadores.....	40
4.5	Fonte de dados .....	44
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1	As medidas de eficiência das usinas sucroenergéticas .....	45
5.2	Os determinantes da eficiência técnica das usinas.....	54
5.3	Os principais benchmarks das usinas ineficientes .....	59
5.4	Projeção das usinas sucroenergéticas na fronteira de eficiência.....	61
5.4.1	Projeção da produção de açúcar .....	61
5.4.2	Projeção da produção de álcool .....	62
5.5	Matriz insumo-produto e multiplicadores de renda, emprego e imposto .....	63
5.5.1	Os choques na produção de açúcar.....	64
5.5.2	Choques na produção de álcool .....	68
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1- Localização geográfica de usinas e destilarias.

Figura 2 - Fluxograma da Produção de açúcar e álcool (etanol).

Figura 3 - Distribuição dos estados brasileiros em regiões produtivas.

Figura 4 - Concentração espacial das usinas da amostra.

Figura 5 - Histograma da distribuição dos *leverages* em relação à eficiência das usinas sucroalcooleiras.

Figura 6 - Simplificação do modelo insumo-produto.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Composição química do caldo da cana-de-açúcar

Tabela 2 - Estudos que avaliam a eficiência de propriedades agrícolas produtoras de cana-de-açúcar

Tabela 3 - Estudos que avaliam a eficiência de usinas produtoras de açúcar e de álcool

Tabela 4 - Possíveis classificações das unidades de produção

Tabela 5 - Variáveis do modelo DEA

Tabela 6 - Estatística descritiva de produtos e insumos das usinas

Tabela 7 - Variáveis utilizadas no Tobit e na Análise Discriminante

Tabela 8 - Estatística descritiva das variáveis contínuas

Tabela 9 - Valores dos *leverages*, dos insumos e dos produtos das DMUs consideradas *outliers*

Tabela 10 - Distribuição das usinas segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

Tabela 11 – Distribuição das usinas segundo o tipo de retorno à escala e a condição de eficiência técnica

Tabela 12 - Valores médios das medidas de eficiência, produto e insumos das usinas, segundo o tipo de retorno à escala

Tabela 13 - Distribuição das usinas segundo a capacidade de moagem e tipo de retorno à escala

Tabela 14 - Distribuição das usinas segundo a localização geográfica e tipo de retorno à escala

Tabela 15 - Valores médios de produto e insumo das usinas segundo a condição de pura eficiência técnica

Tabela 16 - Tamanho das usinas segundo eficiência técnica

Tabela 17 - Localização das usinas segundo pura eficiência técnica

Tabela 18 - Resultados do modelo de regressão truncada Tobit

Tabela 19 - Efeito marginal do Tobit.

Tabela 20 - Os quatro maiores *benchmarks* e suas características relativas ao modelo

Tabela 21 - Insumos e produtos dos principais *benchmarks*

Tabela 22 - Variáveis ambientais significativas dos principais *benchmarks*

Tabela 23 - Projeção da produção de açúcar

Tabela 24 - Projeção da produção de álcool

Tabela 25 - Cálculo do Valor médio da produção de açúcar por usina

Tabela 26 - Estimativa do número de usinas ineficientes no Brasil por região

Tabela 27 - Valores totais gerados pela correção das ineficiências na produção de açúcar por região

Tabela 28 - Impacto nos efeitos multiplicadores após correção das ineficiências das usinas na produção de açúcar

Tabela 29 - Cálculo do Valor médio da produção de álcool por usina

Tabela 30 - Valores totais gerados pela correção das ineficiências na produção de álcool por região

Tabela 31 - Impacto nos efeitos multiplicadores após correção das ineficiências das usinas na produção de álcool

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráficos 1 e 2 - Evolução da área colhida de cana-de-açúcar e do total de cana produzido (2005/06 - 2014/15).

Gráficos 3 e 4 - Evolução da produção de açúcar e álcool (2005/06 - 2014/15).

Gráficos 5 e 6 - Evolução das produtividades físicas da terra (t/ha) e industrial (ART/t) (2005/06 - 2014/15).

Gráfico 7 - Função de Produção.

Gráfico 8 - Fronteira de produção

Gráfico 9 - Tamanho das usinas da amostra.

Gráfico 10 - As 10 variedades de cana-de-açúcar mais utilizadas.

Gráfico 11 – Histograma da distribuição das usinas

Gráfico 12 - 5 setores da economia mais beneficiados pelo aumento da produção de açúcar.

Gráfico 13 – 5 setores da economia mais beneficiados pelo aumento da produção de álcool.

## LISTA DE SIGLAS

ART	Açúcares redutores totais
ATR	Açúcar total recuperável
BCC	Banker, Charnes e Cooper
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CRS	Retornos Constantes de Escala ( <i>Constant Returns of Scale</i> )
CT	Custo Total
CV	Custo Variável
CF	Custo Fixo
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
DEA	Análise Envoltória de Dados ( <i>Data Envelopment Analysis</i> )
DGP	<i>Data Generating Process</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
HA	Hectare
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto Interno Bruto (PIB)
Pecege	Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão (Pecege)
PTF	Produtividade Total dos Fatores
T	Toneladas
TRU	Tabela de Recursos e Usos
Ridesa	Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do setor sucroenergético
Unica	União da Indústria de Cana-de-açúcar
VBP	Valor Bruto da Produção
VRS	Retornos Variáveis de Escala ( <i>Variable Returns of Scale</i> )

## RESUMO

BRAGA, Luiza Amara Maciel, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2016. **A eficiência técnica das usinas sucroenergéticas: determinantes e impactos para a economia brasileira.** Orientador: Adriano Provezano Gomes. Coorientadores: Maria da Graça Derengowski Fonseca e Francisco Carlos da Cunha Cassuce.

Este estudo teve como objetivo mensurar e analisar o nível de eficiência técnica das usinas sucroenergéticas brasileiras e, a partir desta análise, buscou-se a delimitação dos fatores determinantes dessa eficiência, assim como das principais características das unidades *benchmarks*. Ao mesmo tempo, com o intuito de justificar a busca da máxima eficiência técnica pelas usinas, também foi feito o cálculo dos impactos gerados pela ineficiência técnica das usinas para o setor sucroenergético e para a economia brasileira. Para isso, utilizou-se a metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA), orientação produto, para realizar o cálculo e análise do nível de eficiência. Os resultados obtidos foram então refinados pelo modelo Tobit, visando a investigação dos determinantes, e também serviram como base para a construção de uma simulação de choques na matriz insumo-produto brasileira, afim de mensurar os efeitos da ineficiência. Foram utilizados os dados de 115 usinas durante a safra 2011/2012, disponíveis no Anuário da Cana 2012, produzido e comercializado pela ProCana. Os resultados encontrados mostram que sob a pressuposição de retornos variáveis à escala apenas 15,7% das usinas são eficientes, no entanto a média geral de eficiência ficou acima dos 90%, o que demonstra que as usinas estão próximas da máxima eficiência. A maior parte das usinas opera com retornos crescentes e por isso deveria expandir sua produção. Verificou-se que a localização das usinas, seu percentual de capacidade instalada utilizado e a idade varietal média da cana moída são determinantes da eficiência técnica. Em relação aos impactos das ineficiências das usinas, é possível afirmar que a correção destas geraria para o setor mais de 7 bilhões de reais, provenientes do aumento da produção de açúcar e álcool. Esse valor, ao serem incluídos na matriz insumo-produto brasileira, resultariam num aumento de 29,8 bilhões de reais em Valor Bruto da Produção, 574 mil empregos e 1,3 bilhões de reais em arrecadação de impostos, resultantes dos impactos diretos, indiretos e induzidos.

## ABSTRACT

BRAGA, Luiza Amara Maciel, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2016. **The technical efficiency of sugarcane refineries: determinants and impacts on the brazilian economy.** Adviser: Adriano Provezano Gomes. Co-advisers: Maria da Graça Derengowski Fonseca and Francisco Carlos da Cunha Cassuce.

This study aimed to measure and analyze the level of technical efficiency of Brazilian sugarcane refineries, and from this analysis it was made the delimitation of the determinants of this efficiency, as well as the main productive characteristics of the benchmarks units. At the same time, in order to justify the search of the maximum technical efficiency by the refineries, it has also made the calculation of impacts caused by technical inefficiency for the sugarcane industry and the Brazilian economy. For this, it was used the methodology of data envelopment analysis (DEA) assuming product guidance, to perform the calculation and analysis of the level of efficiency. The results were then refined by Tobit model in order to investigate the determinants and also served as a basis for building a simulation shocks in Brazilian input-output matrix, in order to measure the impact of inefficiency. Data from 115 plants, during the 2011/2012 harvest, were used, and they are available in the Annual report of sugarcane production, produced and marketed by ProCana. The results show that under the assumption of variable returns to scale only 15.7% of the plants are efficient, but the overall average efficiency was above 90%. Most plants operate with increasing returns and so should expand its production. It was found that the location of the plants, their percentage of capacity used and varietal average age of crushed sugarcane are determinants of technical efficiency. Regarding the impact of the inefficiencies of the plants, it is clear that the correction of these would give to this industry more than 7 billions of reais, from the increased production of sugar and alcohol. This value, to be included in the Brazilian input-output matrix, result in an increase of 29.8 billions of reais in Gross Domestic Production (GDP), 574 thousands jobs and 1.3 billions reais in tax revenue, resulting from direct, indirect and induced impacts.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

O agronegócio é uma das principais atividades econômicas brasileiras, sendo o Brasil um dos principais exportadores de produtos como soja e açúcar. Pela definição do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA – ESALQ/USP), o agronegócio é o conjunto das atividades geradoras de renda relacionadas à produção de bens agrícolas e pecuários, estando divididas em insumos<sup>1</sup>, produção agropecuária<sup>2</sup>, agroindústria<sup>3</sup> e distribuição<sup>4</sup>. Juntos, estes segmentos têm importância pela sua participação no Produto Interno Bruto (PIB), que em 2015, passou dos 21% (CEPEA, 2016).

Dentre os segmentos produtivos que compõe o agronegócio brasileiro, o setor sucroenergético aparece como um dos mais importantes para o desenvolvimento socioeconômico, uma vez que seu faturamento, de 70 bilhões de reais, representou, em 2015, 1,3% do PIB, além das empresas que atuam no setor terem gerado 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos e terem recolhido 16 bilhões de reais em impostos e taxas. No mesmo período, o complexo sucroenergético era formado por 423 usinas e pelas suas lavouras de cana-de-açúcar, que ocupavam uma superfície de 10 milhões de hectares, correspondendo a 4,5% da área agricultável do país (PROCANA, 2015). O setor também foi responsável pelas exportações de 8,5 bilhões de dólares em açúcar e etanol, o que representa 4,5% do valor total das exportações brasileiras, sendo que dentre os produtos de origem agrícola somente a cadeia da soja e da carne têm um valor de exportação maior<sup>5</sup> (SECEX, 2016).

A importância do setor sucroenergético começou a crescer durante a primeira crise do petróleo, em 1973, que fez do álcool combustível uma alternativa para enfrentar o aumento do preço do barril de petróleo. Em 1975, o governo militar lançou o Proálcool, um programa cujo objetivo geral era expandir as lavouras de cana-de-açúcar e modernizar as plantas produtivas. O programa foi responsável por conceder, aos agricultores e aos usineiros, incentivos, garantias e subsídios que contribuíram para o aprimoramento produtivo e tecnológico da atividade. Todavia, na segunda metade dos anos de 1980, os preços do petróleo começaram a cair, o que, combinado com uma nova postura menos intervencionista do Estado brasileiro, levou a uma desregulamentação do setor nos anos de 1990 (FONSECA *et al.*, 2007).

<sup>1</sup> Compreende toda a produção de insumos agrícolas e da pecuária, como por exemplo fertilizantes, herbicidas, ração etc.

<sup>2</sup> É a produção agropecuária primária, ou seja, tudo que ocorre “dentro da porteira”.

<sup>3</sup> Indústria processadora das matérias-primas agropecuárias.

<sup>4</sup> Parte logística, como transporte, comércio, entre outros.

<sup>5</sup> O valor de exportação da soja e da carne, em 2015, representaram, respectivamente, 14,6% e 7,5% do total exportado.

A última década do século XX foi de crise para a agroindústria canavieira. A produção de carros movidos à álcool hidratado diminuiu e, com isso, também diminuiu o consumo do combustível, ao mesmo tempo o preço do açúcar no mercado internacional, ficou abaixo dos US\$200,00 por tonelada, considerado baixo pelos produtores. As expectativas eram de que no futuro apenas o álcool anidro seria demandado, para ser adicionado na gasolina, o que levou à uma redução no número de usinas ativas (CHAGAS, 2011).

A partir de 2000, contudo, as perspectivas de demanda para o açúcar e, principalmente, para o etanol hidratado se tornaram novamente positivas: primeiro, pela criação, em 2003, dos veículos *Flex Fuel* capazes de utilizar álcool e gasolina em um mesmo motor, criando uma enorme demanda interna pelo combustível; segundo, pelo crescente aumento da quantidade de álcool anidro misturado à gasolina, que em março de 2015, passou a ser de 27%; terceiro, pelo fato do álcool ser considerado uma energia limpa se comparada à gasolina, num contexto em que existe uma pressão mundial pela redução das emissões de dióxido de carbono; e quarto, pela demanda crescente interna e externa, principalmente da China, por açúcar (MARTINELLI *et al.*, 2011).

Apesar desse cenário otimista, alguns fatores atrapalharam o crescimento da produtividade do setor a partir de 2009. A despeito das produtividades, agrícola e industrial, apresentarem trajetória crescente, existe uma constante redução no seu ritmo de crescimento (NYKO *et al.*, 2013). Entre as safras 2009/10 e 2014/15, a produtividade agrícola teve uma média de crescimento de 0,05%, enquanto a produtividade industrial teve uma média de crescimento de -0,42%, valores mais baixos do que os encontrados entre as safras 2002/2003 e 2008/2009.<sup>6</sup> Isso colocou em risco a aclamada competitividade dessa agroindústria e a capacidade brasileira de suprir as demandas de açúcar e álcool no mercado interno e externo (FONSECA *et al.*, 2015).

Os fatores que motivaram a crise são diversos. Shikida *et al* (2002) destacam que, após a desregulamentação do setor no final dos anos 1990, a heterogeneidade produtiva passou a ser uma característica dessas empresas, com a coexistência de plantas eficientes e ineficientes. Além disso, as empresas passam por um aumento dos custos de produção, chegando a 20% de aumento na região Nordeste na safra 2011/12, segundo o Instituto Pecege (ESALQ/USP, 2011). Grande parte desse aumento nos custos se deve ao decreto federal nº 2.661 que iniciou de forma forçada a mecanização da colheita da cana-de-açúcar e que deu um prazo até 2018 para que as empresas acabem com a colheita manual, por motivos ambientais, pois a colheita manual

---

<sup>6</sup> Uma análise mais aprofundada pode ser encontrada na seção 2.4

depende do emprego do fogo nas lavouras. Os custos iniciais da mecanização são altos, pois além da compra dos equipamentos, ainda é necessário fazer o replantio do canavial, adaptando-o para a utilização da máquina. Todos esses custos deixam a tonelada de cana mais cara e são sentidos também na fase industrial.

Outro motivo que compromete a estabilidade das empresas está ligado ao controle do preço da gasolina realizado pelo governo brasileiro, durante o final do segundo governo Lula e o primeiro governo Dilma. O álcool hidratado tem um conteúdo energético 30% inferior ao da gasolina, logo o preço do álcool, quando comparado ao preço da gasolina, deve representar até 70% do preço do seu combustível concorrente para que o consumidor opte pelo seu consumo. Portanto, o controle do preço da gasolina, pelo governo brasileiro, leva a um controle indireto do preço do etanol, mantendo-o abaixo do que seria necessário para garantir as margens de lucro esperadas pelos empresários.

A combinação entre controle de preços e aumento de custos, diminuiu as margens de lucro, prejudicou financeiramente as empresas, impediu investimentos e acabou impactando negativamente na produtividade e eficiência dessas unidades de produção. Devido ao tamanho e importância do setor sucroenergético, a economia do país também é afetada, uma vez que empregos deixam de ser criados e o recolhimento de impostos do governo é reduzido.

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

Dado os graves problemas enfrentados pelo setor sucroenergético, e que não estão sob controle dos empresários, não restaria às empresas senão à saída de se tornarem mais eficientes. A busca pela eficiência técnica é um dos caminhos para se elaborar estratégias que maximizem a produção, motivando ganhos de produtividade, redução de custos e maximizando os lucros. Em consonância com essa ideia, Cano e Tupy (2005) mostram que a busca pela eficiência é uma forma de as firmas reduzirem seus custos, construírem vantagens competitivas e se colocarem em condições de concorrer com as melhores competidoras.

A delimitação dos determinantes da eficiência técnica de usinas sucroenergéticas é, então, relevante para auxiliar na decisão dos empresários e na formulação de políticas públicas voltadas para o setor, indicando uma possível trajetória a ser seguida. Ao mesmo tempo, torna-se importante mensurar o tamanho do impacto da ineficiência das usinas para as próprias empresas e para os indicadores econômicos do país. A informação sobre quanto a mais de renda, empregos e impostos seriam gerados numa situação em que todas as usinas fossem eficientes seria interessante para os gestores e formuladores de políticas públicas. Isso poderia motivar mudanças internas, necessárias em momentos de crise, além de novos programas e linhas de

financiamento direcionados à produção de açúcar e álcool, visando o aumento da eficiência técnica das usinas.

Assim, surge a necessidade de estudos que analisem a eficiência das usinas de cana-de-açúcar, seus determinantes e suas consequências para a economia brasileira. Cano e Tupy (2005) de forma pioneira utilizaram a metodologia de análise envoltória de dados (DEA) para investigar a eficiência das usinas paulistas e verificaram que 20% delas eram eficientes, apontando que a ineficiência estaria ligada à problemas com a mão-de-obra e com a escala de produção. Estudo semelhante foi repetido para o Brasil por Macedo *et al* (2010), mas com um foco nos indicadores socioambientais, a partir do qual verificou-se que as empresas maiores teriam um melhor desempenho nos indicadores socioambientais. Já Carlucci (2012) demonstrou que as variáveis tamanho e localização possuem efeito sobre a eficiência operacional das usinas de cana-de-açúcar do Brasil, também através de um modelo DEA sucedido por um estudo de múltiplos casos. Outro trabalho relevante foi feito por Pereira (2012), que utilizou a metodologia DEA para calcular o índice de Malmquist, com o objetivo de verificar a evolução da produtividade de 15 usinas da região Centro-Sul entre 2001 e 2008. Pereira (2012) chegou à conclusão que as usinas analisadas eram muito heterogêneas e ainda verificou que a variável tamanho não teria impacto na produtividade total dos fatores (PTF).

Até agora nenhum trabalho investigou a relação entre o tipo de variedade de cana-de-açúcar moído pela usina, e o valor do investimento industrial com a eficiência técnica de usinas sucroenergéticas. Tal indagação se justifica pela importância dessas duas variáveis, já que grande parte do bom desempenho de uma usina depende da qualidade da matéria prima utilizada e da capacidade dos processos de produção em retirar o máximo de açúcares redutores totais<sup>7</sup> (ART) da cana-de-açúcar. Além disso, segundo Fonseca *et al* (2007), grande parte das inovações que são geradas para o setor orbitam em volta dessas duas variáveis, pois buscam o aprimoramento do cultivar e dos processos industriais.

Da mesma forma, não se buscou avaliar as consequências das ineficiências das usinas para a economia, mensurando quanto de renda, empregos e impostos deixam de ser gerados pela ineficiência. Terciote (2006) e Costa e Guilhoto (2011) utilizaram a metodologia de choques na matriz insumo-produto para verificar os efeitos de variações no setor sucroenergético para os indicadores econômicos, mas no caso do primeiro o valor do choque era proveniente do investimento em novas usinas nos setores de máquinas e tratores e construção civil, enquanto o segundo fez uma projeção de crescimento para o setor e realizou choques com o intuito de

---

<sup>7</sup> Explicado na seção 2.3 do capítulo 2.

prever quanto de renda e emprego seria gerado pelo setor nos anos de 2015 e 2020, mas os dois trabalhos verificaram o grande impacto que o setor sucroenergético possui na economia com seus efeitos indiretos. Miranda (2015) fez uma aplicação similar à que este trabalho propõe, mas para o setor de saneamento básico, utilizando os resultados relacionados à eficiência das empresas, sobre quanto de insumo poderia ser economizado numa situação em que todas as empresas fossem eficientes. Esses valores foram utilizados para dar choques na matriz insumo-produto, e assim apurou-se que a correção das ineficiências dessas empresas poderia economizar para o estado de Minas Gerais mais de 180 milhões de reais.

Nesse sentido, este estudo parte da hipótese de que variáveis como a idade varietal da cana-de-açúcar e o valor investido dentro da usina são determinantes para a eficiência técnica dessas unidades industriais. Ao mesmo tempo, considerando o tamanho do setor e sua importância para a economia, supõe-se que o resultado gerado pela correção das ineficiências das usinas teria grande impacto econômico para o próprio setor sucroenergético e para outros setores produtivos.

### **1.3 Objetivo geral**

O objetivo geral deste estudo é a análise do nível de eficiência das usinas de cana-de-açúcar brasileiras, focando na análise da eficiência industrial, com base na safra 2011/12<sup>8</sup>. A partir desses resultados pretende-se delimitar quais seriam os fatores determinantes da eficiência das usinas e ainda verificar a relevância da eficiência dessas unidades para elas próprias e para a economia brasileira.

### **1.4 Objetivos específicos**

De forma específica pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- I) Estimar e analisar as medidas de eficiência técnica e de escala das usinas sucroenergéticas brasileiras na safra 2011/2012;
- II) Investigar os determinantes da eficiência técnica das usinas;
- III) Identificar e caracterizar os principais *benchmarks* das usinas ineficientes;
- IV) Projetar as unidades ineficientes na fronteira de produção, e quantificar quanto a mais de açúcar e álcool seria produzido no caso hipotético em que todas as usinas fossem eficientes;
- V) Calcular os efeitos multiplicadores na economia brasileira decorrentes da correção de ineficiências das usinas sucroenergéticas.

---

<sup>8</sup> É a safra mais recente com o maior número de informações sobre as usinas disponíveis.

Com o propósito de atender aos objetivos gerais e específicos sugeridos e, ainda, responder as perguntas fundamentais explicitadas, organizou-se este trabalho em seis capítulos, incluindo esta introdução. O segundo capítulo traz informações relevantes sobre o setor sucroenergético, seus processos produtivos, sua organização industrial e alguns dados sobre as últimas safras. O terceiro capítulo apresenta a estrutura teórica que embasa o estudo, enquanto o quarto explicita a metodologia e os dados que foram utilizados para atender aos objetivos gerais e específicos. No quinto capítulo, são expostos os resultados e a discussão da pesquisa. Finalizando, o capítulo seis fornece um resumo e as considerações finais do estudo, seguido pelas referências bibliográficas.

## 2. A AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA

## **2.1 Caracterização da agroindústria sucroenergética brasileira**

A agroindústria sucroenergética se caracteriza pela geração de três produtos: o açúcar, o álcool e a energia elétrica proveniente do bagaço da cana, sendo este último resíduo da produção dos dois primeiros. Além desses, a partir da cana é possível gerar alguns subprodutos, como a aguardente, o bioplástico, entre outros. A possibilidade de obtenção de vários produtos a partir de um mesmo insumo permite a geração de economias de escopo<sup>9</sup>. Ao mesmo tempo, o aumento da demanda por cada um dos itens, seja interna ou externamente, também gera ganhos de escala<sup>10</sup> (FONSECA *et al.*, 2007).

A porcentagem de produção de açúcar e álcool começa a ser escolhida no momento da construção de uma planta industrial. Dentre as 306 unidades ativas no Brasil em 2012, existiam plantas industriais que somente produziam açúcar ou somente álcool e usinas com destilarias anexas (produzem um mix<sup>11</sup>).

Grande parte das empresas do setor são integradas verticalmente, agregando pelo menos o elo agrícola e industrial da cadeia de produção. Essa característica origina vantagens absolutas de custo, já que traz para a fase industrial ganhos da fase agrícola, como por exemplo, o baixo custo de produção (CAVES, 1992).

A distribuição espacial das usinas e destilarias é muito concentrada na Região Centro-Sul do país, sobretudo no estado de São Paulo, o que pode ser visto na Figura 1.

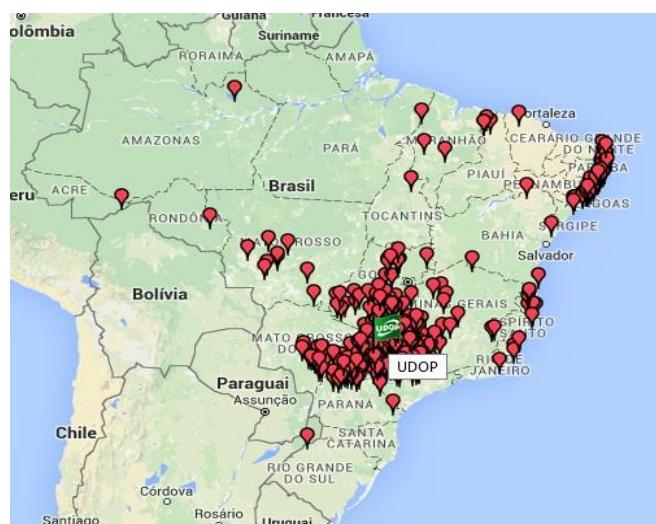


Figura 1 - Localização geográfica de usinas e destilarias  
Fonte: UDOP (2015)

<sup>9</sup> Foi definido no referencial teórico.

<sup>10</sup> Foi definido no referencial teórico.

<sup>11</sup> Segundo Fonseca *et al* (2015), a margem de decisão que firma possui sobre o mix é de cerca de 20%, ou seja, o máximo que se pode produzir de um dos bens é 60% e 40% do outro.

As usinas mais antigas estão instaladas na região Nordeste, mas foi no estado de São Paulo que a cana-de-açúcar encontrou as condições ideais para seu aprimoramento. A combinação de solo e clima favorável, investimentos em P&D e facilidade logística fizeram deste estado referência nacional. Mais recentemente, iniciou-se um movimento de expansão para as regiões de serrado do Sudeste e Centro-Oeste do país, o que foi necessário pela escassez de terras na região Tradicional,<sup>12</sup> e possível pelo pacote tecnológico que permitiu o redimensionamento da fronteira agrícola.

O Cepea/ESALQ utiliza, em suas análises, uma divisão dos estados produtores em regiões produtivas, que foram divididas de acordo com as suas características em comum, conforme é ilustrado pela Figura 2.

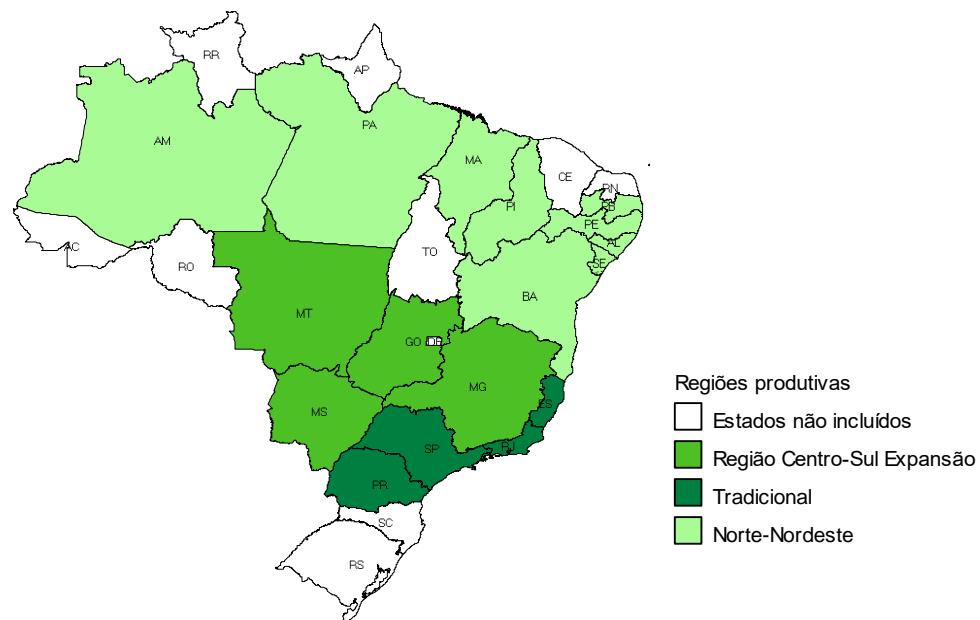


Figura 2 - Distribuição dos estados brasileiros em regiões produtivas  
Fonte: Cepea/ESALQ (2011)

É possível verificar-se que a região produtiva com mais estados é a Norte-Nordeste, que também corresponde à região com as usinas mais antigas, uma vez que, historicamente, a produção de açúcar teve início na região nordeste do país. A região Tradicional é composta pelos estados que tiveram um desenvolvimento do setor posterior ao Nordeste, entre eles São Paulo, o estado mais importante para o setor. Essa região é composta por empresas já maduras, terra propícia ao cultivo da cana-de-açúcar instituições de pesquisa voltadas para o aprimoramento da atividade. Já a região Centro-Sul Expansão contém as usinas mais novas,

---

<sup>12</sup> Região produtiva definida pelo Cepea/Esalq que engloba os estados de São Paulo e Paraná.

que foram instaladas nos últimos, detentoras das tecnologias mais recentes e de grandes capacidades de produção.

## **2.2 Sobre a produção de açúcar e álcool**

A produção do açúcar e do álcool inicia-se na fase agrícola, no plantio da cana-de-açúcar. É nesse momento que se escolhe a variedade da cana, a quantidade a ser plantada, o tipo de solo e as técnicas de adubação e calagem, o que vai determinar o montante e a qualidade da cana que será produzida. A estratégia adotada nessa fase impacta, assim, a produtividade agrícola e a eficiência do processo industrial, visto que tanto a quantidade quanto a qualidade da cana-de-açúcar influenciam no resultado da produção final.

Ainda na fase agrícola, a colheita também tem papel importante na qualidade da matéria-prima. Atualmente existem duas opções de colheita: a manual, muito tradicional, que depende da queima da palha da cana-de-açúcar, e a mecanizada, que vem sendo implementada à força por motivos de ordem ambiental. Durante muito tempo, os produtores resistiram à mecanização da colheita, primeiramente por questões relativas ao alto valor das máquinas e a baixa eficiência destas, cuja tecnologia ainda estava em desenvolvimento. No entanto, como a queima da palha é uma fonte de liberação de  $CO_2$ , foi criada uma legislação ambiental<sup>13</sup> tornando a mecanização obrigatória para aos produtores.

A colheita mecanizada tem suas desvantagens. Nyko *et al* (2013) dizem que a lavoura deve estar adaptada para a utilização da máquina, adaptação essa que inclui espaçamento de plantio e escolha de variedade adequada, caso contrário o corte da cana feito pela máquina reduz seu aproveitamento. Contudo, após o período de adequação da máquina à lavoura, a mecanização contribui fortemente para o aumento da produtividade agrícola e do trabalho.

Após a colheita, surge a questão do transporte da cana da lavoura até a usina, que também pode impactar na eficiência. Salgado Junior *et al* (2009) ressaltam que o tempo de transporte, assim como o tipo de cana, o momento da colheita, entre outros fatores, podem otimizar, ou não, o teor de sacarose aproveitado.

Ao chegar na unidade de produção, a cana é processada, iniciando a parte industrial do processo produtivo, exemplificado sucintamente pela Figura 3.

---

<sup>13</sup> O decreto federal nº2.661 de 8 de julho de 1998 determina a eliminação gradativa do emprego do fogo na colheita da cana-de-açúcar em território nacional. O estado de São Paulo, principal produtor, impôs um prazo para os empresários erradicarem a queima com a Lei Estadual nº 11.241/02, que determina que em 2018 toda a produção paulista deverá ser colhida por máquinas, excetuando regiões em que a declividade impede a utilização da colheitadeira.

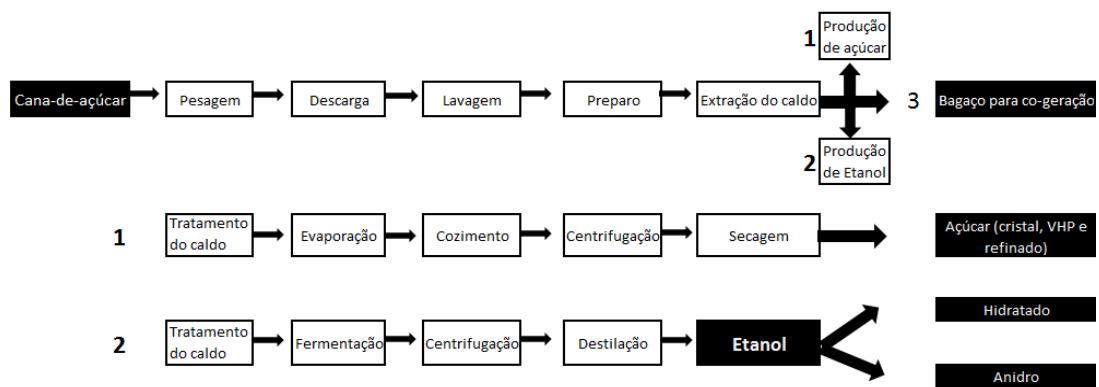


Figura 3 - Fluxograma da Produção de açúcar e álcool (etanol)Fonte:  
Adaptado de Lemos *et al* (2010).

As etapas de lavagem e preparo são muito importantes para a remoção das impurezas, que podem reduzir a qualidade do caldo. Entre as impurezas estão, por exemplo, os restos de folhas e da palha que posteriormente servirão para a cogeração de energia junto com o bagaço. A energia gerada é utilizada para abastecer a usina e seu excedente é comercializado com as concessionárias de energia elétrica, reduzindo custos e criando uma fonte alternativa de receita (FONSECA *et al*, 2007).

A Figura 3 apresenta algumas das etapas da fabricação do açúcar e do álcool, que dependem de processos distintos, iniciados logo após a extração do caldo. A partir desse momento as perdas que podem ocorrer são resultantes de problemas do processo industrial, pois na moagem acontece a extração dos açúcares da planta. Dessa forma, dentro da usina, é justamente o aprimoramento do maquinário, das leveduras responsáveis pela fermentação alcoólica, da mão-de-obra e da qualidade da cana, que vão determinar o total a ser produzido.

Existem diferentes tipos de açúcar e álcool que uma usina pode produzir. O açúcar cristal e refinado é utilizado para consumo humano, e o VHP possui uso industrial e na construção civil. Já o álcool pode ser produzido na forma anidro, aquele que é misturado na gasolina, e na forma hidratado, que pode ser comercializado como combustível e que também serve de insumo para indústria alcoolquímica (PEREIRA, 2012).

### 2.3 Composição da cana-de-açúcar e seu impacto na eficiência industrial

Segundo Oliveira (2012), a cana é formada entre 10% a 16% por fibras (celulose, pentosanas e lignina) e entre 84% a 90% pelo caldo. A fibra é utilizada para a geração de energia elétrica, e o caldo serve principalmente para a produção do açúcar e do álcool.

A Tabela 1 apresenta a composição química do caldo, que é formado na maior parte por água. Apesar dos açúcares não chegarem a 25% da composição, são eles os componentes mais

importantes para o processo de produção. Já os outros componentes são divididos entre sólidos solúveis, aminoácidos, potássio, sódio, etc.

Tabela 1 - Composição química do caldo da cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado de Oliveira (2012).

Composição do caldo	Percentuais
Água	75,0 - 82,0%
Açúcares	15,5 - 24,0%
Outros	20,2 - 30,0%

Quase que a totalidade dos açúcares é constituído por sacarose (entre 93% e 100%), mas podem existir pequenas porcentagens de glicose e frutose. Diante dessa composição, o que realmente interessa do ponto de vista da produção é quanto de açúcares redutores<sup>14</sup> o processo é capaz de extrair. Isto é medido através do ART (açúcares redutores totais), uma medida utilizada dentro da indústria, que corresponde à soma dos açúcares redutores resultantes da hidrólise da sacarose e dos açúcares redutores originais da cana (glicose e frutose) (OLIVEIRA, 2012). Segundo Fonseca *et al* (2007), o ART apresenta de forma indissociável os ganhos de eficiência da planta industrial e da fase agrícola, pois incorpora numa mesma medida os fatores que determinam a qualidade da cana (variedade genética, clima, solo, transporte) e a capacidade de conversão dentro da indústria. Outra medida muito utilizada, principalmente para a comercialização da cana é o ATR (açúcar total recuperável), que corresponde ao ART menos um coeficiente de perda industrial de 8,5% (OLIVEIRA, 2012).

Do ponto de vista industrial, é interessante maximizar-se a quantidade de ART gerado, dependendo tanto da qualidade da matéria-prima quanto da logística entre a fazenda e a usina e da redução das perdas industriais

## 2.4 A safra 2011/12

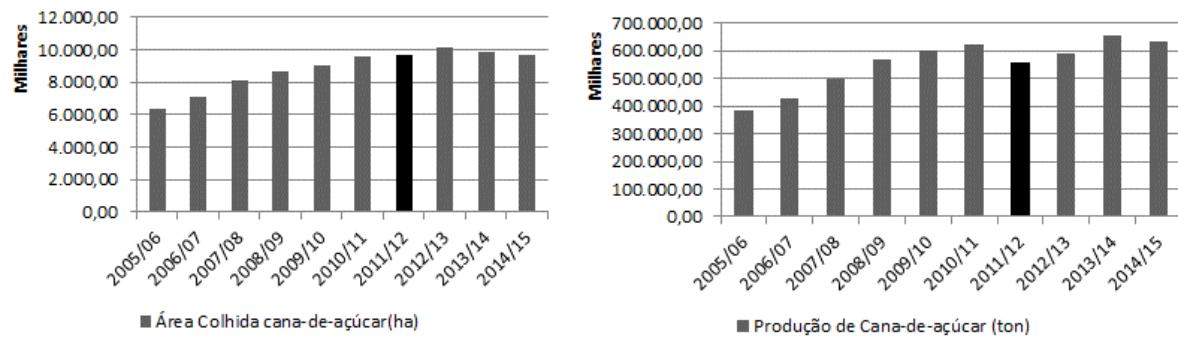
O setor sucroenergético teve resultados positivos nas safras anteriores à 2011/12, no que diz respeito à sua fase agrícola, com aumentos significativos no plantio e na produção de cana. Na safra 2007/08, a área colhida e a produção de cana aumentaram 15% e 16% respectivamente. Contudo, os resultados da safra 2011/12 foram prejudicados pelas adversidades climáticas que se iniciaram ainda em 2010, com severo período de estiagem seguido de chuvas prolongadas (CEPEA/ESALQ, 2011). Esses eventos acabaram prejudicando a produção de cana-de-açúcar que teve uma queda de 10% na safra 2011/12, mesmo com o aumento de 1% nos hectares de área colhidos, conforme pode ser observado nos Gráficos 1 e 2. Nos anos seguintes, nota-se

---

<sup>14</sup> São os açúcares monossacarídios da cana.

uma recuperação da produção, que chega a crescer 11% em 2013/14, mas que volta a cair na safra seguinte.

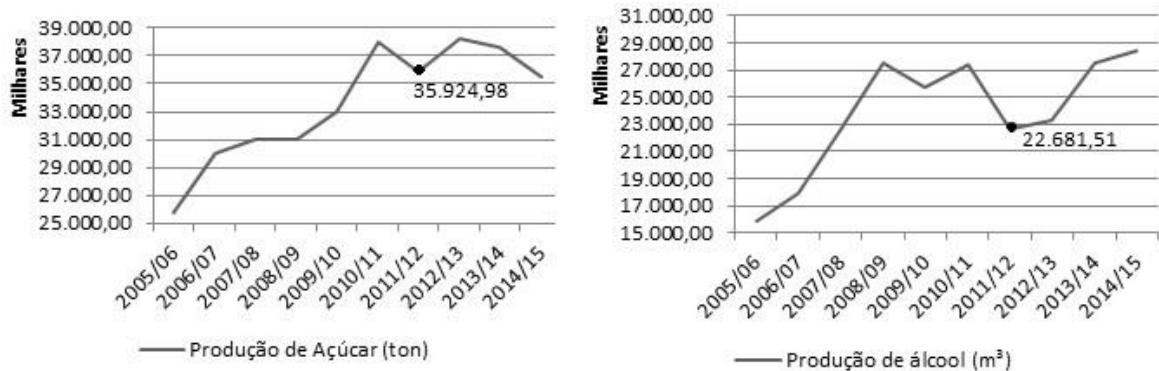
Gráficos 1 e 2 - Evolução da área colhida de cana-de-açúcar e do total de cana produzido (2005/06 - 2014/15)



Fonte: Unicodata (2016).

Segundo o CEPEA/ESALQ (2011), um outro motivo para a queda na produção de cana-de-açúcar na safra 2011/12 está no envelhecimento dos canaviais por falta de investimentos. Isso impacta diretamente na qualidade da cana-de-açúcar, que passa a ter níveis de ART diminuídos, gerando por sua vez reduções nas produções de açúcar e álcool, conforme o ilustrado pelos Gráficos 3 e 4. A queda na produção de álcool chegou a 17%, enquanto a produção de açúcar diminuiu 5% na safra 2011/12.

Gráficos 3 e 4 - Evolução da produção de açúcar e álcool (2005/06 - 2014/15)

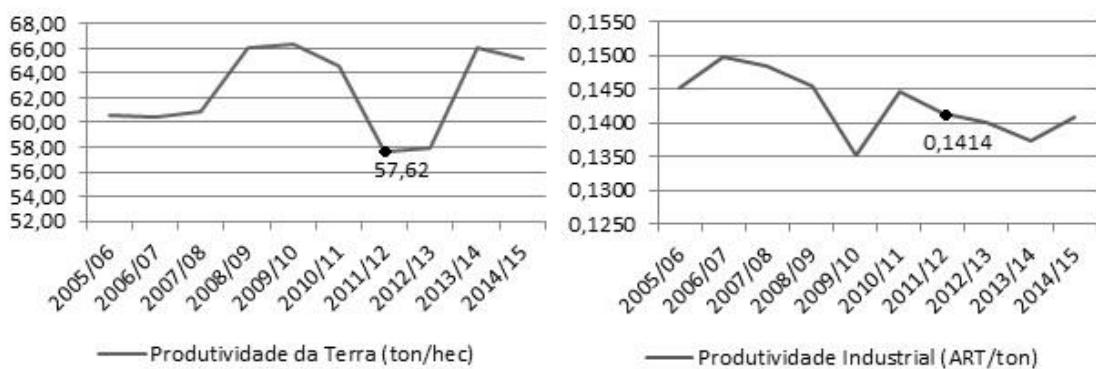


Fonte: Unicodata (2016).

As quedas nas produções de cana-de-açúcar, açúcar e álcool geraram reduções nas produtividades individuais da terra e industrial, como é exposto pelos Gráficos 5 e 6. No caso da produtividade da terra, a safra 2011/12 representou o ponto de menor produtividade dos últimos dez anos, já no caso da produtividade industrial, definida como a quantidade de ART extraída pelas usinas por tonelada de cana, a safra 2011/12 foi a quinta pior dos últimos dez

anos, sendo que nas safras seguintes o valor continua a cair, evidenciando uma deterioração da capacidade de conversão dos açúcares redutores totais no açúcar e no álcool.

Gráficos 5 e 6 - Evolução das produtividades físicas da terra (t/ha) e industrial (ART/t) (2005/06 - 2014/15)



Fonte: Calculado pelo Infosucro com base nos dados da Única.

Num cenário em que as condições climáticas e a idade dos canaviais não favorecem a produtividade da fase agrícola, a capacidade das usinas de converter os insumos em produtos torna-se ainda mais importante, para a manutenção do setor e abastecimento do país. Sendo assim, o estudo da eficiência das usinas sucroenergéticas na safra 2011/12 se justifica por esta ser a safra em que ocorreu a maior queda de produção de cana-de-açúcar, provocando diminuição de sua oferta, momento em as usinas devem reduzir ao máximo suas ineficiências técnicas.

## 2.5 A importância da adoção de novas tecnologias para o setor sucroenergético

O surgimento de novas tecnologias é causa e consequência do desenvolvimento econômico e social de um país. Pavitt (1984) ressalta que países desenvolvidos dominam a competição em setores onde a produção, a adoção e a difusão de inovações é frequente. A explicação para este fenômeno está na formação, alcançada por países desenvolvidos, de uma ampla rede de investimentos em P&D, compartilhamento de conhecimento e cooperação público-privada.

Essa ideia também se aplica setorialmente, já que os setores que mais inovam costumam ser justamente os mais competitivos. A agricultura brasileira é um exemplo, com seus grandes avanços tecnológicos, que tornam o Brasil líder na produção mundial de *commodities* e bens agrícolas. O mesmo ocorre com o sistema sucroenergético que, segundo Fonseca *et al* (2007), conseguiu montar, a partir da segunda metade do século passado, um complexo de pesquisa e

desenvolvimento, onde se articulam instituições públicas e privadas, ou seja, um sistema de inovações setorial essencialmente brasileiro.

As inovações que surgem no setor são incrementais,<sup>15</sup> característica de uma indústria dominada por fornecedores, conforme a taxonomia de Pavitt (1984). Confirmando isso, Abarca (1999) mostrou que grande parte das inovações da agroindústria sucroenergética vieram de outros setores produtivos. O que também é afirmado por Nyko *et al* (2013), visto que as usinas dependem de seus fornecedores e parceiros para dar saltos tecnológicos. Dessa forma, as inovações que surgem não ocorrem dentro da firma, sendo apenas incorporadas caso seja do interesse do empresário.

Para o setor sucroenergético, as principais inovações surgem visando o melhoramento genético de cultivares, a automação industrial, a mecanização agrícola e o desenvolvimento da biotecnologia (FONSECA *et al*, 2007). Mesmo que essas inovações sejam criadas e disponibilizadas comercialmente para todas as usinas, sua adoção depende do acréscimo de eficiência e rentabilidade que ela poderá gerar e da capacidade financeira da usina em adquiri-la. Os itens 2.5.1 e 2.5.2 descrevem como as variedades e as novas tecnologias surgem e são incorporadas pelas empresas do setor.

### **2.5.1 Variedades genéticas de cana-de-açúcar**

A lei nº 9.456/1997 instituiu e regulamentou a proteção aos novos cultivares no Brasil, dando às empresas, órgãos, instituições de pesquisa e Universidades os incentivos legais para a produção de novas variedades agrícolas. Tal incentivo foi bem aproveitado pelos organismos ligados ao setor sucroenergético, fortalecendo a rede de pesquisa que vinha sendo criada desde o período do Proálcool e que funcionaria como um sistema setorial de inovação.

O desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar começou a ser feito na década de 1980 no Brasil, e desde então, mais de 500 novos cultivares surgiram. Atualmente, essa pesquisa e comercialização é realizada principalmente por três instituições, o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), e pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do setor sucroenergético (Ridesa) (CHAGAS, 2011).

Existe uma constante busca por novos cultivares que sejam mais produtivos e com maiores taxas de conversão energética. São feitos aprimoramentos para tornar a cana MAIS resistente à falta de água e a pragas; melhor adaptadas à diferentes solos e climas; e mais precoce, reduzindo o tempo de maturação (FONSECA *et al*, 2007).

---

<sup>15</sup> É a inovação que incorpora melhoramentos a processos já preexistentes, não gerando mudança de trajetória tecnológica (SCHUMPETER, 1939).

Os ganhos de produtividade e eficiência das novas variedades vão além da fase agrícola, afetando também a fase industrial. Um dos principais objetivos das novas variedades é justamente aumentar o percentual de açúcares da cana, afetando a quantidade de Açúcares Redutores Totais (ART<sup>16</sup>) que será extraída na usina. Entretanto, vale lembrar que não basta que sejam criadas novas variedades, é necessário que estas sejam adotadas na fase agrícola. Nyko *et al* (2013) sugerem que apesar da constante criação de novas variedades, mais resistentes e produtivas e que estão disponíveis comercialmente, a sua adoção não estaria acontecendo, sendo este um dos motivos da crise produtiva. Inclusive, as duas variedades mais utilizadas, a RB867515 e a SP813250, que em 2012 representavam 40% da cana-de-açúcar plantada no país, foram lançadas respectivamente à 18 e 21 anos atrás.

#### **2.5.2 Novas tecnologias industriais**

Além de novas variedades, os órgãos que formam o sistema de inovação do setor sucroenergético também tentam aprimorar os processos que ocorrem dentro das refinarias. O empenho é direcionado para a redução das etapas do processo, aumento da capacidade de extração dos açúcares redutores e a diminuição de perdas e de custos.

Muitas são as opções para cada tipo de usina. Entre elas estão: automação industrial, interligando as diferentes etapas produtivas; engrenagens industriais, que reduzem as perdas de energia; torres de destilação extractiva, que diminuem o consumo de energia; difusores, que aumentam a capacidade de extração de ART de 96,5% para 98,5%; novos tipos de leveduras, atenuando o tempo de fermentação, além de muitas outras (FONSECA *et al*, 2007).

Assim como ocorre com os cultivares, o custo decorrente da adoção dessas novas tecnologias industriais é alto, dependendo de investimentos por parte das empresas. Com isso, mesmo sabendo dos ganhos de produtividade e eficiência que a adoção dessas tecnologias poderia gerar, elas muitas vezes não são adquiridas. Isso não só prejudica a competitividade dessas firmas, mas também coloca em risco o futuro das pesquisas e do próprio sistema de pesquisa do setor.

#### **2.6 A utilização do modelo DEA no setor sucroenergético**

Os estudos que utilizam DEA como sua principal metodologia para estudar eficiência do setor sucroenergético se dividem em dois grupos, os que estudam eficiência agrícola e os que estudam eficiência industrial. Entre os que estudam a eficiência agrícola estão Mahadevan (2008), Torquato *et al* (2009) e Oliveira *et al* (2014). Já os que se propõe a analisar a eficiência

---

<sup>16</sup> Corresponde à soma dos açúcares redutores resultantes da hidrólise da sacarose e dos açúcares redutores originais da cana (glicose e frutose) (OLIVEIRA, 2012).

de usina sucroenergéticas são Cano e Tupy (2005), Macedo *et al* (2010), Junior *et al* (2011), Júnior *et al* (2012), Pereira (2012) e Carlucci (2012).

Mahadevan (2008) estudou a eficiência de 677 fazenda de cana-de-açúcar em Fiji, através de um modelo de fronteira de eficiência estocástica e cinco modelos DEA. Os dados foram obtidos através de questionários aplicados na região oeste de Viti Levu. Todos os modelos DEA tinham orientação produto, mas as variáveis, apresentadas de forma resumida pela Tabela 2, eram alternadas com o intuito de verificar os diferentes resultados. Após a estimativa da fronteira de eficiência pelo primeiro modelo e das eficiências pelo modelo DEA, verificou-se que a erosão dos solos tem maior potencial para reduzir a produção e a eficiência. Já o tamanho das propriedades apareceu como o fator com maior impacto positivo para aumento de produto, sendo que o aumento de 1% na área cultivada gera um aumento de 0,58% na produção.

O uso do modelo DEA permitiu que Torquato *et al* (2009) avaliassem a eficiência econômica de 31 regionais produtoras de cana do estado de São Paulo. Os dados foram disponibilizados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) e referem-se aos anos de 2006 e 2007. Inicialmente, estimou-se três modelos com a amostra completa, dois separando 2006 e 2007, e um para os dois anos somados. Em seguida, foi feita uma separação na amostra entre regiões tradicionais (14) e de expansão (17) e calculou-se a eficiência dos dois grupos. A regional Dracena que possui as lavouras mais novas e onde o preço da terra é menor foi a mais eficiente, o que indicaria que o valor de arrendamento das terras é uma variável importante para a eficiência.

Já o trabalho de Oliveira *et al* (2014) buscou analisar a eficiência produtiva de vinte fazendas produtoras de cana-de-açúcar, localizadas no noroeste de Minas Gerais. O modelo de Banker, Charnes e Cooper (BCC) com orientação insumo foi o escolhido e utilizou-se a média dos valores obtidos no Sebrae/MG e através de visitas técnicas para as safras entre 2006 e 2010. Como resultado, verificou-se que apenas 25% das fazendas foram consideradas eficientes e entre as ineficientes seria possível diminuir custos em cerca de 12%, apenas adotando medidas que aumentem a vida útil do canavial e preservem os recursos naturais, maximizando a eficiência da terra.

A Tabela 2 traz um resumo dos trabalhos mencionados, cujo objetivo geral foi analisar a eficiência de propriedades produtoras de cana-de-açúcar. Estes artigos pretendiam estudar as questões relativas à faceta agrícola do setor sucroenergético.

Tabela 2 - Estudos que avaliam a eficiência de propriedades agrícolas produtoras de cana-de-açúcar

Autor(es)	Amostra	Metodologia	Insumos	Produtos
Mahadevan (2008)	677 fazendas de cana localizadas em Fiji em 2007	Fronteira de eficiência estocástica - DEA	Área total por fazenda (acres); Total de horas trabalhadas (nº); Total de horas trabalhadas por bois (nº); Horas de trabalho com trator (nº); Quantidade de fertilizante aplicado (Kg); Quantidade de herbicida aplicado (Kg); Erosão do solo (dummie); Outras taxas (Dolar de Fiji)	Total cana colhida (t)
Torquato <i>et al</i> (2009)	31 regionais produtoras de cana do estado de SP nas safras 2006/07 e 2007/08	DEA	Custo de produção (R\$); Custo de arrendamento das terras (R\$)	Valor da produção (R\$)
Oliveira <i>et al</i> (2014)	20 fazendas produtoras de cana, localizadas no noroeste de MG nas safras entre 2006 e 2010	DEA	Custo de insumos e matéria-prima (R\$/ha); Custo com serviços e outros (R\$/ha)	Valor da produção (R\$)

Fonte: Elaborado pela autora.

Com o intuito de estudar a fase industrial da produção de açúcar e álcool, Cano e Tupy (2005) foram os primeiros a utilizar a metodologia DEA. O foco era fazer uma avaliação da eficiência produtiva da agroindústria canavieira paulista num contexto pós-desregulamentação do setor, e assim contribuir com informações estratégicas, táticas e operacionais das empresas do setor. Os dados de 63 usinas foram retirados do Anuário da Cana 2002, referente à safra 2001/02 e utilizou-se um modelo desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR). Verificou-se que existia um alto grau de heterogeneidade entre as plantas industriais, sendo que maiores fontes de ineficiência seriam a capacidade instalada e mão-de-obra.

Macedo *et al* (2010) também utilizaram a metodologia DEA, mas para avaliar a capacidade de cada usina em converter capacidade de investimento em benefícios socioambientais. Foram utilizadas as informações divulgadas nos balanços sociais de empresas brasileiras, nos anos 2004, 2005 e 2006 em um modelo CCR produto orientado. A principal conclusão dos autores foi que as maiores usinas possuem desempenho socioambiental superior.

Numa perspectiva diferenciada, Junior *et al* (2011) buscaram discutir a relação entre tamanho e eficiência operacional de usinas do noroeste paulista, através de um modelo DEA

BCC insumo orientado. Sua diferença em relação aos demais ocorreu na escolha das variáveis<sup>17</sup>, cuja descrição é feita pela Tabela 3, já que entre os insumos estavam dados referentes à fase agrícola como, por exemplo, área plantada, enquanto os produtos considerados eram da fase industrial (açúcar e álcool). Dessa forma, os autores consideram a combinação fazenda e indústria como uma única unidade de produção. Os dados foram obtidos por meio de questionários enviados a 54 usinas paulistas, resultando na seleção de 26 usinas estatisticamente representativas. Ao final da pesquisa, contudo, não foi possível verificar uma relação direta entre eficiência e tamanho das usinas.

Já Júnior *et al* (2012) se propuseram a determinar o grau de eficiência técnica e produtiva das usinas do interior de São Paulo, mas com uma análise concomitante do desempenho econômico e financeiro na safra 2008/09. O banco de dados foi composto através de relatórios de administração, de pareceres de auditoria, da Única, do IBGE e do MAPA e adotou-se tanto o modelo desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) (BCC) quanto o modelo de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) (CCR), ambos com orientação ao insumo. Os resultados mostraram que apenas quatro usinas eram eficientes, e que, entre elas, duas apresentavam problemas de escala, enquanto que, entre as ineficientes, quatro também têm problemas de escala e sete possuem problemas de ineficiência técnica, desperdiçando insumos.

Pereira (2012), em sua dissertação “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), utilizou um modelo DEA Malmquist (BCC, insumo orientado), capaz de calcular a Produtividade Total dos Fatores (PTF), para explorar os determinantes da eficiência produtiva e o padrão de inovação de 15 usinas localizadas na região Centro-Sul do Brasil. Foram utilizados dados das safras entre 2001 e 2008, coletados através de serviço de consultoria prestado às usinas. Além da utilização de um modelo diferenciado, o trabalho também se destaca por introduzir a ideia de Nível de ART, padronizando as medidas de açúcar e álcool e evidenciando a importância da quantidade de sacarose da cana-de-açúcar para o produto final. Os resultados obtidos mostram que o ambiente é heterogêneo, onde empresas tecnologicamente avançadas e atrasadas coexistem, mas as que obtiveram ganhos de produtividade são aquelas que fizeram *catching-up* tecnológico<sup>18</sup>, seguindo as boas práticas. Outro resultado relevante foi a constatação de que as usinas se comportam como *followers*, ou seja, não criam inovações radicais, apenas adotam tecnologias já testadas no mercado e cuja eficiência já foi comprovada.

---

<sup>17</sup> Foi feita pelo método Stepwise, exaustivo e completo.

<sup>18</sup> Produtos e práticas que estão na fronteira tecnológica.

No que diz respeito ao estudo dos determinantes da eficiência, este foi feito de forma descritiva, e não foi possível encontrar relação entre as variáveis de tamanho, idade e nível de ART da usina, porém percebeu-se que as usinas com maior tempo de consultoria e que possuem boa capacidade de alternar seu mix de produção tiveram um melhor *catch-up*.

A dissertação de Carlucci (2012), “Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para a avaliação do impacto tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil”, também teve como objetivo explorar os determinantes da eficiência técnica de usinas, mais especificamente tentou-se verificar o impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência de 355 usinas de 16 estados brasileiros. Foram combinados dois modelos, o primeiro um modelo BCC com orientação do produto, o segundo um modelo de Múltiplos Casos, visando um estudo mais qualitativo. Os dados do anuário da cana na safra 2008/09 foram utilizados no primeiro modelo, e para o segundo foram feitas entrevistas com especialistas e pesquisadores do setor, visando aprofundar os resultados quantitativos do primeiro modelo. Os resultados mostraram que a variável localização é relevante para a eficiência, já que entre as usinas eficientes, a maioria está localizada no estado de São Paulo, logo o solo e o clima contribuem para a produção de uma cana-de-açúcar com um nível mais elevado de sacarose, que por sua vez impacta na eficiência da usina. Apesar de não se ter encontrado relações diretas entre eficiência e tamanho da usina, percebeu-se que usinas grandes recebem maiores incentivos para investir em tecnologias capazes de tornar o processo produtivo mais eficiente.

A Tabela 3 mostra um resumo dos trabalhos que utilizaram a metodologia DEA para analisar a eficiência técnica de usinas, principalmente em relação à fase industrial. A partir dela e da Tabela 2 é possível verificar que diversos trabalhos utilizaram Análise Envoltória de Dados para estudar a eficiência agrícola e industrial dentro do setor sucroenergético, e buscaram explorar os seus determinantes. Contudo, nenhum trabalho tentou utilizar a combinação entre um modelo não-paramétrico (DEA) e um modelo paramétrico (tobit), metodologia amplamente difundidas e que costumam ser utilizadas com intuito de explorar os determinantes da eficiência. Também não foram encontrados trabalhos que buscassem avaliar o impacto da ineficiência das usinas brasileiras sobre os indicadores econômicos brasileiros de ordem macroeconômica.

**Tabela 3 - Estudos que avaliam a eficiência de usinas produtoras de açúcar e de álcool**

Autor(es)	Amostra	Metodologia	Insumos	Produtos
-----------	---------	-------------	---------	----------

Cano e Tupy (2005)	63 usinas do estado de SP na safra 2001/2002	DEA	Total de cana moída (t); Mão-de-obra administrativa e industrial (nº)	Total de açúcar (t); Total álcool (m³)
Macedo <i>et al</i> (2010)	19 usinas brasileiras nas safras 2005/06, 2006/07 e 2007/08	DEA	Receita líquida (R\$);	Indicador social externo (Valor); Indicador social interno (Valor);
Junior <i>et al</i> (2011)	26 usinas localizadas no nordeste de SP	DEA	Área Plantada (ha); Mão-de-obra agroindustrial (nº); Mão-de-obra agrícola (nº); Consumo de fertilizante (t); Total de cana moída (t)	Produção de açúcar (sacas); Produção de álcool (l)
Júnior <i>et al</i> (2012)	17 usinas do estado de SP na safra 2008/09	DEA	Custo dos insumos de produção (R\$); Imobilizado (R\$); Custo da mão-de-obra (R\$)	Faturamento (R\$)
Pereira (2012)	17 usinas da região Centro-Sul nas safras entre 2001 e 2008	DEA-Malmquist	Total de cana moída (t); Mão-de-obra industrial (nº)	Volume de produção açúcar e álcool
Carlucci (2012)	355 usinas brasileiras na safra 2008/09	DEA-Múltiplos fluxos	Total de cana moída (t)	Total de açúcar (t); Total álcool (m³)

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Funções de produção e de custo

De acordo com a teoria neoclássica, a firma é uma unidade de transformação tecnológica. Segundo Nicholson (2011), a principal atividade de uma firma é transformar

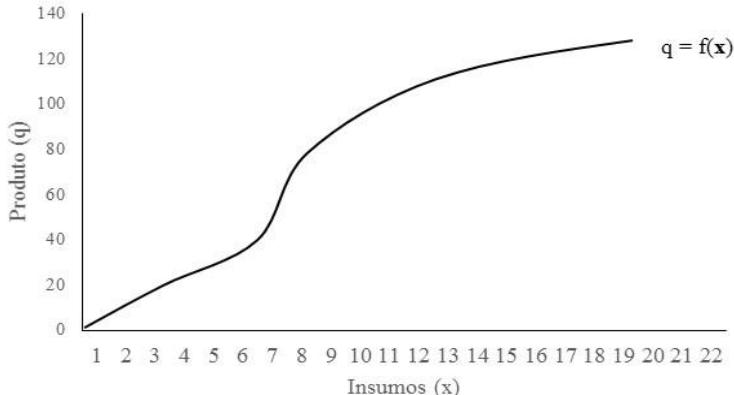
insumos em produtos, maximizando lucros<sup>19</sup> de seus proprietários, o que implica na maximização da produção e na minimização dos custos. A teoria da Produção (ou do produtor), uma parte relevante da microeconomia, foi criada para estudar a forma como esses fenômenos acontecem e suas particularidades. Como se trata de um processo extremamente complexo, normalmente envolvendo diversos insumos, produtos e agentes, são feitas simplificações e abstrações.

A função de produção é uma representação simplificada das diversas combinações de insumos capazes de gerar a máxima quantidade de produto possível, sendo estas opções factíveis para a tecnologia que a firma possui:

$$q = f(\mathbf{x}) \quad (1)$$

em que  $q$  é o produto e  $\mathbf{x}$  é um vetor de insumos (COELLI *et al*, 2005). A representação gráfica da função de produção é feita pelo Gráfico 7.

Gráfico 7 - Função de Produção



Fonte: Adaptado de Ferreira e Gomes (2009).

A partir da função de produção é possível verificar sob qual tipo de retorno à escala a firma opera. Se, ao aumentar os insumos, a produção aumentar na mesma proporção, o retorno à escala é constante. Se aumentando os insumos, a produção aumentar menos, ou mais que a produção, os retornos à escala serão respectivamente decrescentes e crescentes (VARIAN, 1992).

Uma vez definida a função de produção da firma, a função de custo é uma representação das combinações possíveis de insumos para variações na produção ( $q$ ). Ela associa a cada valor de  $q$  um custo total (CT) para sua produção:

$$CT = c(w_1, w_2, q) \quad (2)$$

---

<sup>19</sup> Lucro = receita – custos, logo o processo de maximização de lucro envolve maximização da receita e minimização dos custos.

em que  $w_1$  e  $w_2$  são os preços dos insumos 1 e 2 (no caso em que existem dois insumos).

O custo total é formado pela soma do custo variável (CV) e do custo fixo (CF). O custo variável corresponde à parcela de fatores de produção variáveis, enquanto que o custo fixo se refere aos fatores fixos. Ainda é importante ter em mente a ideia de curto e longo prazo. No curto prazo, alguns dos fatores são fixos e outros variáveis. Já no longo prazo, todos os fatores de produção podem variar (COELLI *et al*, 2005).

As firmas deverão operar em pontos da função de produção, onde é possível se obter o máximo produto possível, sujeito a uma combinação de insumos que minimize os custos. O conjunto de insumos que maximiza a produção e minimiza o custo também maximiza o lucro, o que é conhecido como o problema da dualidade (SANTOS *et al*, 2009a).

### **3.2 Conceitos de eficiência e produtividade**

Muitas vezes, os conceitos de produtividade e eficiência são utilizados como sinônimos erroneamente. A produtividade pretende medir de que forma os insumos foram utilizados para gerar um produto por uma unidade de produção, por isso, é calculado pela proporção entre total produzido por unidade de insumo utilizado:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produção}}{\text{Insumo}} \quad (3)$$

Ou seja, é uma medida calculada quando se deseja verificar a relação existente entre apenas um insumo e um produto (FERREIRA e GOMES, 2009).

No caso de múltiplos insumos e produtos, e com a disponibilidade de dados temporais, é possível calcular a Produtividade Total do Fatores (PTF), que possui dois componentes. O primeiro pode ser chamado de índice de mudança tecnológica, que é resultado do deslocamento da fronteira de produção, consequência do progresso tecnológico. Já o segundo capta a variação na produção que é resultado da variação na eficiência produtiva.

Abramovitz (1956) e Solow (1957) foram os primeiros a tentar relacionar e quantificar a contribuição do progresso tecnológico para o aumento da produção. Antes deles a teoria econômica indicava que o aumento do produto dependeria de um aumento proporcional dos fatores de produção. Abramovitz (1956) demonstrou que o PIB americano entre 1870 e 1953 quadriplicou, enquanto os fatores de produção, capital e trabalho tinham apenas triplicado, o que seria resultado do progresso tecnológico. Solow (1957) sugere uma forma de mensurar os efeitos do progresso tecnológico através da decomposição da função de produção agregada. A partir deste, Solow foi capaz de verificar, através de um exercício econometrônico para a economia americana, que a parte da variação na produção, não explicada pela variação nos

fatores de produção seria resultado da variação no progresso técnico, apelidado de “resíduo de Solow”. Ele foi capaz de demonstrar que a taxa de crescimento de progresso técnico pode ser medida pela intensidade do deslocamento da função de produção agregada.

A eficiência produtiva, por sua vez, é um conceito estático e comparativo, por captar a variação na produção resultante de uma possível recombinação dos fatores de produção. Tupy e Yamaguchi (1998) definem a eficiência de uma unidade produtiva, como uma comparação entre valores observados e valores ótimos de insumos e produtos. A eficiência pode ainda ser calculada separadamente da produtividade, quando se tem duas ou mais unidades de produção, tornando possível a comparação dessas unidades, no que diz respeito a utilização dos insumos e geração de produtos. Desse modo, a eficiência mede a capacidade da planta em produzir o máximo possível de *output* dado um determinado nível de *input* (FARRELL, 1957).

A eficiência produtiva, por sua vez, possui dois elementos, um puramente técnico, que mede a habilidade da empresa de evitar perdas de insumo e produtos; e um alocativo, que Farrell (1957) definiu como a habilidade da firma em usar os insumos em proporções ótimas, com mínimo custo, desde que estivessem definidos a sua função e produção e os preços dos insumos. E a partir da combinação de eficiência alocativa e técnica, a firma seria capaz de atingir a eficiência econômica (TUPY e YAMAGUCHI, 1998).

Ainda é possível analisar a eficiência de escala, capaz de classificar se a firma opera sob retornos crescentes, constantes ou decrescentes. Souza *et al* (2011) dizem que a partir da análise da eficiência de escala é possível medir o nível ótimo de operação das plantas produtivas, o que permite o ajustamento das unidades produtivas, para que estas operem numa escala eficiente.

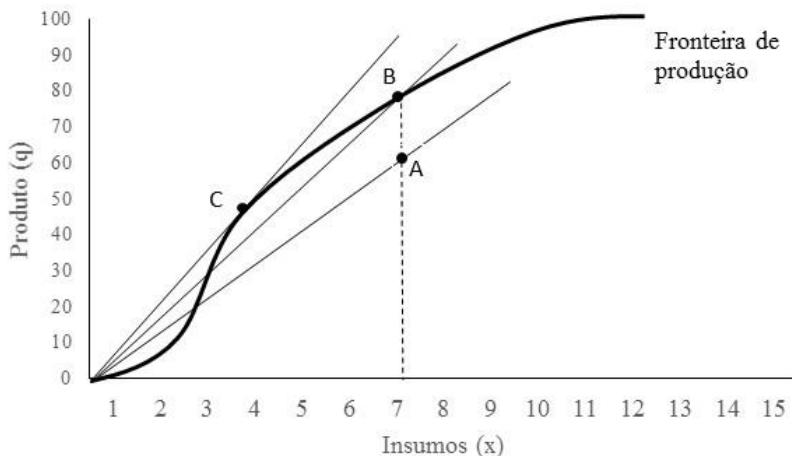
Com isso, é possível afirmar que o cálculo da eficiência produtiva pretende comparar as formas de produção de diferentes empresas, apontando as melhores práticas e o caminho para as empresas ineficientes chegarem ao ponto ótimo pela recombinação dos fatores de produção, avaliando um momento especificamente. Já o cálculo da produtividade pode ser pontual, avaliando o desempenho de uma empresa em relação a um insumo e um produto, ou, no caso de múltiplos insumos e produtos, é possível calcular a PTF que capta a variação na produção resultante da própria eficiência produtiva e a variação que é produto do progresso técnico, permitindo assim uma análise dinâmica.

### **3.3 A fronteira de produção**

A análise de envoltória de Dados (DEA), também conhecida como teoria da fronteira, é fundamentada por modelos matemáticos não paramétricos<sup>20</sup> que permitem a construção de relações entre as variáveis de *input* e *output*, de várias firmas semelhantes. Uma vez delineado o *ranking* de eficiência desse universo, as plantas eficientes são identificadas e através delas é estabelecida a fronteira de produção (FERREIRA e GOMES, 2009).

A fronteira de produção é a representação do máximo de produto que pode ser fabricado por cada nível de insumo numa indústria (COELLI *et al*, 2005). Conforme demonstrado pelo Gráfico 8, as empresas que se encontram abaixo da fronteira de produção são consideradas tecnicamente ineficientes, enquanto as que estão sobre a fronteira são tecnicamente eficientes.

Gráfico 8 - Fronteira de produção



Fonte: Adaptado de Coelli *et al* (2005).

Os pontos B e C representam firmas eficientes, enquanto o A é uma firma ineficiente. Toda a região abaixo da fronteira de produção e acima do eixo dos insumos representa o conjunto de produção factível. Analisando a relação de A e B, é possível verificar que ambos utilizam a mesma quantidade de insumo, mas B produz uma quantidade de produto maior que A. Do ponto de vista produtivo, A deverá “seguir” B de tal forma a fazer a melhor utilização dos insumos possível.

Apesar de B e C serem eficientes, C tem produtividade média maior que B. Mas B pode chegar à produtividade de C através da exploração de economias de escala (COELLI *et al*, 2005).

### 3.4 Economia de escala e de escopo

<sup>20</sup> Modelos matemáticos não-paramétricos são caracterizados por: i) Não utilizar inferências estatísticas; ii) Não se apegar a medidas de tendência central; iii) não fazer testes de coeficientes, nem análises de regressão; entre outros (FERREIRA e GOMES, 2009).

Economia de escala, por definição, consiste na queda do custo médio, a longo prazo, resultante da expansão da escala de produção ou de vendas. Essa situação acontece quando a quantidade de insumo por unidade de produto é reduzida, ou seja, quando acontece um aumento da produtividade. Isso pode ser gerado pela especialização do trabalho, pelo crescimento de uma planta de produção, pela automatização do processo produtivo, pela adoção de uma inovação, entre outros (KOUTSOYANNIS, 1979).

O conceito de economia de escopo, desenvolvido por Baumol *et al* (1982), se baseia no fato de uma firma conseguir produzir um conjunto de produtos a um custo menor do que se eles fossem produzidos em empresas diferentes. Entre os fatores capazes de gerar economias de escopo estão o uso de apenas um fator para a produção de múltiplos produtos, a recombinação de recursos não utilizados para fabricar novos artigos, o compartilhamento de conhecimento e informação para a produção ou comercialização de itens relacionados, entre outros.

### **3.5 As relações intersetoriais na economia**

O estudo das relações entre os setores econômicos tem origem nos autores clássicos, nos primórdios da matriz insumo-produto, com Quesnay (1758) e Walras (1874), que desenvolveram as primeiras ideias sobre o assunto. No entanto, foi Leontief (1936) que propôs o primeiro sistema de equações insumo-produto, baseado na economia americana, a partir de uma simplificação do modelo de equilíbrio geral proposto por Walras (1874) (RICHARDSON, 1978).

Leontief (1987) afirma que a análise insumo-produto é baseada na interdependência dos setores produtivos e no fluxo circular da renda, o que é passível de observação. Com isso, a construção de um modelo empiricamente implementável e que descreve de forma pouco complexa a economia de um país ou região passa a ser possível.

Segundo Richardson (1978), a matriz insumo-produto descreve a relação entre as indústrias e setores e entre os insumos e produtos, assim, ela é um método que permite a mensuração do impacto de perturbações exógenas sobre os indicadores econômicos. A sua estrutura divide a economia em setores produtivos e contabiliza as transações ocorridas entre eles, formando uma matriz de transações interindustriais. Tal característica torna a matriz insumo-produto uma representação do fluxo circular da economia, que por conter transações intermediárias é mais amplo que o fluxo circular da renda (FINAMORE e MONTOYA, 2013).

Esse instrumental é de grande valor para o entendimento sobre o funcionamento da dinâmica econômica de uma país ou de uma região, sendo uma representação dos fluxos econômicos. A construção dessas matrizes, e as simulações de variações exógenas dentro delas,

auxiliam na elaboração de políticas públicas para o estímulo da economia, com a identificação de setores-chaves de acordo com o objetivo dos gestores (FACHINELLO e KROTH, 2012).

#### **4. METODOLOGIA**

A estratégia metodológica deste trabalho foi delineada com o intuito de atender os objetivos específicos explicitados na sua introdução. Em um primeiro momento utiliza-se a análise envoltória de dados, metodologia descrita no tópico 4.1, para calcular os *scores* de eficiência das usinas, o que torna possível a divisão dessas entre eficientes e ineficientes e uma análise sobre suas características, satisfazendo o objetivo I. De forma adicional, essa

metodologia revela quais são as usinas que mais aparecem como *benchmarks* das unidades ineficientes, possibilitando uma análise mais específica dessas unidades que servem como referência para as demais, conforme o pretendido pelo objetivo III.

Em seguida, a definição dos fatores que impactam na eficiência das usinas, objetivo II, torna-se possível a partir da utilização do modelo de dois estágios, sugerido por Simar e Wilson (2007), que combina os resultados da análise envoltória de dados e o modelo de Regressão truncada com *bootstrap*, sendo este último especificado pelo tópico 4.2.

O tópico 4.3 apresenta a metodologia para detecção de *outliers* na amostra, aplicada com o intuito de garantir a confiança dos *scores* de eficiência, como forma de tratamento dos dados, afim de garantir que os resultados sejam robustos.

O modelo de análise de envoltória de dados também projeta as usinas ineficientes na fronteira de produção, com isso é possível estimar quanto a mais de produto seria produzido numa situação em que todas as usinas fossem eficientes. A partir destes valores é realizada uma simulação na matriz insumo-produto brasileira, com o intuito de verificar quanto a mais de renda, empregos e tributos seriam gerados para a economia brasileira com a correção da eficiência das usinas sucroenergéticas. Essa simulação corresponde ao objetivo V e a maneira como foi realizada está descrita no tópico 4.4.

#### **4.1 Análise envoltória de dados (DEA)**

A Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*) é um método baseado em modelos matemáticos não paramétricos, capaz de determinar uma fronteira de produção para um universo de unidades produtivas, intituladas como *decisions making units*<sup>21</sup> (DMUs). Neste trabalho o método foi utilizado com o intuito de calcular a eficiência técnicas de usinas sucroenergéticas brasileiras, sendo elas as DMUs do modelo.

A primeira contribuição para essa metodologia foi feita por Farrell (1957), onde foi destacado como seria relevante para o planejamento econômico conseguir medir quanto uma firma poderia aumentar seu produto sem precisar de um aumento de insumos. O modelo era centralizado na mensuração da produtividade, mas tinha dificuldades de incorporar medidas de múltiplos insumos e produtos (FERREIRA e GOMES, 2009).

Essas dificuldades só começaram a ser resolvidas a partir da década de 1970, com o artigo de Charnes *et al* (1978), que introduziu a ideia de aferir a eficiência por comparação de unidades de produção. A partir de um universo de DMUs, identifica-se as unidades *benchmarks*,

---

<sup>21</sup> Segundo Coelli *et al* (2005), DMU é qualquer órgão, entidade, empresa ou ser vivo que converte múltiplos insumos em múltiplos produtos.

que formam a fronteira de produção por produzir o máximo de produtos por insumos. Uma vez estabelecida a fronteira, torna-se possível a mensuração da eficiência relativa para todas as unidades (FERREIRA e GOMES, 2009).

Os modelos DEA admitem dois tipos de orientação: 1) Insumo orientada: busca-se a redução dos insumos dado um valor fixo de produtos; 2) Produto orientada: dado um montante fixo de insumos, objetiva-se obter uma maior quantidade de produtos. O modelo que foi rodado nesta pesquisa teve orientação produto devido ao contexto de crise produtiva vivenciado pelo setor. Nesse momento, é de grande interesse das usinas aumentar a produção, mantendo os insumos constantes.

Além da orientação, os modelos DEA podem assumir Retornos Constantes de Escala (CRS<sup>22</sup>) ou Retornos Variáveis de Escala (VRS<sup>23</sup>). Na hipótese de retornos constantes, um aumento de insumo gera um aumento de produto na mesma proporção, o que não ocorre na hipótese de retornos variáveis, para o qual dobrar o insumo não significa dobrar a produção.

O modelo deste trabalho teve 2 insumos e 2 produtos para cada usina. A partir disso, foi feita a construção de uma matriz X de insumos (2 x I) e uma matriz Y de produtos (2 x I), com os dados de insumos e produtos das usinas. Nessas matrizes, cada coluna e cada linha precisaram ter pelo menos um coeficiente não negativo, já que as usinas precisam utilizar um insumo e gerar um produto pelo menos.

Dessa forma, para a i-ésima usina, tiveram os vetores  $x_i$ , com os insumos das usinas e  $y_i$ , com os produtos. Obteve-se, então, a medida de eficiência para a i-ésima usina pela divisão entre todos os produtos e todos os insumos:

$$\text{Eficiência técnica da usina } i = \phi = \frac{u' y_i}{v' x_i} = \frac{u_1 \text{Açúcar}_{1i} + u_2 \text{Álcool}_{2i}}{v_1 \text{Moagem cana}_{1i} + v_2 \text{Nº empregados}_{2i}} \quad (4)$$

Na expressão,  $u'$  é um vetor (2 x 1) de pesos nos produtos e  $v'$  é um vetor (2 x 1) de pesos nos insumos. Construiu-se, então, o problema linearizado de retornos constantes, produto orientado:

$$\text{Max}_{\phi, \lambda} \phi \quad (5)$$

$$\text{Sujeito a } -\phi y_i + Y\lambda \geq 0$$

$$x_i - X\lambda \geq 0$$

$$\lambda \geq 0$$

<sup>22</sup> Constant Returns to scale.

<sup>23</sup> Variable Returns to scale.

em que  $\lambda$  é um vetor ( $I \times 1$ ), calculado para obter uma solução ótima. Se a usina for eficiente todos os valores de  $\lambda$  serão zero, para as ineficientes  $\lambda \neq 0$ . Os valores de  $\lambda$  ( $\neq 0$ ) serão os pesos utilizados na combinação linear de outras usinas *benchmarks* que determinam a projeção de uma usina ineficiente na fronteira, ou seja, traçam o caminho para tornar a usina ineficiente em uma unidade eficiente. O  $\phi$  varia de  $1 \leq \phi \leq \infty$  e  $\phi - 1$  é o aumento proporcional no produto, mantendo a quantidade de insumos utilizado.

Já o modelo de retornos variáveis de escala (VRS) surgiu no artigo de Bunker *et al* (1984) e sua principal diferença para o modelo anterior é a substituição da hipótese de retornos constantes de escala por retornos variáveis, o que é materializado pela adição da hipótese de convexidade no problema de programação linear ( $I1'\lambda = 1$ ):

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{\phi, \lambda} \quad \phi \\
 \text{Sujeito a} \quad & -\phi y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 & x_i - X\lambda \geq 0 \\
 & I1'\lambda = 1 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

em que  $I1$  é um vetor  $I \times 1$ , que também pode ser adicionado no modelo insumo orientado para considerar a hipótese de retornos variáveis (COELLI *et al*, 2005).

Os *scores* de eficiência calculados sob suposição de retornos constantes são compostos por dois elementos, um referente a pura eficiência técnica, que são as medidas de eficiência com retornos variáveis, e outro resultante da eficiência de escala. Para observar como ocorre a composição desse *score* basta calcular os dois modelos supondo retornos constantes e variáveis. Se existir diferença nos *scores* calculados tem-se uma evidência de ineficiência de escala, captada pela diferença dos dois modelos (FERREIRA e GOMES, 2009).

A eficiência de escala é obtida pela divisão entre a eficiência técnica do modelo de retornos constantes, pela eficiência técnica do modelo de retornos variáveis. Se o valor calculado for igual a um, a DMU opera sob retornos constantes e está em sua escala ótima. Se o valor for menor do que um, existem duas opções, na primeira a DMU está operando com retornos crescentes, está produzindo acima da escala ótima e deveria reduzir sua produção, ou melhorar sua tecnologia, deslocando a fronteira de produção. A segunda opção é ela estar funcionando sob retornos crescentes e por isso está abaixo da escala ótima e deverá expandir sua produção (SOUZA *et al*, 2011).

Para determinar se a DMU opera sob retornos crescentes ou decrescentes é necessário modificar a pressuposição de retornos variáveis ( $I1'\lambda = 1$ ) do modelo pela pressuposição de retornos não-crescentes ( $I1'\lambda \leq 1$ ) e estimar novamente os *scores* de eficiência. Se o *score* gerado no modelo de retornos variáveis for igual ao do modelo com retornos não-crescentes, então a DMU funciona com retornos decrescentes, e se forem diferentes ela opera com retornos crescentes.

A firma que não possui problemas de escala deverá operar sob retornos constantes, onde uma mudança nos insumos, resulta numa mudança proporcional no produto, contudo é possível que uma planta eficiente opere sob retornos crescentes ou decrescentes ou que uma planta ineficiente opere sob retornos constantes, situações descritas pela Tabela 4.

**Tabela 4 - Possíveis classificações das unidades de produção**

Tipo de retorno	Condição segundo a pura eficiência técnica	
	Eficiente	Ineficiente

<p><b>Crescente</b></p> <p>Apesar de tecnicamente eficiente, ou seja, não existem insumos utilizados em excesso, o volume de produção está abaixo da escala ótima. Isso significa que a DMU pode aumentar a produção a custos decrescentes. Nesse sentido, o aumento da produção deve ocorrer mediante incorporação de insumos, porém mantendo-se as relações entre as quantidades de produto e insumos.</p>	<p>Nesta situação, existem dois problemas: ineficiência técnica, devido ao uso excessivo de insumos, e ineficiência de escala. Esta última ocorre porque a DMU está operando abaixo da escala ótima. Para aumentar a eficiência técnica é preciso eliminar os excessos de uso nos insumos. Por outro lado, para operar em escala ótima é necessário aumentar a produção. Em síntese, a DMU deve aumentar a produção, porém esse aumento deve ocorrer reduzindo as relações entre quantidades utilizadas de insumo e o volume de produção.</p>
<p><b>Constante</b></p> <p>Esta é a melhor situação. A DMU está utilizando os recursos sem desperdícios e opera em escala ótima. O aumento da produção deve ocorrer mantendo-se a proporção de uso dos fatores.</p>	<p>Apesar de estar operando na escala ótima, existe ineficiência técnica. Isso significa que se pode reduzir o uso dos insumos e continuar produzindo a mesma quantidade. De maneira equivalente, a produção pode crescer utilizando-se os mesmos insumos. Eliminando as ineficiências técnicas, a DMU torna-se eficiente com retornos constantes.</p>
<p><b>Decrescente</b></p> <p>DMU tecnicamente eficiente, porém operando acima da escala ótima. Mantendo-se essa situação, o aumento da produção se dará a custos crescentes. Uma alternativa é reduzir o tamanho da produção das DMUs, utilizando mais unidades, porém menores. Note que essas unidades menores devem operar utilizando a mesma proporção entre produto e insumos. Outra alternativa para crescer a produção seria a adoção de políticas qualitativas, ou seja, o aumento da produtividade dos fatores possibilitaria o crescimento da produção sem a necessidade de se utilizar mais insumos.</p>	<p>Nesta situação, a DMU está operando acima da escala ótima e tem ineficiência técnica. É preciso corrigir os dois problemas. Para aumentar a eficiência técnica, deve-se eliminar os insumos que estão sendo utilizados em excesso, o que equivale a produzir mais utilizando os mesmos insumos. Com relação ao problema de escala, pode-se simplesmente reduzir a produção em cada DMU, utilizando um número maior de DMUs menores para produzir a mesma quantidade anterior. Pode-se, ainda, melhorar a tecnologia, aumentando a produtividade dos fatores de produção.</p>

---

Fonte: Elaborado por Finamore, Gomes e Dias (2006).

Algumas das principais características dos modelos DEA são: 1) Permitem a utilização de variáveis de decisão, discricionárias, instrumentais e *dummies* no mesmo modelo; 2) Insumos e produtos podem ser múltiplos e ter unidades diferentes; 3) Concentram-se nas observações individuais, deixando de lado médias e ponderações estatísticas; 4) As organizações têm que ser comparáveis, tendo semelhanças entre si; 5) as DMUs devem operar

sob condições de mercado iguais; 6) o número de DMUs deve ser três vezes maior que o número de variáveis consideradas; 7) insumos e produtos devem assumir valores positivos (CHARNES *et al.*, 1994; LINS; MEZA, 2000; COOPER *et al.*, 2000).

No modelo DEA foram utilizadas as variáveis selecionadas de acordo com a literatura e com a disponibilidade dos dados e que são apresentadas na Tabela 5. Carlucci (2012) utilizou como *input* a variável Moagem de cana (t) e como *output* a Produção de Açúcar (t) e Álcool (m<sup>3</sup>), modelo muito semelhante ao de Pereira (2012), que adicionou aos *inputs* o número de empregados (nº). O uso dos dados relacionados à cana moída e o número de empregados, como insumos, se justifica pelo percentual que eles ocupam no custo total da usina, que ultrapassa os 45%, sendo a maior parcela do custo de produção do álcool e do açúcar (PECEGE, 2012).

Tabela 5 - Variáveis do modelo DEA

Variável	Unidade	Descrição
Moagem cana	t	Moagem da cana-de-açúcar*
Número de empregados	Ud	Número de empregados dentro da usina*
Produção Álcool	m <sup>3</sup>	Soma da produção de álcool anidro e hidratado**
Produção Açúcar	t	Soma da produção de açúcar cristal, VHP e refinado**

Fonte: ProCana (2012); \*Insumo; \*\*Produto.

A Tabela 6 mostra como as variáveis utilizadas no modelo DEA se comportam dentro da amostra de usinas utilizadas neste trabalho.

Tabela 6 - Estatística descritiva de produtos e insumos das usinas

Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Cana-de-açúcar moída na safra*	T	286.969	10.616.899	1.776.920	1.350.906
Número de trabalhadores da usina*	Ud	81	878	348	161
Álcool produzido na safra**	m <sup>3</sup>	7.685	220.000	58.416	40.783
Açúcar produzido na safra**	T	1.500	544.705	124.508	90.051

Fonte: ProCana (2012); \*Insumo; \*\*Produto.

Fica evidente que a amostra é muito heterogênea, com usinas de pequeno e grande porte<sup>24</sup>, que produzem em escalas diferentes. É importante, no entanto, lembrar que todas possuem o mesmo tipo de tecnologia, combinando os mesmos insumos para produzir os mesmos produtos, mesmo que em volumes diferentes.

<sup>24</sup> Verificou-se, através do teste não paramétrico U de Mann-Whitney que as usinas, grandes e pequenas, pertenciam à mesma população, não havendo diferença entre as fronteiras de eficiência dessas plantas. Para mais informações sobre esse teste consultar Banker, Zheng e Natarajan (2010).

#### 4.2 Tobit (truncado) com reamostragem

Com o propósito de entender quais são os determinantes da eficiência das usinas sucroenergéticas, faz-se o uso de um modelo de dois estágios com correção por *bootstrap*, sugerido por Simar e Wilson (2007) (WILSON, 2008). Esses determinantes são variáveis observadas, mas que não podem ser incluídas no modelo DEA, seja por estarem fora do controle do empresário, sendo consideradas ambientais, seja por se tratarem de decisões tomadas *ex ante*.

No primeiro estágio são calculados os *scores* de eficiência das DMU's, que sofrem uma primeira correção por *bootstrap* para poderem servir para a inferência estatística do segundo estágio. Esse procedimento é necessário pelo fato dos estimadores DEA terem *data generating process* (DGP) desconhecido, e ainda poderem ter correlação serial e viés (DANIEL, 2011).

Os *scores* corrigidos estarão num intervalo entre 0 e 1. Tal característica torna possível a utilização do modelo Tobit no segundo estágio, que permite a utilização de variáveis dependentes truncadas com o intuito de analisar a influência de variáveis ambientais na eficiência de usinas (COELLI et al, 2005).

Segundo Greene (2003), a expressão geral do modelo Tobit é:

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i \quad (7)$$

em que  $y_i^*$  é a variável índice (ou variável latente);  $x_i$  é um vetor das variáveis explicativas;  $\beta$  é um vetor de parâmetros e  $\varepsilon_i$  representa os erros estocásticos da regressão.

Cameron e Trivedi (2009) sugerem que a variável dependente ( $y_i^*$ ) deverá ser truncada conforme (12):

$$y = 0, \text{ se } y^* = 0 \quad (8)$$

$$y = y^*, \text{ se } 0 < y^* \leq 1$$

$$y = 1, \text{ se } y^* \geq 1$$

em que 1 é o valor máximo e 0 o valor mínimo assumido pelos escores de eficiência do modelo DEA.

Assim como no primeiro estágio, o segundo estágio pode ter alguns problemas, como correlação serial do termo de erro e entre as variáveis dos dois estágios, o que faria com que o estimador Tobit deixasse de ser consistente (CAMERON E TRIVEDI, 2009). Mais uma vez utiliza-se o método *bootstrap*, sugerido por Simar e Wilson (2007), que realiza a reamostragem do conjunto de observações, gerando estimadores robustos e consistentes (DANIEL, 2011).

O modelo estimado para explicar os determinantes da eficiência técnica das usinas utilizou as variáveis apresentadas na Tabela 7 e é apresentado pela expressão (9).

Tabela 7 - Variáveis utilizadas no Tobit

Variável	Descrição
$Local_{1i}$	dummy: 1 se a usina está localizada na região Tradicional <sup>25</sup> , 0 caso contrário
$Local_{2i}$	dummy: 1 se a usina está localizada na região Norte-Nordeste <sup>26</sup> , 0 caso contrário
$Local_{3i}$	dummy: 1 se a usina está localizada na região Centro-Sul Expansão <sup>27</sup> , 0 caso contrário
$Tamanho_{1i}$	dummy: 1 se a usina tiver moagem acima de 2,5 milhões de toneladas, 0 caso contrário
$Tamanho_{2i}$	dummy: 1 se a usina tiver moagem entre 1 milhão e 2,5 milhões de toneladas, 0 caso contrário
$Tamanho_{3i}$	dummy: 1 se a usina tiver moagem abaixo de 1 milhão de toneladas, 0 caso contrário
$Idadevarietalmédia$	É a média do número de anos de comercialização das variedades de cana utilizada pela usina (Nº de anos)
$Produtividadedo trabalho_i$	É a quantidade de ART retirada da cana por trabalhador
$\%Capacidadeutili$	Percentual da capacidade instalada utilizado (%)
$Investimento_i$	Total de investimentos industriais realizados na safra 2011/12 (R\$)

Fonte: ProCana (2012).

$$\begin{aligned}
 Scores\ de\ eficiência\ (y_i) = & \beta_0 + \beta_1 Local_{1i} + \beta_2 Local_{2i} + \beta_3 Local_{3i} \quad (9) \\
 & + \beta_4 Tamanho_{1i} + \beta_5 Tamanho_{2i} + \beta_6 Tamanho_{3i} \\
 & + \beta_7 Idadevarietalmédia_i \\
 & + \beta_8 Produtividadedo trabalho_i \\
 & + \beta_9 \%Capacidadeutilizada_i + \beta_{10} Investimento_i
 \end{aligned}$$

em que  $\beta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) são os parâmetros estimados para função.

A variável *dummy* de local foi construída com base na divisão utilizada pelo Pecege/ESALQ (2013) em seus trabalhos voltados para o setor sucroenergético. Essa divisão foi apresentada pela Figura 2 no tópico 2.1.

A Figura 4 expõe como acontece a concentração espacial das usinas que compõe a amostra utilizada neste estudo. A maior parte das usinas estão na região Tradicional, mais

<sup>25</sup> São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Espírito Santo.

<sup>26</sup> Pernambuco, Alagoas, Paraíba, Amazonas, Bahia, Maranhão, Pará, Piauí e Sergipe.

<sup>27</sup> Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

especificamente no estado de São Paulo, enquanto a região Norte-Nordeste tem o menor número de usinas.

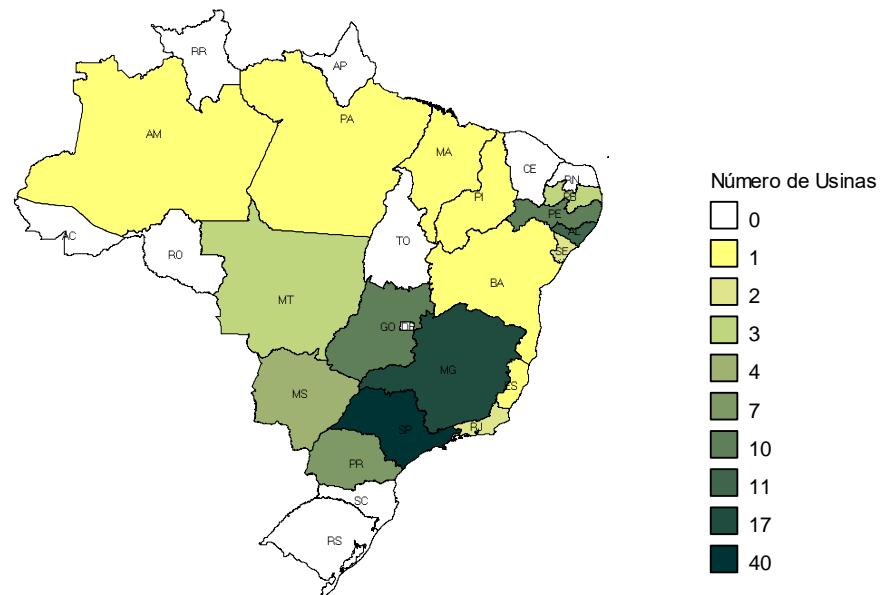
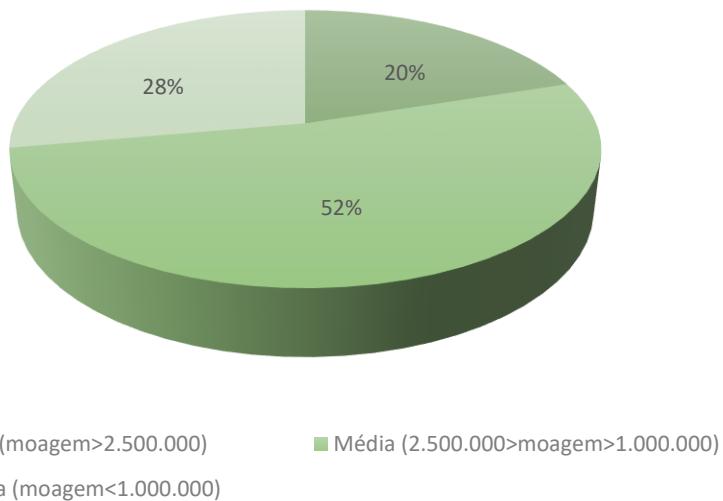


Figura 2 - Concentração espacial das usinas da amostra

Em referência à variável *dummy* de tamanho, a divisão seguiu o modelo utilizado por Carlucci (2012), em que as usinas com moagem de cana-de-açúcar superior a 2,5 milhões de toneladas são consideradas Grandes, as que moem entre 2,5 e um milhão de toneladas são Médias, e as que moem abaixo de um milhão, são Pequenas. O Gráfico 9 mostra como as usinas da amostra se dividem entre as categorias, ficando claro que as usinas grandes são minoria, e que a amostra é composta majoritariamente por usinas de médio porte.

Gráfico 9 - Tamanho das usinas da amostra

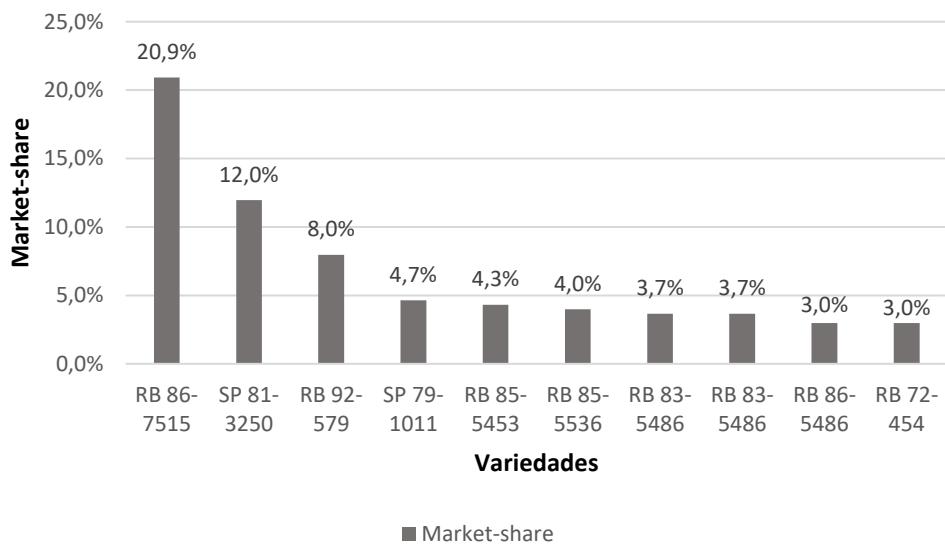


Fonte: ProCana (2012).

A variável “Idade varietal média” foi criada a partir da informação disponibilizada pelas usinas no anuário da cana. No questionário, as usinas podem informar até quatro tipos de variedades de cana-de-açúcar que são utilizadas para a produção do açúcar e do álcool. Essas variedades foram catalogadas e buscou-se, nas instituições detentoras de suas patentes, o ano em que foram lançadas. Assim, foi possível definir uma Idade varietal para cada uma delas. Como as usinas moem um conjunto de variedades de cana-de-açúcar, foi feita uma média das idades dessas variedades.

Na amostra, a variedade de cana-de-açúcar mais utilizada foi a RB 86-7515, lançada em 1998 pela RIDESA. Segundo o censo varietal, realizado em 2014 pelo CTC, essa é variedade mais plantada no Brasil. Pelo Gráfico 10, que traz as variedades mais populares dentro da amostra, o *Market-share* dessa variedade é de 20,9%.

Gráfico 10 - As 10 variedades de cana-de-açúcar mais utilizadas pelas usinas na safra 2011/12



Fonte: Produzido com base nos dados da ProCana (2012).

A Tabela 8 apresenta um resumo sobre o comportamento das variáveis contínuas da amostra. No caso da “Idade varietal média”, o fato da idade média mínima ser superior a dez anos é preocupante do ponto de vista tecnológico, já que novas variedades são lançadas todos os anos, mas é representação do que ocorre na população total das usinas brasileiras (CTC, 2014).

Tabela 8 - Estatística descritiva das variáveis contínuas

Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade varietal média	Anos	11	36	24,27	6,58
Produtividade do trabalho	ART/Trabalhador	445	91.610	15.966	17.211
%Capacidade utilizada	%	28,7	100,0	72,8	16,0
Investimento	R\$	0	130.000.000	5.055.005	17.218.259

Fonte: Produzido com base nos dados da ProCana (2012).

A variável “Produtividade do trabalho” foi calculada dividindo-se o total de ART extraído na safra pela usina, pelo nº total de empregados da usina. O cálculo do total de ART da safra foi obtido pelo método sugerido por Oliveira (2012), que multiplica o total de açúcar e álcool produzidos na safra por números fixos<sup>28</sup> que convertem a produção física de ambos no total de ART necessário para produzir aquela quantidade, e que ao serem somados resultam no total de ART extraído na safra.

<sup>28</sup> Açúcar: 1,0526; Álcool: 1,8181

A variável “%Capacidade utilizada” representa quanto da capacidade instalada da usina foi utilizada ao longo da safra 2011/12. Ela foi composta com base na expressão (10):

$$\%Capacidade\ utilizada = \frac{Total\ de\ cana\ moída\ (ton)}{Capacidade\ instalada\ diária\ de\ moagem\ (ton) \times N^{\circ}\ de\ dias\ da\ safra} \quad (10)$$

Pela Tabela 8 é possível verificar que, no grupo de usinas estudado, a média de utilização da capacidade instalada está acima dos 70%, mas que existe pelo menos uma usina que utilizou apenas 28,74% da sua capacidade, o que pode gerar impactos na eficiência.

Sobre a variável “Investimento”, que representa o valor investido dentro da usina, é importante observar que existem usinas que não fizeram investimento na safra 2011/2012, ficando com o valor do investimento zerado. Ao mesmo tempo o desvio-padrão foi consideravelmente alto, o que corrobora para confirmar a grande heterogeneidade das empresas da amostra.

#### **4.3 Detecção de *outliers* na amostra**

Segundo Proite e Souza (2004), a metodologia DEA é muito sensível a *outliers*, já que uma observação discrepante é capaz de deslocar a fronteira de produção, aumentando artificialmente os requisitos de eficiência para o universo amostral. Então, no caso de amostras muito heterogêneas seria importante fazer a correção do problema.

Como existe uma grande heterogeneidade entre as usinas das diferentes regiões brasileiras, algumas podem ter produções de açúcar e álcool muito acima da média nacional, o que as caracterizaria como *outliers*.

Diante disso, utilizou-se o procedimento *jackstrap*, desenvolvido por Souza e Stosic (2003). Este método é resultado da combinação dos métodos de reamostragem *jackknife* (determinístico) e *bootstrap* (estocástico) (DALBERTO et al, 2013). A partir dessa combinação, é calculado um índice *leverage* para cada DMU, que capta a influência global dela sobre as outras, quando ela é retirada da amostra. Souza e Stosic (2003) recomendam que DMU's com índice *leverage* acima de 0,02 sejam retirados da amostra e que o modelo seja, então, recalculado.

O procedimento foi, assim, aplicado na amostra com o intuito de se assegurar a confiança dos *scores* de eficiência, garantindo que as observações discrepantes da média geral sejam excluídas do estudo. Após o cálculo do índice *leverage* para todas as usinas, verificou-se a sua distribuição, exposta na Figura 5.

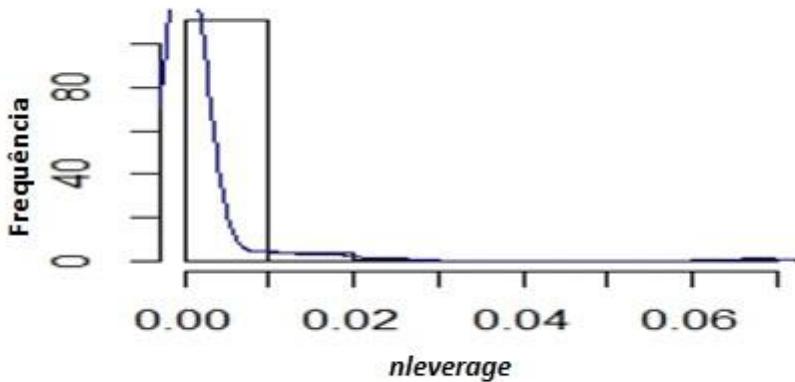


Figura 5: Histograma da distribuição dos *leverages* em relação à eficiência das usinas sucroenergéticas.

Fonte: Resultados da pesquisa

A partir da Figura 5, verifica-se que a maior parte das usinas possui índice *leverage* igual a zero, não tendo a capacidade de deslocar artificialmente a fronteira. Contudo duas usinas tiveram índices acima de 0,02, se mostrando influentes e prejudiciais para a estimação dos *scores* de eficiência. A Tabela 9 especifica os índices *leverages* e os valores de insumos e produtos para essas duas observações *outliers*, que foram posteriormente excluídas da amostra.

Tabela 9 - Valores dos *leverages*, dos insumos e do produto das DMU's consideradas *outliers*

Variável	Unidade	<i>Outlier 1</i>	<i>Outlier 2</i>	Média da amostra
Índice <i>leverage</i>	-	0,025	0,068	0,000
Cana-de-açúcar moída na safra*	t	502.367	1.813.338	1.776.920
Número de trabalhadores da usina*	Ud	101	140	348
Álcool produzido na safra**	m <sup>3</sup>	17.018	88.445	58.416
Açúcar produzido na safra**	t	45.284	180.020	124.508

Fonte: Resultados da Pesquisa. \*Insumo, \*\*Produto.

Ao examinar a Tabela 9 é possível constatar que, no caso dos dois *outliers*, os valores de insumos e produtos apresentam discrepâncias em relação à média da amostra. No caso do *outlier 1*, todos os valores são menores do que a média amostral, os insumos e os produtos são em média 71,3% e 67,2% menores do que os valores médios gerais. Já o *outlier 2* apresenta um total de cana-de-açúcar moída na safra muito próximo da média da amostra, mas utiliza 59,7% trabalhadores a menos e ainda assim consegue produzir mais álcool e açúcar do que média das outras usinas, podendo assim, deslocar a fronteira de produção.

Os dois *outliers* estão localizados na região produtiva Tradicional. O *outlier* 1 pertence ao Paraná, enquanto o 2 pertence à São Paulo. O primeiro tem a capacidade de moer 4.300 toneladas de cana por dia, sendo considerado de pequeno porte, enquanto o segundo pode moer até 15.600 toneladas de cana por dia, capacidade equivalente às usinas de médio porte.

#### **4.4 Matriz insumo-produto e seus multiplicadores**

O modelo DEA além de calcular os *scores* de eficiência das DMU's, também torna possível a projeção de cada uma das unidades na fronteira de produção. Ou seja, é possível calcular quanto a mais de produto<sup>29</sup> poderia ser gerado, mantendo o mesmo vetor de insumos, no caso de a usina ser ineficiente.

O aumento factível na produção de açúcar (t) e álcool (m<sup>3</sup>), resultado desse diferencial de eficiência, foi transformado em valor de produção (R\$). Este valor serviu como base para a realização de uma simulação, onde os valores calculados foram inseridos na matriz insumo-produto brasileira, realizando um choque capaz de verificar quanto a mais de renda, empregos e impostos seriam gerados na economia brasileira, caso as usinas ineficientes seguissem as melhores práticas e se tornassem eficientes.

O método utilizado foi baseado na matriz insumo-produto, retratada pela Figura 6 de forma simplificada. O  $X_{ij}$  representa o somatório do fluxo intermediário da economia, o fluxo monetário total entre os setores i e j;  $F_i$ ,  $G_i$ ,  $I_i$ , e  $E_i$ , são a demanda final pelos produtos ofertados pelo setor i, sendo respectivamente consumo das famílias, consumo do governo, demanda por bens de investimento e demanda internacional (exportação);  $X_i$  é o total produzido pelo setor i;  $CI_{TT}$  é a soma entre o valor dos produtos importados ( $M_{TT}$ ) e os impostos indiretos ( $T_{TT}$ ); Agregando os valores gastos com salários ( $S_{TT}$ ), Impostos indiretos ( $T'_{TT}$ ) e com o excedente operacional bruto ( $L_{TT}$ ), que representam o valor adicionado, ao  $CI_{TT}$  e ao  $X_{ij}$ , chega-se ao Valor Bruto da Produção (VBP), que também pode ser alcançado somando-se os  $X_i$ , relação expressa expressão (10).

---

<sup>29</sup> No caso deste trabalho, que utiliza a orientação ao produto, calcula-se quanto a mais de produto seria gerado, mas caso a orientação fosse ao insumo, seria calculado quanto de insumo poderia ser reduzido.

		Fluxo Intermediário		Demanda final				Demanda Total	
		Setores compradores	Subtotal	Consumo famílias	Governo	Investimento	Exportações		
Fluxo Intermediário	Setores vendedores	$x_{11}$	$x_{12}$	$X_{1j}$	$F_1$	$G_1$	$I_1$	$E_1$	$X_1$
		$x_{21}$	$x_{22}$	$X_{2j}$	$F_2$	$G_2$	$I_2$	$E_2$	$X_2$
	Subtotal I	$X_{i1}$	$X_{i2}$	$X_{ij}$	$F_i$	$G_i$	$I_i$	$E_i$	VBP
	Importações	$m_1$	$m_2$	$M_{TT}$	$m_f$	$m_g$	$m_i$	$m_e$	$M_{TT}$
	Impostos indiretos	$t_1$	$t_2$	$T_{TT}$	$t_f$	$t_g$	$t_i$	$t_e$	$T_{TT}$
	Subtotal II	$CI_1$	$CI_2$	$CI_{TT}$	$F_{TT}$	$G_{TT}$	$I_{TT}$	$E_{TT}$	
Valor Adicionado	Salários	$s_1$	$s_2$	$S_{TT}$					
	Impostos diretos	$t'_1$	$t'_2$	$T'_{TT}$					
	Excedente Operacional bruto	$l_1$	$l_2$	$L_{TT}$					
	Produção Total	$X_1$	$X_2$	VBP					

Figura 6 - Simplificação do modelo insumo-produto

Fonte: Elaborado por Finamore e Montoya (2013).

$$VBP = X_{ij} + F_i + G_i + I_i + E_i = X_{ij} + CI_{TT} + S_{TT} + T'_{TT} + L_{TT} \quad (11)$$

Guilhoto (2001) ainda ressalta que excluindo os  $X_{ij}$ , referente à demanda intermediária, e que está presente nos dois lados da expressão (11), abrindo o  $CI_{TT}$  em  $M_{TT}$  e  $T_{TT}$  e passando o  $M_{TT}$  para o lado esquerdo da identidade, chega-se na igualdade macroeconômica entre renda e demanda (12).

$$F_i + G_i + I_i + (E_i - M_{TT}) = T_{TT} + S_{TT} + T'_{TT} + L_{TT} \quad (12)$$

Para construir a matriz insumo-produto é necessário definir o coeficiente técnico de produção ( $a_{ij}$ ), que evidencia quanto de insumo o setor j demanda do produto do setor i para produzir seu próprio produto. Ele é calculado pela razão entre as vendas do setor i para o setor j ( $x_{ij}$ ) e o total da produção do setor j ( $q_j$ ).

$$a_{ij} = x_{ij} / q_j \quad (13)$$

Uma vez calculado o coeficiente técnico de produção, é possível observar quais setores demandam a produção do setor i. A expressão (14), mostra como a produção do setor i ( $q_i$ ) se divide entre consumo intermediário e demanda final ( $f_i$ ).

$$q_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} q_j + f_i \quad (14)$$

Transformando a expressão (14) para a forma matricial e fazendo algumas manipulações que podem ser verificadas em Leontief (1987) e Miller e Blair (1985), encontra-se a expressão (15) que determina quanto deve ser produzido para satisfazer a demanda final.

$$X = (I - A)^{-1}f \quad (15)$$

X é o vetor de produção total; A é uma matriz dos coeficientes  $a_{ij}$ ; e f é o vetor que representa a demanda final. Nessa expressão,  $(I - A)^{-1}$  é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, que também recebe o nome de inversa de Leontief.

A inversa de Leontief corresponde ao multiplicador de produção do tipo I, além dele ainda é possível obter o multiplicador do tipo II, sugerido por Miyazawa (1976) e representado pela expressão (16).

$$(I - A - CV)^{-1} \quad (16)$$

C é a matriz de coeficientes técnicos de consumo e V é a matriz de coeficientes técnicos de valor adicionado (FINAMORE e MONTOYA, 2013).

Finamore e Montoya (2013) afirmam que a diferença entre os dois multiplicadores está no fato de Leontief considerar o consumo das famílias como exógeno, enquanto Miyazawa combina o multiplicador tipo I com o multiplicador Keynesiano simples, tornando o consumo das famílias endógeno. Como consequência disso surge um valor adicional no sistema, resultante do aumento do poder aquisitivo das famílias. Por outro lado, ambos os multiplicadores de insumo-produto servem para determinar quanto de insumo intermediário é necessário para produzir o suficiente para suprir a demanda doméstica. Além dos multiplicadores de produção ainda existem os de renda, impostos indiretos, importação e emprego.

Além do objetivo principal da elaboração de uma matriz insumo-produto, que é representar as relações interindustriais de uma economia, ainda existe a possibilidade de se analisar através dela, as reações econômicas geradas por modificações nas transações entre os setores. Essa alternativa é realizada com simulações, onde são feitos choques na demanda de um setor produtivo. Para que um setor aumente sua produção ele depende de insumos de outros setores, que por sua vez dependem de insumos de outros setores. Ao final percebe-se que o choque que inicialmente era apenas em um setor, impacta em outros setores e no sistema econômico como um todo, conforme o descrito pela expressão (17).

$$Z = IF + AF + A^2F + A^3F + \cdots + A^nF \quad (17)$$

Z é o resultado final do aumento na demanda final para todos os setores envolvidos; F é um vetor que reflete as mudanças realizadas; A é a matriz de requerimento diretos, que mede os

impactos diretos; e  $n$  é o número de rodadas necessárias para que a economia retorne para o seu estado de equilíbrio.

A matriz insumo-produto utilizada neste trabalho foi elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente ao ano de 2011. O IBGE (2008) resume o processo de elaboração da matriz insumo-produto em duas etapas, na primeira utiliza-se os valores de produção e consumo intermediário, presentes nas Tabelas de Recursos e Usos (TRU), para calcular a matriz de coeficientes técnicos diretos. Essa matriz inicial determina quanto cada setor econômico precisa consumir dos outros setores para gerar uma unidade monetária a mais. Na segunda etapa, a matriz de coeficientes técnicos diretos serve como base para o modelo de Leontief, que por sua vez mensura a produção de cada setor a partir da demanda final exógena.

Essa matriz foi utilizada por Finamore (2016) para o desenvolvimento do modelo, onde foram realizadas as simulações dos choques no Valor Bruto da Produção (VBP), no emprego e nos impostos sobre o produto<sup>30</sup> e sobre a produção<sup>31</sup>. Utilizou-se os multiplicadores do tipo I (Leontief) e do tipo II (Miyazawa), com a intenção de se isolar o efeito renda, que pode ser obtido diminuindo o resultado da simulação com o multiplicador tipo I, do resultado com o multiplicador do tipo II.

Os valores dos choques foram calculados através de um processo que envolveu os seguintes procedimentos:

- 1) Projetou-se, através do modelo DEA, as usinas ineficientes da amostra na fronteira de eficiência. Essa projeção sugere um aumento no volume de açúcar ( $t$ ) e álcool ( $m^3$ ) produzido por essas usinas, caso elas se tornassem eficientes;
- 2) As usinas ineficientes foram divididas entre suas regiões produtivas (Centro-Sul Expansão, Tradicional e Norte-Nordeste), e verificou-se quanto a mais poderia ser produzido em cada uma das regiões;
- 3) Esses volumes, por região, foram transformados em valores monetários (R\$), o que foi feito através da média do preço de venda do açúcar e álcool durante a safra 2011/12, fornecido pelo CEPEA – ESALQ;
- 4) Dividiu-se o valor total de produção (R\$), de açúcar e álcool, de cada uma das regiões, pelo número de usinas ineficientes que ela possui, chegando-se num valor médio de produção para cada uma das regiões produtivas e para cada produto;

---

<sup>30</sup> São os impostos pagos na produção, distribuição, venda e transferência de bens ou serviços, como o ICMS, o IPI e o Imposto de Importação (IBGE, 2008).

<sup>31</sup> São os impostos sobre a mão-de-obra ou sobre remunerações pagas e sobre taxas incidentes sobre o exercício de atividades econômicas específicas (IBGE, 2008).

- 5) Calculou-se o percentual de usinas ineficientes em cada uma das regiões;
- 6) Foi feita a multiplicação, por região, do percentual de ineficiência pelo número de usinas, produtoras de açúcar e álcool, existentes em cada uma das regiões produtivas. Assim, foi feita uma estimativa do número de usinas, correspondentes à população total, que seriam ineficientes para cada uma das regiões.
- 7) Multiplicou-se o número de usinas ineficientes, pelo valor médio de produção de cada região de açúcar e de álcool, chegando no valor do choque para cada um dos produtos.

O valor referente à produção de álcool foi aplicado na atividade 0310 – Álcool, que contém a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) número 234, onde está localizada a fabricação de álcool anidro e hidrato de cana-de-açúcar. Já o valor da produção de açúcar foi aplicado na atividade 0301 – Alimentos e Bebidas, que contém a CNAE 156, que representa a fabricação e refino de açúcar.

#### **4.5 Fonte de dados**

Com a finalidade de atingir os objetivos apresentados na introdução deste estudo, foram utilizados os dados disponibilizados no Anuário da cana 2012, produzido pela ProCana. Este livro contém as informações de produção, infraestrutura e moagem de 117 usinas de cana-de-açúcar brasileiras, ativas na safra 2011/12, e que são capazes de produzir açúcar e álcool, representando 38,5% do total de usinas do mesmo tipo ativas na safra.

Após o teste de *outlier*, descrito anteriormente, essa amostra foi reduzida para 115 usinas, que por sua vez representam 37,8% do total de usinas produtoras de açúcar e álcool<sup>32</sup>.

O Anuário 2011/12 é o livro com o maior número de informações divulgadas pelas usinas após o início da crise produtiva do setor, em 2009. Versões mais recentes estão disponíveis, mas tiveram um baixo número de usinas informantes e uma redução das variáveis informadas, o que prejudicaria o estudo.

---

<sup>32</sup> Excluiu-se as usinas que só produzem açúcar ou álcool.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados encontrados nessa pesquisa, que foram obtidos a partir das metodologias e fontes de dados explicitadas no capítulo 4. Estes resultados buscam atender aos objetivos específicos, que foram delimitados na Introdução deste trabalho, e sua disposição obedece à ordem dos objetivos. No tópico 5.1 as medidas de eficiência técnica e de escala estimadas são exploradas conforme previsto no objetivo I. O tópico seguinte, 5.2, corresponde à investigação dos determinantes da eficiência técnica, proposto pelo objetivo II. O objetivo III é materializado pelo tópico 5.3, que faz a identificação e caracterização dos principais *benchmarks*. Por fim, os tópicos 5.4 e 5.5 equivalem aos objetivos IV e V, respectivamente, com a projeção das unidades ineficientes na fronteira de produção e com o cálculo do impacto desse deslocamento para a economia brasileira.

### 5.1 As medidas de eficiência das usinas sucroenergéticas

A partir do modelo DEA, estimou-se os *scores* (E) de eficiência das usinas na safra 2011/12. Os modelos com retornos constantes e variáveis foram calculados e a partir dos seus resultados obteve-se as medidas de eficiência de escala. Todos os modelos tiveram orientação ao produto, já que do ponto de vista da usina é mais interessante maximizar a produção, mantendo os insumos constantes. A Tabela 10 mostra os intervalos de eficiência em que as usinas se encontram para os três casos, retornos constantes, retornos variáveis e para a eficiência de escala.

Tabela 10 - Distribuição das usinas segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

Especificação	Eficiência Técnica Ret. Constantes (Nº usinas)	Eficiência Técnica Ret. Variáveis (Nº usinas)	Eficiência de escala (Nº usinas)
$E < 0,1$	0	0	0
$0,1 \leq E < 0,2$	1	0	0
$0,2 \leq E < 0,3$	0	0	0
$0,3 \leq E < 0,4$	0	0	0
$0,4 \leq E < 0,5$	1	2	1
$0,5 \leq E < 0,6$	0	0	0
$0,6 \leq E < 0,7$	2	0	2
$0,7 \leq E < 0,8$	9	4	0
$0,8 \leq E < 0,9$	61	43	11
$0,9 \leq E < 1,0$	36	48	95
$E = 1,0$	5	18	6
Total	115	115	115
Média	0,8671	0,9052	0,9571
Desvio-padrão	0,1010	0,0872	0,0775

Fonte: Resultados da pesquisa

No caso do modelo com retornos constates, apenas 5 das 115 usinas obtiveram máxima eficiência técnica ( $E=1,0$ ), representando 4,34% do total da amostra. Essas usinas estão na fronteira de produção, e só conseguiriam aumentar sua produção aumentando a quantidade de insumos ou modificando sua tecnologia. Já as usinas que não atingiram a máxima eficiência podem ter aumento de produto, desde que sigam o comportamento das usinas eficientes, e que são seus *benchmarks*. Como a média dos *scores* de eficiência técnica foi de 0,8671, é possível afirmar que o nível médio de ineficiência é de 0,1329, o que quer dizer que as usinas ineficientes têm condições de aumentar, em média, 13,29% a sua produção, preservando a quantidade de insumos já utilizada.

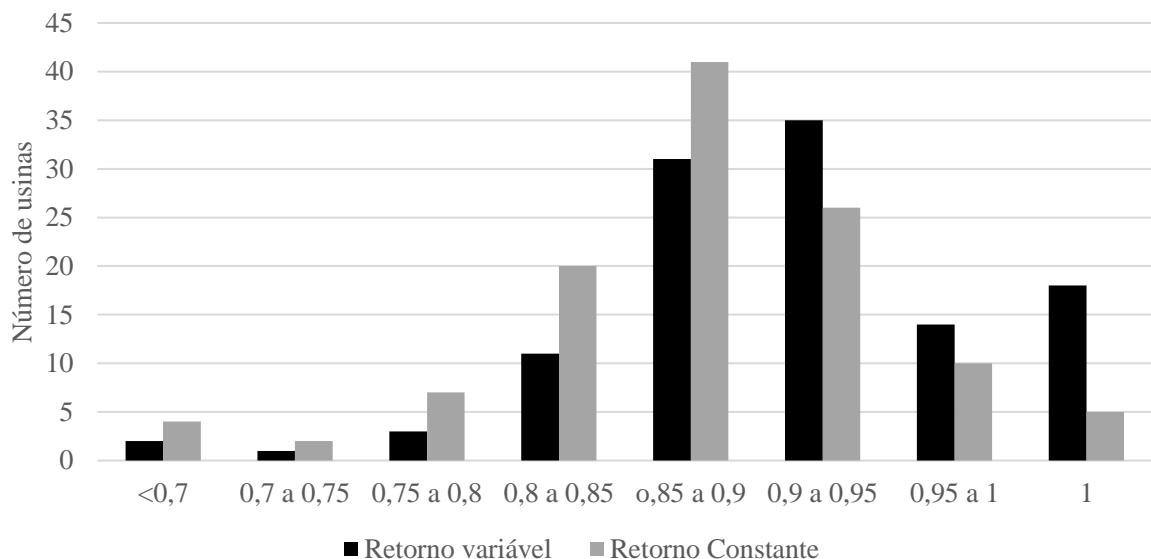
O modelo de retornos variáveis apresenta mais usinas eficientes, dado que 18 das 115 usinas foram consideradas eficientes, simbolizando 15,65% do total de usinas. Esse é um resultado já esperado, porque o modelo com retorno variáveis não inclui como fonte de ineficiência problemas ligados a escala de produção, diferente do que ocorre no modelo com retornos constates, onde dos 13,29% de aumento possível, 9% são da ineficiência pura de

escala, proveniente do modelo de retornos variáveis e 4% são de problemas ligados à escala de produção.

Se forem consideradas apenas as usinas que apresentaram algum grau de ineficiência, a média de eficiência técnica no modelo de retornos constantes passa a ser 0,8661, e do modelo de retornos variáveis passa a ser 0,8877. Desta forma, foi mantida a diferença característica entre os dois modelos, o modelo com retornos variáveis continua a ter uma média de eficiência maior que o modelo de retornos constantes, por não considerar os problemas de escala das usinas. Com essa configuração, existe um aumento de produto possível de 13,39%, no caso de retornos constantes, e 11,23%, para retornos variáveis.

Ao observar o Gráfico 11, que representa o histograma de distribuição das usinas segundo os estratos de eficiência técnica no modelo retornos variáveis e constantes, verifica-se que no modelo de retornos constantes a maior concentração de usinas ocorre no intervalo 0,85 e 0,9, enquanto que para o modelo de retornos variáveis a maior concentração se dá no intervalo seguinte. No entanto, os dois modelos apresentam distribuições amostrais semelhantes que podem ser consideradas normais.

Gráfico 11 – Histograma da distribuição das usinas



Fonte: Resultados da pesquisa

A partir da análise do Gráfico 11 também é possível concluir que apesar da maior parte das usinas ser ineficiente, a maior parte delas possui *scores* de eficiência acima do 0,8. Dessa forma, apesar da maior parte das usinas ser ineficiente, elas estão próximas da fronteira de produção e assim da máxima eficiência que é igual a 1. Isso denota uma certa homogeneidade

dessas empresas em relação à eficiência técnica, já que, comparativamente, elas não estão tão distantes entre si e próximas da máxima eficiência.

Apesar da maior parte das usinas concentrarem nos últimos dois intervalos de eficiência nos dois modelos, o modelo de retornos constantes tem maior concentração no intervalo entre 0,8 e 0,9, ao passo que o modelo de retornos variáveis tem maior concentração entre 0,9 e 1,0. Essa diferença é pequena, mas evidência a característica de as usinas atingirem *scores* de eficiência mais altos quando se pressupõe retornos variáveis.

No que se refere à eficiência de escala, que é obtida pela divisão entre os resultados dos modelos de retornos constantes e variáveis, seis usinas estão operando com retornos constantes de escala e estão na sua escala ótima de produção. As outras 99 usinas que obtiveram uma eficiência de escala abaixo de um e estão operando com retornos crescentes ou decrescentes.

É importante sublinhar que a eficiência técnica de uma usina tem dois fatores, um de pura eficiência técnica, que se refere à como a usina combina seus insumos, e um relativo a eficiência de escala, que corresponde ao tipo de retorno com o qual a DMU opera. As combinações entre essas duas situações foram descritas pela Tabela 10, e a maneira como as usinas se dividem em relação a essas duas medidas é apresentada pela Tabela 11.

Tabela 11 – Distribuição das usinas segundo o tipo de retorno à escala e a condição de eficiência técnica

Retorno de Escala	Eficientes	Ineficientes	Total
Crescente	9	82	91
Constante	5	1	6
Decrescente	4	14	18

Fonte: Resultados da pesquisa

Entre as 115 usinas, apenas 6, 5,3% da amostra, operam na escala ótima, com retornos constantes. Entre essas, cinco são ao mesmo tempo eficientes e estão na melhor situação possível, sem problemas de escala nem do uso incorreto dos insumos. Mas uma das usinas, apesar de funcionar com retornos constantes, não utiliza os insumos corretamente, e por isso é classificada como ineficiente.

As empresas que possuem retornos crescentes e decrescentes possuem problemas na escala de produção. O menor grupo é o das usinas com retornos decrescentes, 15,6% do total e sua atual situação gera custos crescentes. Elas ainda se dividem entre as que possuem problemas de escala, mas são eficientes na combinação de insumos, e as que possuem os dois problemas, respectivamente 3,5% e 12,7% das usinas. Na primeira situação, o problema poderia ser

resolvido reduzindo a produção, o que não é uma alternativa favorável, ou aumentando a produtividade dos fatores, ou com a expansão da tecnologia da firma. A segunda situação também necessita dessas soluções e ainda depende de uma recombinação dos insumos, que corrigiria a ineficiência técnica.

A maior parte das usinas possui retornos crescentes, isto é, 79,1% (91/115) das usinas pode aumentar sua produção a custos decrescentes. A menor parte destas usinas tem somente problemas na sua escala de produção, e pode resolvê-los ampliando a sua produção, aumentando a quantidade de insumos, desde que se mantenha a proporção entre insumos e produtos. Já a maior parte, que são 71,3% (82/115) da amostra total, precisa aumentar a produção, mas fazendo a recombinação da proporção entre insumos e produtos, de tal forma a resolver as suas duas dificuldades, escala e ineficiência.

O fato da maior parte das usinas operar com retornos crescentes durante a safra 2011/12 é justificado pelo fato da produção de cana-de-açúcar brasileira ter tido uma queda de 10% neste período. Essa quebra de safra causou uma restrição de insumos que obrigou as usinas a diminuir o percentual de utilização da capacidade instalada e gerou os problemas na escala de produção. O cenário é, todavia, otimista, já que a produção de cana-de-açúcar foi reestabelecida nas safras seguintes e apresenta tendência de crescimento. Mudanças estruturais, sobretudo as relacionadas a expansão na planta de produção e da sua tecnologia, são mais complicadas, dependem de investimentos, que não devem ocorrer em momentos de endividamento e crise para o setor.

Ainda assim, a junção dos problemas, estar abaixo da escala de produção e o uso incorreto dos insumos, é um ponto negativo para o setor. Mesmo produzindo abaixo da escala ótima ainda existe desperdício de recursos durante o processo de produção. Isso além de gerar prejuízos para os próprios empresários, também compromete, mesmo que em proporções reduzidas, o abastecimento de açúcar e álcool do país, o que poderia ser evitado com a correção das ineficiências.

O entendimento sobre o que diferencia os grupos de usinas que estão nas diferentes situações descritas acima depende de uma caracterização do perfil médio das usinas, que começa a ser delineado pela Tabela 12. Esta tabela apresenta os valores médios dos *scores* de eficiência, de insumo e de produto para cada tipo de retorno.

Tabela 12 - Valores médios das medidas de eficiência, produto e insumos das usinas, segundo o tipo de retorno à escala

Especificação		Unidade	Crescente	Constante	Decrescente	Média
<b>1. Medidas de eficiência</b>						
Modelo Ret. Constante	%	87,3	98,6	80	86,7	
Modelo Ret. Variáveis	%	90,5	98,6	87,9	90,5	
Eficiência de Escala	%	96,6	100	90	95,7	
<b>2. Variáveis</b>						
Cana-de-açúcar moída na safra*	t	1.292.829	2.798.809	3.883.631	1.776.919	
Número de trabalhadores da usina*	Ud	322	296	493	347	
Álcool produzido na safra**	M <sup>3</sup>	42.157	95.904	1.281.128	58.415	
Açúcar produzido na safra**	t	99.341	229.068	216.886	124.508	

Fonte: Resultados da pesquisa. \*Insumo; \*\*Produto

Sobre as médias das medidas de eficiência, averígu-se que, proporcionalmente, as usinas com retornos decrescentes têm a pior combinação de insumos, podendo aumentar em média sua produção em 12,1% com a recombinação de insumos, enquanto as usinas com retornos crescentes podem ter um aumento médio de 9,5%.

A usina típica que opera com retornos crescentes é a que menos utiliza cana-de-açúcar, em média 28% menos que a média do total da amostra. Seu número de trabalhadores também é menor que o de retornos decrescentes e que a média geral, mas é maior que o número de trabalhadores da usina típica com retornos constantes. Tal comportamento revela que no caso do insumo trabalhadores, menos pode ser melhor para a eficiência. No caso dos dois produtos, álcool e açúcar, a média gerada é inferior ao apresentado pelas outras categorias.

As unidades que estão produzindo acima da escala ótima utilizam em média mais insumos do que os outros, e também produzem mais álcool, mas a produção de açúcar está abaixo das unidades que estão em sua escala ótima. Tal situação ou é justificada pelos problemas de combinação entre os insumos, ou pelo fato de cada usina ter o seu percentual de produção de açúcar e álcool e que pode ser modificado em determinadas proporções de acordo com a vontade do empresário.

Os valores médios de uso de cana-de-açúcar e produção de álcool para as usinas que operam com retornos constantes são intermediários aos valores médios dos outros dois tipos de retorno. A situação se modifica para o insumo referente ao número de trabalhadores e à produção de açúcar, para os quais os valores médios são respectivamente menores e maiores do que a média utilizada e produzida pelas unidades que possuem problemas de escala.

A Tabela 13 complementa a análise ao evidenciar a relação entre o tamanho da usina e sua eficiência de escala.

**Tabela 13 - Distribuição das usinas segundo a capacidade de moagem e tipo de retorno à escala**

Variável	Crescente	Constante	Decrescente	Total
Grande***	4	4	15	23
Média**	55	2	3	60
Pequena*	32	0	0	32

Fonte: Resultados da pesquisa. \* Moagem inferior a 1.000.000 toneladas; \*\* Moagem entre 1.000.000 e 2.500.000; \*\*\* Moagem superior a 2.500.00.

Cerca de 65% (15/23) das usinas Grandes opera com retornos decrescentes, enquanto as outras se dividem igualmente entre retornos constantes e crescentes. As usinas Grandes ainda são maioria entre o grupo das usinas com retornos constantes, seguidas por uma diminuta parcela das usinas Médias.

As usinas Médias que são o maior grupo da amostra total concentram-se no grupo de retornos crescentes, mas são as usinas Pequenas que chamam a atenção pelo fato de estarem todas operando abaixo da escala ótima de produção. Essa configuração levanta a possibilidade de existir uma relação direta entre tamanho da usina e a escala ótima de produção. Simultaneamente, nota-se que mesmo as plantas sendo pequenas e necessitando de menos cana-de-açúcar para ocupar totalmente sua capacidade, elas ainda operam abaixo da sua escala ótima.

A configuração do setor sucroenergético, na qual as usinas podem ter suas próprias lavouras de cana-de-açúcar, se forem integradas verticalmente, e ainda podem comprar cana de terceiros, permite que sejam feitas algumas inferências com base nos últimos resultados. As usinas Grandes possuem menor dependência da cana-de-açúcar fornecida por terceiros do que as usinas pequenas, estando assim mais protegidas de eventuais quebras de safras. Outra possibilidade é a que seu tamanho seja responsável por lhe proporcionar ganhos derivados da grande escala de produção, que diluem os custos fixos e assim reduzem os custos totais, o que não ocorre nas usinas pequenas.

Outro fator que caracteriza as usinas é a sua localização, já que as diferentes regiões produtivas do país possuem características próprias e que podem ser determinantes para a eficiência, inclusive para a eficiência de escala. Tanto o clima quanto o solo afetam a o volume e qualidade da safra de cana-de-açúcar que por sua vez geram consequências para a eficiência de escala da firma, conforme exposto pela Tabela 14.

**Tabela 14 - Distribuição das usinas segundo a localização geográfica e tipo de retorno à escala**

Variável	Crescente	Constante	Decrescente	Total
Região Tradicional	37	4	9	50
Região Centro-Sul	24	2	8	34
Região Norte-Nordeste	30	0	1	31

Fonte: Resultados da pesquisa.

As usinas localizadas na região Tradicional são cerca de 43% (50/115) do total da amostra, e apenas 8% delas possuem retornos constantes, o que ainda é melhor do que as outras regiões, já que a região Centro-Sul Expansão tem 5,9% e a região Norte-Nordeste não possui nenhuma usina operando com escala ótima. A região Norte-Nordeste é a que possui o maior percentual operando com retornos crescentes, mas as outras duas regiões também possuem prevalência entre as unidades com esse tipo de retorno, o que indica que todas as regiões precisam aumentar sua produção, diminuindo o percentual da capacidade instalada não utilizado.

Apesar da região Tradicional ter mais usinas com retorno decrescente que as demais, proporcionalmente a região Centro-Sul Expansão tem mais usinas nessa condição. Esse resultado indica que essas usinas foram as que utilizaram ao máximo a sua capacidade instalada e que precisariam, ou diminuir sua produção, ou expandir a tecnologia, pois estão moendo uma quantidade de cana-de-açúcar acima da sua escala ótima.

Esses resultados, que mostram uma maior prevalência de usinas com retornos crescentes para todas as regiões, estão de acordo com a quebra da safra 2011/12. Por outro lado, o fato do maior percentual de usinas com retornos decrescentes ser da região Centro-Sul Expansão é difícil de ser explicado, já que nessa região estão as usinas mais novas do setor, que possuem plantas grandes, enquanto a região Norte-Nordeste tem em sua maioria usinas menores e que precisam de menores quantidades de cana-de-açúcar para operar na escala ótima.

A análise da pura eficiência técnica, referente ao modelo DEA com retornos variáveis, também auxilia no entendimento sobre o comportamento das usinas na safra 2011/12. Entre as usinas da amostra total, 84,3% foram consideradas ineficientes, não combinam da melhor forma seus insumos e produtos e, por isso, não foram capazes de atingir o *score* de eficiência máximo (100%) que só é dado para as usinas que estão na fronteira de produção. Para todas essas usinas ineficientes, existe uma usina eficiente que é seu *benchmark* referência e que combina melhor os recursos, produzindo proporcionalmente mais. A Tabela 15 apresenta uma caracterização inicial desses dois grupos de usinas, cuja a diferenciação servirá como base para o restante deste trabalho.

Tabela 15 - Valores médios de produto e insumo das usinas segundo a condição de pura eficiência técnica

Variável	Unidade	Eficiente	Ineficiente	Média Geral
Cana-de-açúcar moída na safra*	t	2.266.276	1.686.111	1.776.919
Número de trabalhadores da usina*	Ud	301	356	347
Álcool produzido na safra**	m <sup>3</sup>	76.199	55.115	58.415
Açúcar produzido na safra**	t	126.977	114.627	124.508

Fonte: Resultados da pesquisa. \*Insumos; \*\*Produtos.

A usina eficiente característica mói mais cana-de-açúcar, utilizada menos empregados e produz mais álcool e açúcar, em relação à média amostral. As usinas ineficientes estão no outro extremo, pois moem menos cana, utilizam mais empregados e produzem menos álcool e açúcar que a média.

Com essa caracterização é possível vislumbrar alguns possíveis determinantes para a eficiência das usinas sucroenergéticas. O primeiro tem relação com a escala de produção e possivelmente com a utilização da capacidade instalada, já que obviamente moer mais cana e produzir mais açúcar e álcool parece ser melhor do que menos. Isso também dialoga com os resultados sobre a eficiência de escala e confirma uma característica do setor sucroenergético que tem ganhos de economia de escala. O segundo é sobre o número de empregados, já que um menor número de empregados parece contribuir para a eficiência da usina, o que indica que as usinas eficientes têm maior produtividade do trabalho, pois produzem mais com menos trabalhadores.

Como a quantidade de cana moída parece ser relevante para eficiência da usina, torna-se interessante verificar como as usinas dos diferentes tamanhos se distribuem entre eficientes e ineficientes, o que é apresentado pela Tabela 16.

Tabela 16 - Tamanho das usinas segundo pura eficiência técnica

Variável	Eficiente	Ineficiente	Total
Grande***	8	15	23
Média**	3	57	60
Pequena*	7	25	32

Fonte: Resultados da pesquisa. \* Moagem inferior a 1.000.000 toneladas; \*\* Moagem entre 1.000.000 e 2.500.000; \*\*\* Moagem superior a 2.500.00.

O grupo das usinas Grandes mesmo tendo o menor percentual de unidades dentro da amostra total [elas são 20% (23/115) da amostra], ainda tem o maior número de usinas eficientes, apesar de possuírem um percentual de 65% (15/23) de usinas ineficientes. No outro

extremo estão as usinas Médias, que são maioria na amostra total e possuem um percentual de ineficiência de 95% (57/60), tendo o maior número de usinas ineficientes da amostra. As usinas pequenas, apesar de estarem em uma situação mais favorável que as usinas Médias, possuem um nível de ineficiência acima dos 78% (25/32).

O grupo das usinas Grandes apresenta uma situação mais favorável que os outros dois grupos, o que reforça a importância da escala de produção para a eficiência, no entanto todos os grupos têm percentuais de ineficiência acima dos 60%. Esse número indica que mesmo que em diferentes proporções, a prevalência da ineficiência acontece para os três grupos de tamanho.

Assim como foi feito na análise da eficiência de escala, a Tabela 17 apresenta como as usinas de cada região produtiva se dividem entre eficientes e ineficientes.

**Tabela 17 - Localização das usinas segundo pura eficiência técnica**

Variável	Eficiente	Ineficiente	Total
Região Tradicional	5	45	50
Região Centro-Sul	8	26	34
Região Norte-Nordeste	5	26	31

Fonte: Resultados da pesquisa.

A região Centro-Sul Expansão possui o maior número de usinas eficientes, enquanto a região Tradicional e Norte-Nordeste possuem o mesmo número de usinas eficientes, sendo que proporcionalmente, a ineficiência é maior na região Tradicional.

A prevalência da ineficiência é comum à todas as regiões, havendo de maneira uniforme uma má combinação dos insumos. Até mesmo a região produtiva Tradicional, que contém o estado de São Paulo, maior produtor do país e referência para o setor sucroenergético, possui um alto nível de ineficiência.

Como ponto positivo, a análise demonstra que existe grande possibilidade de expansão da produção de açúcar e álcool no setor. A recombinação dos fatores de produção e a resolução dos problemas ligados à escala de produção seriam capazes de aumentar a produção de forma significativa, já que esses problemas estão presentes na maior parte das usinas.

## 5.2 Os determinantes da eficiência técnica das usinas

Após obter os *scores* de eficiência, através do modelo DEA com orientação produto e hipótese de retornos variáveis, foi feita uma correção dos valores por *bootstrap* conforme sugerido por Simar e Wilson (2007). As medidas de eficiência corrigidas foram, então, utilizadas em um modelo econométrico de regressão truncada, e, assim, foi feita uma

investigação sobre quais variáveis, não utilizadas no modelo DEA<sup>33</sup>, determinam a eficiência das usinas sucroenergéticas.

Os resultados da regressão, referentes ao modelo Tobit, são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados do modelo de regressão truncada Tobit

Variáveis	Coeficientes	Desvio-padrão
Intercepto	0,963833***	(0,043324)
Tradicional	0,040983**	(0,020029)
Centro-Sul Expansão	0,042279*	(0,022931)
Grande	0,011181	(0,026371)
Média	-0,018531	(0,017301)
Idade varietal média	-0,002198*	(0,001260)
Produtividade do trabalho	-2,520000	(5,210000)
%Capacidade utilizada	0,066929***	(0,009545)
Investimento	5,730000	(4,050000)
Teste Razão de Verossimilhança	47,93***	

Fonte: Resultados da pesquisa;

\* Significativo a 10%, \*\*Significativo a 5%, \*\*\*Significativo a 1%

O teste de Razão de Verossimilhança mostra que o modelo é globalmente válido, uma vez que seu valor (47,93) é superior ao  $\chi^2$  tabelado (20,09), a 1% de significância, indicando que os coeficientes estimados possuem ajustamento conjunto satisfatório.

Ainda que o modelo estimado seja significativo conjuntamente, os coeficientes de algumas variáveis não foram significativos, como foi o caso das variáveis *dummy* de tamanho (Grande, Média e Pequena), da variável “Produtividade do trabalho” e da variável “Investimento”. Alguns desses resultados não eram os esperados, já que pelos resultados do modelo DEA, uma maior escala de produção, que é ligada ao tamanho da usina, e também uma maior produtividade do trabalho, pareciam ser características de usinas eficientes, levando a um entendimento de que estas variáveis seriam determinantes da eficiência técnica das usinas. No

---

<sup>33</sup> São variáveis não incluídas no modelo por não se tratarem de insumos e produtos, também chamadas de ambientais.

caso da variável “Investimento” também existia uma expectativa de que ela fosse significante e que ainda tivesse um alto impacto sobre a eficiência da usina, posto que o valor investido dentro da usina é realizado pelo empresário com o intuito de melhorar o desempenho da unidade e deveria gerar retorno.

A explicação para o tamanho da usina não ser considerado um determinante da sua eficiência está no fato de que apesar de na média, usinas eficientes moerem mais cana do que as ineficientes, estatisticamente as usinas Pequenas, Médias e Grandes possuem as mesmas chances de serem eficientes. Este resultado foi diferente do encontrado por Carlucci (2012), que encontrou evidências, através de uma pesquisa qualitativa, que as usinas Grandes deveriam ser mais eficientes que as Médias e Pequenas, pois teriam mais condições de investir em novas tecnologias capazes de aumentar sua eficiência técnica.

Em relação à variável “produtividade do trabalho” verifica-se que a quantidade de Açúcares Redutores Totais (ART<sup>34</sup>) que é extraída da cana-de-açúcar por cada trabalhador não é relevante para eficiência. A justificativa para tal está ligada ao fato de que o processo industrial de extração do ART da cana depende muito mais do tipo de tecnologia existente dentro da usina do que quem a opera. Então, a quantidade de trabalhadores adicionais não aumentaria a eficiência da usina, o que dialoga com o resultado do modelo DEA, pois, na média, as usinas eficientes tinham menos empregados que as ineficientes.

O caso da variável “Investimento” é o mais controverso, mas pode ser justificado pelo fato do estudo considerar apenas a safra 2011/12, logo apenas os valores investidos naquela safra são contabilizados. Ao mesmo tempo que uma usina que investiu na safra anterior pode ter tido um aumento de eficiência nesta safra, as usinas que investiram na safra 2011/12 podem vir a ter um aumento na eficiência na safra seguinte. Assim, evidencia-se um caráter de longo prazo do investimento que por causa disso é considerado uma variável de estoque, diferente, por exemplo, das variáveis de insumo e produto, que são variáveis de fluxo.

Entre as variáveis, cujos os coeficientes foram considerados significativos, e que por isso podem ser consideradas determinantes da eficiência técnica das usinas estão as variáveis *dummies*, que se referem à localização nas regiões produtivas (Tradicional, Centro-Sul Expansão e Norte-Nordeste), “Idade varietal média” e “%Capacidade utilizada”.

Sobre as variáveis *dummy*, considerando a região Norte-Nordeste como grupo referência<sup>35</sup>, é possível concluir que há diferença entre essa região e as outras em relação ao comportamento de eficiência. A análise do sinal dos coeficientes ainda demonstra que o fato da

<sup>34</sup> Açúcares redutores totais, é a parte da cana-de-açúcar utilizada na produção do açúcar e do álcool.

<sup>35</sup> A variável Norte-Nordeste, por ser considerada o grupo referência, foi omitida.

usina estar localizada nas regiões Tradicional e Centro-Sul Expansão, ao invés da região Norte-Nordeste, tem impacto positivo na eficiência técnica desta. Resultado semelhante foi encontrado por Carlucci (2012), que identificou a localização das usinas como um determinante para a eficiência técnica das usinas. Isso pode ser explicado pelo fato da região Norte-Nordeste possuir as usinas e canaviais mais antigos, enquanto a região Tradicional e Centro-Sul Expansão possuem condições mais favoráveis de clima, solo e aparato tecnológico. A região Tradicional inclui São Paulo, o principal produtor, centro do desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de açúcar e álcool e que possui, segundo Carlucci (2012), as melhores condições edafoclimáticas<sup>36</sup> para produzir uma cana-de-açúcar com maior teor de ART. Já a região Centro-Sul Expansão possui as usinas mais novas, construídas com as tecnologias mais recentes.

Em relação à variável “Idade varietal média”, é possível afirmar que existe uma relação direta entre o uso de variedades de cana-de-açúcar mais velhas e a diminuição da eficiência técnica da usina, o que pode ser inversamente entendido como uma relação em que variedades de cana-de-açúcar mais novas geram um aumento da eficiência técnica. Tal resultado fazia parte das hipóteses iniciais desta pesquisa e buscou justificar a importância da utilização de variedades de cana-de-açúcar mais novas para a eficiência industrial. A maior parte das inovações geradas para o setor sucroenergético correspondem às novas variedades de cana-de-açúcar que são lançadas todos os anos por Universidades e Institutos de Pesquisa, que recebem grandes investimentos com o intuito de aprimorar o desempenho dos cultivares. Além dos enormes ganhos para a fase agrícola, com o desenvolvimento de plantas resistentes à pragas e problemas climáticos, também existe a tentativa de se aumentar o percentual de ART da cana. O aumento desses açúcares é contabilizado na fase industrial, já que aumenta a quantidade de ART por tonelada de cana moída, aumentando assim a produtividade industrial. O fato de, estatisticamente, ser melhor para eficiência técnica das usinas moer variedades de cana-de-açúcar mais jovens, mostra a importância da renovação dos canaviais, com o plantio de novas variedades, o que já vem sendo pauta de políticas públicas atuais, como é o caso do PRORENOVA<sup>37</sup> do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES).

No que diz respeito à variável “%Capacidade utilizada”, constata-se que quanto maior for o percentual utilizado da capacidade de moagem da firma, maior é a sua eficiência técnica, ou seja, as usinas podem tentar reduzir a sua capacidade ociosa para se aproximar da fronteira

---

<sup>36</sup> Condições do solo e do clima para o plantio.

<sup>37</sup> O objetivo do PRORENOVA é aumentar a produção de cana-de-açúcar no Brasil, através do financiamento à renovação e implantação de novos canaviais.

de produção. Esta constatação confirma o que foi observado na análise das medidas de eficiência, uma vez que se verificou que as usinas eficientes tinham valores médios de moagem acima dos valores apresentados pelas usinas ineficientes. Sendo assim, quanto maior for a utilização da capacidade instalada de moagem, mais cana-de-açúcar será moída e consequentemente maior será a produção de açúcar e álcool, o que deverá gerar impactos positivos para a eficiência técnica da usina.

A Tabela 19 apresenta os efeitos marginais, detalhando melhor os impactos gerados na eficiência pelas variáveis que foram significantes.

Tabela 19 - Efeito marginal do tobit

Variáveis	dy/dx	Desvio padrão	X
Tradicional	0,040983**	0,020030	0,4348
Centro-Sul Expansão	0,042790*	0,022930	0,2957
Grande	0,011181	0,026370	0,2000
Médio	-0,018531	0,017300	0,5217
Idade varietal média	-0,002199*	0,001260	24,26960
Produtividade do trabalho	-2,520001	0,000000	15966,1000
%Capacidade utilizada	0,066929***	0,009550	0,7950
Investimento	5,730000	0,000000	5,1000

Fonte: Resultados da pesquisa;

\* Significativo a 10%, \*\*Significativo a 5%, \*\*\*Significativo a 1%

Através da análise dos efeitos marginais é possível afirmar que o fato da usina estar localizada na região Tradicional gera um aumento médio de 0,041 no seu *score* de eficiência<sup>38</sup>, em relação às usinas do grupo de referência (Norte-Nordeste). Situação semelhante ocorre quando a usina está localizada na região Centro-Sul Expansão, que tem um aumento médio de 0,043 unidades na eficiência em relação as usinas da região Norte-Nordeste. Assim, o aumento médio na eficiência técnica das usinas acontece para as duas regiões em relação ao grupo de referência, sendo um pouco maior na região Centro-Sul Expansão.

O efeito marginal estimado para a variável “Idade varietal média” evidencia que um ano a mais de idade para a variedade de cana-de-açúcar reduz a eficiência em 0,002 unidades. O valor pode ser considerado pequeno, mas é importante ressaltar que na amostra a média de idade está acima dos 24 anos, apesar de novas variedades de cana-de-açúcar serem

---

<sup>38</sup> Os *scores* variam entre zero e um.

disponibilizadas para comercialização todos os anos, indicando que o impacto final da utilização de variedades mais antigas sobre a eficiência técnica pode ser Grande.

A variável “%Capacidade utilizada” é que tem maior impacto sobre a eficiência técnica, sendo que a ocupação de 1% a mais da capacidade instalada produz um aumento na eficiência técnica da usina de 0,067. Este resultado reafirma a importância da escala de produção e do planejamento das usinas em relação ao fornecimento da matéria-prima, evidenciando os ganhos que podem ser gerados pela integração vertical desta indústria, que aumenta o controle do usineiro sobre o fornecimento da matéria prima.

### 5.3 Os principais *benchmarks* das usinas ineficientes

Nesta seção, pretende-se identificar os principais *benchmarks*, as usinas que mais aparecem como referência para as unidades ineficientes. A caracterização dessas unidades é feita com o propósito de aumentar a gama de possíveis estratégias que uma usina ineficiente deverá adotar para se deslocar na direção da fronteira de produção, rumo à máxima eficiência técnica.

Neste trabalho, das 18 usinas que se mostraram eficientes, 16 foram consideradas *benchmarks* para pelo menos uma usina ineficiente, sendo que apenas 9 foram referência para dez ou mais DMUs. No entanto, para uma análise mais específica, selecionou-se as quatro unidades que apareceram mais vezes com referência para outras usinas. As características relativas à eficiência técnica e de escala dessas quatro usinas é apresentada pela Tabela 20.

Tabela 20 - Os quatro maiores *benchmarks* e suas características relativas ao modelo

Especificação	<i>Benchmark</i> 1	<i>Benchmark</i> 2	<i>Benchmark</i> 3	<i>Benchmark</i> 4
Nº de vezes <i>benchmark</i>	76	48	48	43
Eficiência técnica	1,000	1,000	1,000	1,000
Eficiência de escala	1,000	1,000	0,991	0,995

Fonte: Resultados da pesquisa

A usina *benchmark* 1 é referência para 78,4% das usinas ineficientes (76/97), já as usinas *benchmark* 2 e 3 servem como referência para 49,5% das usinas (48/97), seguida pela usina *benchmark* 4, que é referência para 44,3% (43/97) das unidades ineficientes. Diante dessa análise vale ressaltar que uma mesma usina ineficiente pode ter até 4 *benchmarks* diferentes, sendo todos eles opções factíveis de comportamento para as empresas. Isso ocorre pelo fato de

uma usina ineficiente poder estar à mesma distância de quatro outras usinas que estão na fronteira de produção, logo todas podem servir de referência.

Outra característica interessante é o fato de que para ser considerada referência a usina deverá estar na fronteira de produção, apresentando eficiência técnica igual a 1, mas a sua eficiência de escala não precisa ser máxima, como acontece com os *benchmarks* 3 e 4, que apresentam problemas na escala de produção e ainda assim são consideradas referências.

Com o foco numa melhor compreensão do comportamento das unidades *benchmarks*, a Tabela 21 traz os seus valores de insumo e produto.

Tabela 21 - Insumos e produtos dos principais *benchmarks*

Variável	Unidade	Benchmark 1	Benchmark 2	Benchmark 3	Benchmark 4
Cana-de-açúcar moída na safra*	t	1.465.220	3.946.585	978.000	795.449
Número de trabalhadores da usina*	Ud	237	319	230	396
Álcool produzido na safra**	m <sup>3</sup>	121.457	79.596	25.987	17.051
Açúcar produzido na safra**	t	45.800	422.869	96.333	83.523

Fonte: Resultados da pesquisa. \*Insumo; \*\*Produto

Os *benchmarks* não possuem proporções similares de cada insumo e produto, o que revela a inexistência de um valor específico de combinação entre insumos e produtos que leve a DMU à máxima eficiência técnica.

Para finalizar a análise, a Tabela 22 aponta as características ambientais, que foram significativas no modelo *tobit*, referente aos *benchmarks*.

Tabela 22 - Variáveis ambientais significativas dos principais *benchmarks*

Variável	Unidade	Benchmark 1	Benchmark 2	Benchmark 3	Benchmark 4
Região produtora	-	Centro-Sul Expansão	Centro-Sul Expansão	Centro-Sul Expansão	Centro-Sul Expansão
Idade varietal média	anos	18	21	16	11
%Capacidade utilizada	%	58	97	100	74

Fonte: Resultados da pesquisa

Todos os *benchmarks* analisados estão localizados na região produtiva Centro-Sul Expansão, sendo que os *benchmarks* 1 e 4 estão localizados no estado de Goiás, e os *benchmarks* 2 e 3 estão localizados em Minas Gerais. Apesar do estado de São Paulo ser o principal produtor, é na região de expansão, das novas usinas, que estão as principais referências. A explicação para esse resultado pode estar no fato de grande parte das usinas

instaladas na região Centro-Sul Expansão terem sido recentemente construídas e contarem, por isso, como novas tecnologias.

Outra característica pertinente é o fato das quatro usinas *benchmarks* moerem variedades de cana-de-açúcar que na média possuem mais de 10 anos de comercialização, ainda assim, todas estão abaixo da média geral da amostra, que chega aos 24 anos. Esse pode ser um diferencial, que pode servir de exemplo para as demais usinas, já pelo resultado do modelo *tobit*, esse é um dos determinantes da eficiência.

Em relação à “%Capacidade utilizada”, apenas o *benchmark* 3 utiliza 100% da sua capacidade, e o *benchmark* 1, que aparece mais vezes, tem o menor percentual de utilização da capacidade instalada.

É possível afirmar que existe uma grande heterogeneidade entre as usinas do setor, o que é representado pela amostra e que também pode ser identificado entre os *benchmarks*. Conclui-se, então, que diferentes usinas, com diferentes localizações, tamanhos e práticas, podem atingir a eficiência e ainda serem referência para outras unidades ineficientes, ou seja, não existe uma única forma de se atingir a eficiência.

#### **5.4 Projeção das usinas sucroenergéticas na fronteira de eficiência**

Além dos resultados referentes às medidas de eficiência das usinas na safra 2011/12, a Análise Envoltória de Dados (DEA) ainda fez uma estimativa de quanto a mais de açúcar e álcool seria produzido pelas usinas ineficientes, caso elas se tornassem eficientes, projetando assim uma situação hipotética em que todas as usinas estariam na fronteira de produção.

A amostra utilizada neste trabalho continha 115 usinas, sendo que 97 apresentaram algum grau de ineficiência passível de correção. Como a variável localização se mostrou significante pelo modelo *tobit*, optou-se por analisar as três regiões separadamente, de forma a respeitar e evidenciar o potencial de cada uma delas.

##### **5.4.1 Projeção da produção de açúcar**

O cálculo dessa projeção é realizado com base nos *benchmarks*, usinas que estão na fronteira de produção, operando com eficiência técnica máxima e que por isso servem como referência para as ineficientes. A Tabela 23 apresenta os valores calculados para a produção de açúcar, por regiões produtivas.

**Tabela 23 - Projeção da produção de açúcar**

Região	Açúcar produzido (t)	Projeção aumento Açúcar (t)	Média p/usina (t)
Centro-Sul Expansão	2.873.415	315.630	12.139
Tradicional	5.788.729	688.348	15.296
Norte-Nordeste	2.456.707	402.131	15.466

Fonte: Resultados da pesquisa

A amostra referente à região Centro-Sul Expansão possui 26 usinas ineficientes, e que conforme a Tabela 23 poderiam ter um aumento de 10,9% na sua produção total de açúcar.

A região Tradicional, no que lhe concerne, poderia aumentar sua produção de açúcar em 11,9%, através da correção da ineficiência de 45 usinas. Todavia, a região Norte-Nordeste, com 26 usinas ineficientes, foi a que apresentou o maior diferencial, sendo possível aumentar 16,4% da sua produção açucareira.

Observa-se que a região Norte-Nordeste tem a capacidade de aumentar, relativamente, duas vezes mais a sua produção de açúcar do que as outras duas regiões, sendo que o seu número de usinas ineficientes é menor que o da região Tradicional e igual ao da região Centro-Sul Expansão. Esta constatação pode ser reflexo do fato da região Norte-Nordeste ter o maior percentual de usinas operando com retornos crescentes, abaixo da escala ótima, e que por isso podem aumentar sua produção sem precisar aumentar sua capacidade instalada.

#### **5.4.2 Projeção da produção de álcool**

O mesmo método de cálculo foi utilizado para estimar as projeções para a produção de álcool, que são expostas pela Tabela 24.

**Tabela 24 - Projeção da produção de álcool**

Região	Álcool produzido (m <sup>3</sup> )	Projeção aumento Álcool (m <sup>3</sup> )	Média p/usina (m <sup>3</sup> )
Centro-Sul Expansão	1.911.317	197.171	7.583
Tradicional	2.674.678	337.439	7.498
Norte-Nordeste	760.206	203.258	7.817

Fonte: Resultados da pesquisa

Mais uma vez a região que apresenta o maior aumento percentual possível foi a região Norte-Nordeste, com 26,7%, seguida pela região Tradicional, com 12,6% e pela região Centro-Sul Expansão com 10,3%, sendo importante salientar que as usinas que apresentam ineficiência na produção de açúcar, também a apresentam na produção de álcool. O sistema produtivo é considerado pelo modelo de forma integrada, conforme realmente ocorre dentro da usina.

### **5.5 Matriz insumo-produto e multiplicadores de renda, emprego e imposto**

A partir dos valores projetados, para a produção de açúcar e álcool das usinas da amostra, montou-se uma simulação, com o objetivo de mensurar os prejuízos gerados pela ineficiência das usinas sucroenergéticas, tanto para elas próprias, diminuindo o seu valor total de produção, quanto para a economia brasileira, sendo este último calculado através de choques na matriz insumo-produto.

O cálculo do valor do choque foi feito para cada uma das regiões produtivas, levando em conta que cada uma delas possui um percentual médio de ineficiência próprio. A quantidade que seria produzida a mais de açúcar e álcool é dividida pelo número de usinas ineficientes, gerando um montante médio à ser produzido por cada usina. Esse montante médio é transformado em valor médio de produção, através da média dos preços de comercialização do açúcar e do álcool durante a safra 2011/12<sup>39</sup>, fornecidos pelo CEPEA/ESALQ. Em seguida, verificou-se o percentual de ineficiência existente em cada uma das regiões, e contabilizou-se o número total de usinas produtoras<sup>40</sup> de açúcar e álcool para as regiões, obtendo-se assim uma proxy para o número total de usinas ineficientes existentes em cada região. Multiplicando-se esse número de usinas ineficientes, pelo valor médio da produção, chega-se à um valor total de produção por região, que poderia ser gerado no caso da operação eficiente de todas as usinas. Esses valores são somados e geram os valores totais para a produção de açúcar e álcool. Assim se obtém os valores que são utilizados nos choques realizados na matriz insumo-produto de 2011, através do aplicativo desenvolvido por Finamore (2016).

Foram feitos choques para a produção de açúcar e álcool separadamente porque, apesar dos dois produtos serem produzidos na mesma planta industrial, sua comercialização é feita em mercados distintos. A própria matriz insumo-produto representa essas duas atividades de forma separada, nas categorias Alimentos e Bebidas (Produção e refino do açúcar) e Álcool (Fabricação de álcool anidro e hidratado).

<sup>39</sup> A safra 2011/12 teve início em abril de 2011 e final em março de 2012.

<sup>40</sup> Essa foi uma tentativa de se expandir os resultados encontrados na amostra, de 115 usinas, para a população total, de 304 usinas, que produzem ao mesmo tempo açúcar e álcool.

### 5.5.1 Os choques na produção de açúcar

A Tabela 25 traz de forma resumida os passos realizados para o cálculo do valor médio de produção do açúcar por usina, que representa quanto a mais em média cada usina ineficiente, de cada região, iria ganhar caso se tornasse eficiente.

Tabela 25 - Cálculo do Valor médio da produção do açúcar por usina

Região	Projeção aumento Açúcar (t)	Média p/usina (t)	Média p/usina (kg)	Valor médio p/usina (R\$1,25/kg)
Centro-Sul Expansão	315.630	12.139	12.139.633	R\$ 15.174.542
Tradicional	688.348	15.296	15.296.630	R\$ 19.120.788
Norte-Nordeste	402.131	15.466	15.466.598	R\$ 19.333.247

Fonte: Resultados da pesquisa

A região Centro-Sul Expansão é a que teria, na média, os menores ganhos, enquanto as outras duas regiões possuem valores aproximados. Apesar da região Tradicional ter uma projeção de aumento maior que a da região Norte-Nordeste, o seu número de usinas ineficientes também é maior, o que dilui o seu valor médio de produção.

O próximo passo foi a identificação do número total de usinas ineficientes, expandindo os resultados encontrados na amostra para o total de usinas brasileiras produtoras de açúcar e álcool, que é apresentado pela Tabela 26.

Tabela 26 - Estimativa do número de usinas ineficientes no Brasil por região

Região	Nº de usinas Álcool+Açúcar	% Ineficiência	Nº usinas possivelmente ineficientes
Centro-Sul Expansão	77	76,5%	59
Tradicional	170	90,0%	153
Norte-Nordeste	57	83,9%	48

Fonte: Anuário da Cana 2012 e resultados da pesquisa

A partir dos valores calculados nas Tabelas 25 e 26, calculou-se os valores totais gerados pela correção de ineficiências na produção de açúcar para cada região, e que são apresentados pela Tabela 27.

Tabela 27 - Valores totais gerados pela correção das ineficiências da produção de açúcar por região

Região		Valor total projetado
Centro-Sul Expansão	R\$	893.512.744,56
Tradicional	R\$	2.925.480.576,75
Norte-Nordeste	R\$	924.253.965,73
<b>Valor do Choque</b>	<b>R\$</b>	<b>4.743.247.287,03</b>

Fonte: Resultados da pesquisa

A região Tradicional teria o maior ganho com a redução das ineficiências, o que é justificado por ela ter o maior número de usinas e ainda ser a região com o maior percentual de ineficiência.

A soma dos valores projetados para cada região gera o valor do choque. Esse valor (R\$4.743.247.287,03) já representa o impacto direto dentro do setor sucroenergético, sendo um montante adicional ao faturamento das usinas, que poderia ser gerado utilizando os mesmos insumos, desde que fossem feitas as correções das ineficiências.

Esse valor representa cerca de 8,6% da dívida do setor na safra 2011/12, que chegou aos 55,2 bilhões de reais segundo Nastary (2014). Somente esse resultado já justificaria a busca pela eficiência técnica por parte das usinas, que num momento de crise e alto endividamento, podem vislumbrar na busca pela eficiência técnica, uma forma de aumentar sua receita, e consequentemente seus lucros.

O valor do impacto direto foi ainda aplicado na matriz insumo-produto de 2011, na categoria 0301 – Alimentos e Bebidas, onde está contida a CNAE 156, que representa a fabricação e refino de açúcar. As estimativas dos impactos indiretos, induzidos e totais são apresentadas pela Tabela 28.

Tabela 28 - Impacto nos efeitos multiplicadores após correção das ineficiências das usinas na produção de açúcar

Indicadores	Especificação do Impacto		Valor (R\$)
Valor bruto da produção	Direto	R\$	4.743.247.287,03
	Indireto	R\$	6.645.946.635,74
	Induzido	R\$	8.440.199.844,48
Emprego	Total	R\$	19.829.393.767,25
	Direto		31.662
	Indireto		180.565
Impostos	Induzido		157.916
	Total		370.143
	Direto	R\$	250.427.786,33
	Indireto	R\$	303.868.047,18
	Induzido	R\$	394.900.797,71
	Total	R\$	949.196.631,22

Fonte: Resultados da pesquisa

Um impacto de 4,7 bilhões de reais no Valor Bruto da Produção (VBP) da produção e do refino do açúcar, geraria um impacto indireto de 6,7 bilhões de reais, que representa o somatório do aumento no faturamento dos outros setores ligados ao setor sucroenergético. Ou seja, esse efeito indireto, que é captado pelos multiplicadores do tipo I (Leontief), é resultado da intersetorialidade, pois para gerar mais 4,7 bilhões de reais, as usinas deverão acionar seus fornecedores, que por sua vez, possuem outros fornecedores. Finamore *et al* (2016) afirmam que existem relações de interdependência setorial que se fundem na chamada tecnologia produtiva, a partir da qual a mudança no faturamento de um setor resulta na alteração da renda de outros setores da economia.

O mesmo ocorre em relação ao emprego e a quantidade de impostos<sup>41</sup> recolhidos. Considerando que existe uma proporcionalidade entre faturamento e número de empregados, de forma a manter o equilíbrio econômico e financeiro das empresas, com o aumento no faturamento do setor sucroenergético, pela correção das ineficiências, gera-se mais de 31 mil empregos diretos nas usinas. Ao mesmo tempo, outros setores ligados à produção e refino do açúcar precisam criar 180 mil novos empregos para suprir o aumento de demanda por insumos dessa cadeia de produção.

O recolhimento de impostos também teria um acréscimo acima dos 250 milhões de reais dentro do próprio setor, caracterizando um efeito direto, enquanto outros setores aumentariam a receita do Governo em mais de 300 milhões de reais, através do efeito indireto.

---

<sup>41</sup> São somados os impostos sobre o produto e sobre a produção, melhor especificados na metodologia.

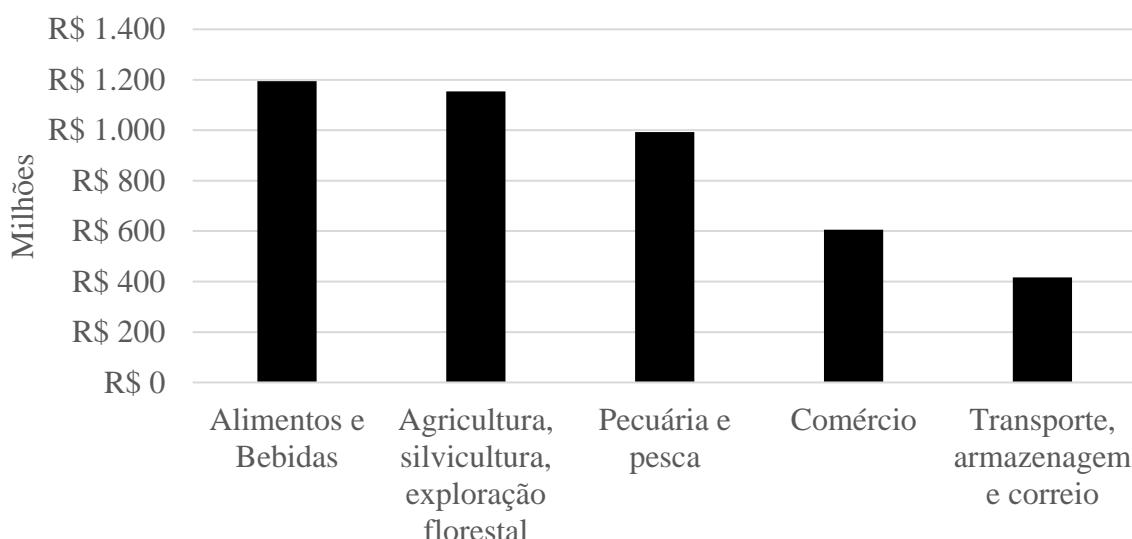
Além dos impactos diretos e indireto, ainda é possível mensurar um terceiro impacto, capturado pelos multiplicadores tipo II (Miyazawa). Esse efeito é resultado da criação dessa riqueza adicional, pelo aumento da eficiência das usinas, que ao aumentar a produção de açúcar, leva à um aumento da renda das famílias envolvidas nesse processo. O aumento da renda das famílias aumenta o consumo dessas, que assim estimulam outros setores, como o de serviços, e que acabam sendo impulsionados pela correção das ineficiências das usinas sucroenergéticas, num processo que também pode ser chamado de efeito renda.

O efeito renda gerado pelo aumento da produção de açúcar, permitiria que as famílias consumissem mais de 8,4 bilhões de reais, criando mais de 157 mil empregos e recolhendo pouco menos de 395 milhões de reais em impostos.

De forma resumida, a correção das ineficiências das usinas brasileiras na produção de açúcar provoca um aumento no faturamento dessas na ordem do 4,7 bilhões de reais, levando à um aumento de 6,7 bilhões de reais no faturamento de outros setores que estão ligados ao processo produtivo. Juntos, esses dois efeitos levam à um acréscimo na renda das famílias, que consomem mais e geram outros 8,4 bilhões de reais em outros setores da economia. Ao final do processo, mais de 19,8 bilhões de reais seriam produzidos beneficiando toda a economia brasileira. O mesmo ocorreria em relação à empregos e impostos, totalizando mais de 370 mil empregos e 949 milhões de reais em impostos.

Para complementar a análise, o Gráfico 12 traz os 5 setores da economia que seriam mais beneficiados com o aumento na produção de açúcar.

Gráfico 12 - 5 setores da economia mais beneficiados pelo aumento da produção de açúcar



Fonte: Resultados da pesquisa

O setor de Alimentos e Bebidas (0301), por ser a origem do choque de 4,8 bilhões de reais, aparece como principal beneficiado, seguido pelo setor Agricultura, silvicultura,

exploração florestal (0101), que compreende a produção da cana-de-açúcar, principal insumo para a usina. O setor de Pecuária e pesca (0102) é muito estimulado como um reflexo da renda gerada no setor agrícola, por eles terem grande proximidade. O setor de Comércio (0601) também sofre grande impacto, uma vez que esse aumento da produção deverá ser comercializado, o que também ocorre no setor de Transporte, armazenagem e correio (0701), que se beneficia em várias etapas, como o transporte dos insumos para a lavoura, da cana-de-açúcar para a usina e do açúcar para a comercialização.

### **5.5.2 Choques na produção de álcool**

O cálculo do valor médio da produção do álcool por usina foi feito da mesma maneira que o cálculo realizado para a produção de açúcar, respeitando novamente as diferenças de eficiência entre as regiões. Os passos são resumidos pela Tabela 29 que apresenta os valores projetados, seguida da quantidade média produzida por usina em m<sup>3</sup>, que é convertida para litros e assim pode ser multiplicado pelo preço médio do litro de álcool, fornecido pelo CEPEA-ESALQ.

**Tabela 29 - Cálculo do Valor médio da produção do álcool por usina**

Região	Projeção aumento Álcool (m <sup>3</sup> )	Média p/usina (m <sup>3</sup> )	Média p/usina (litros)	Valor médio p/usina (R\$1,29/litro)
Centro-Sul Expansão	197.171	7.583	7.583.509	R\$ 9.782.726,96
Tradicional	337.439	7.498	7.498.665	R\$ 9.673.279,05
Norte-Nordeste	203.258	7.817	7.817.635	R\$ 10.084.749,84

Fonte: Resultados da Pesquisa

Percebe-se que os valores médios gerados pela correção das ineficiências das usinas na produção do álcool são menores do que os mesmos valores para a produção de açúcar. Outra diferença está no fato do menor valor médio da produção do álcool ser da região Tradicional, que assim como na produção do açúcar possui o maior valor projetado, sendo que o número de usinas para cada uma das regiões é o mesmo nos dois casos, tratando-se da mesma amostra. No entanto, a projeção do aumento na produção de açúcar na região Tradicional é realmente muito superior às outras duas regiões, o que já não ocorre na produção de álcool.

Os valores apresentados na Tabela 26 foram novamente utilizados, por se tratar da mesma amostra, sendo multiplicados pelo valor médio da produção de álcool da Tabela 29.

Assim foi possível mensurar os valores totais gerados pela correção das ineficiências na produção de álcool, apresentados pela Tabela 30.

Tabela 30 - Valores totais gerados pela correção das ineficiências na produção de álcool por região

Região	Valor total projetado (R\$)
Centro-Sul Expansão	R\$ 576.029.981,43
Tradicional	R\$ 1.480.011.695,26
Norte-Nordeste	R\$ 482.116.105,47
Valor do Choque	R\$ 2.538.157.782,16

Fonte: Resultados da pesquisa

A região Tradicional teria mais uma vez o maior ganho com a redução das ineficiências. Mesmo tendo o menor valor médio, ela possui o maior número de usinas da amostra e o maior percentual de ineficiência. A região Centro-Sul Expansão, por outro lado, passou a região Norte-Nordeste que teria os menores ganhos.

A soma dos valores projetados para cada região gerou o valor do choque. Esse valor (R\$2.538.157.782,16) já representa o impacto direto dentro do setor sucroenergético, sendo um valor adicional que seria somado ao faturamento das usinas, desde que fossem feitas as correções das ineficiências.

Esse montante representa cerca de 4,6% da dívida do setor na safra 2011/12, quase a metade do valor projetado para a produção de açúcar, e que ao serem somados geram um acréscimo total no faturamento do setor que representa mais de 13% da dívida na safra.

O valor do impacto direto foi ainda aplicado na matriz insumo-produto de 2011, na categoria 0310 – Álcool, onde está contida a CNAE 234, que representa a fabricação de álcool anidro e hidratado de cana-de-açúcar. As estimativas dos efeitos indiretos, induzidos e totais são apresentadas pela Tabela 31.

Tabela 31 - Impacto nos efeitos multiplicadores após correção das ineficiências das usinas na produção de álcool

Indicadores	Especificação do Impacto	Valor (R\$)
Valor bruto da produção	Direto	R\$ 2.538.157.782,16

	Indireto	R\$	2.739.105.038,82
	Induzido	R\$	4.777.844.334,96
	Total	R\$	10.055.107.155,94
Emprego	Direto		12.486
	Indireto		102.345
	Induzido		89.395
	Total		204.226
Impostos	Direto	R\$	86.740.935,21
	Indireto	R\$	113.601.084,10
	Induzido	R\$	223.546.192,51
	Total	R\$	423.888.211,82

Fonte: Resultados da pesquisa.

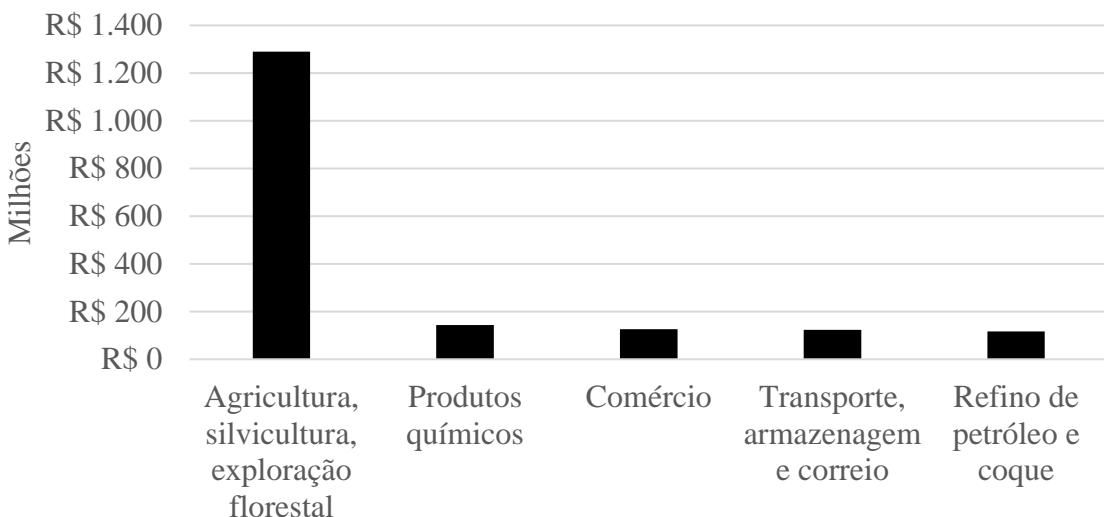
Um impacto de 2,5 bilhões de reais no Valor Bruto da Produção (VBP) da fabricação de álcool, geraria um impacto indireto de 2,7 bilhões de reais, que representa o somatório da variação no faturamento dos outros setores, que participam indiretamente da produção do álcool, o que é captado pelos multiplicadores do tipo I (Leontief). O efeito renda, que resulta dos multiplicadores do tipo II (Miyazawa), adicionam ainda 4,7 bilhões de reais ao total gerado, resultante do aumento no consumo das famílias envolvidas nos processos de produção do álcool, direta e indiretamente. Ao final, o aumento da produção de álcool, oriundo da projeção das usinas na fronteira de eficiência, produziria um aumento no VBP de mais de 10 bilhões de reais.

No caso do emprego, 2,5 bilhões de reais gerados pela produção de álcool, criam instantaneamente mais de 12 mil empregos e os efeitos indiretos no faturamento de outros setores, por sua vez, originam outras 102 mil vagas. Por fim, o efeito induzido emprega mais 89 mil trabalhadores nos mais diversos setores da economia. Logo, a operação eficiente das usinas permitiria o surgimento de 204 mil novos empregos no país.

De forma semelhante, cada um dos impactos gera um valor adicional em impostos que são recolhidos pelo governo, incidindo sobre o produto e sobre a produção. No total, seriam recolhidos mais de 423 milhões de reais em impostos pelo governo.

O Gráfico 13 evidencia os setores que apresentaram as maiores variações no VBP após o choque no setor de álcool.

Gráfico 13 – 5 setores da economia mais beneficiados pelo aumento da produção de álcool



Fonte: Resultados da pesquisa.

Mais uma vez nota-se um alto impacto no setor Agricultura, silvicultura, exploração florestal (0101). Obviamente este é o setor que compreende a produção de cana-de-açúcar e ainda recebe reflexos do aumento no faturamento das usinas, já que grande parte das usinas possuem suas próprias lavouras de cana-de-açúcar, o que caracteriza a integração vertical do setor sucroenergético.

Os outros setores possuem impactos menores e semelhantes entre si. O setor de Produtos químicos (0311) é requisitado para a produção de álcool, fornecendo enzimas e componentes que realizam a fermentação do caldo da cana-de-açúcar, e também é um grande consumidor da produção de álcool. O setor de comércio (0601) e de Transportes, armazenagem e correio (0701), tal qual na produção de açúcar são beneficiados pelo aumento na produção que deverá ser transportado, armazenado e comercializado. Já o setor de Refino de petróleo e coque (0309) tem ligação com a produção de álcool por ser um dos principais consumidores de álcool anidro que é adicionado à gasolina e utilizado em outros processos.

Com a soma dos efeitos gerados na produção de açúcar e álcool, mais de 29 bilhões de reais seriam gerados, criando 574 mil empregos e aumentando a arrecadação do Estado em 1,4 bilhões de reais. Números que comprovam a importância do setor para a economia brasileira e que justificam a busca pelas melhores práticas pelas empresas e o seu estímulo por parte dos formuladores de políticas públicas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor sucroenergético figura entre os segmentos produtivos de maior relevância para a economia brasileira. Tal afirmação se justifica por seus dois produtos finais, o açúcar e o álcool, serem considerados pelo governo brasileiro como itens importantes e até estratégicos para o abastecimento interno, e ainda possuírem pesos significativos nas exportações brasileiras.

Nos últimos anos, essa agroindústria experimentou uma redução no ritmo de crescimento das suas produtividades agrícola e industrial. Esse fato pode ser considerado causa e ao mesmo tempo consequência de uma crise que se instalou no setor após 2009, cujos motivos perpassam pelo controle indireto dos preços do álcool, pelo governo, aumento dos custos de produção, entre outros.

Diante dessa conjuntura de crise, o objetivo deste trabalho foi analisar o nível de eficiência das usinas sucroenergéticas brasileiras, delimitando quais seriam os seus determinantes, ou seja, quais características seriam relevantes para o alcance da máxima eficiência técnica, com o aproveitamento total dos fatores de produção. Ao mesmo tempo buscou-se, mensurar quais são os impactos da ineficiência dessas plantas produtivas para as próprias empresas e para a economia brasileira, que perde em geração de renda, empregos e recolhimento de tributos. Assim, a ideia geral do trabalho foi avaliar o desempenho dessas organizações, na fase industrial do seu processo de produção, sugerindo alternativas que levariam à um melhor desempenho e, ao mesmo tempo, justificar a busca pela máxima eficiência, o que poderia ser de grande valia para essas firmas num momento de crise.

A fim de solucionar o problema de pesquisa proposto, utilizou-se metodologias paramétricas e não-paramétricas, além de uma simulação de choques na matriz insumo-produto brasileira, usando como base uma amostra de 115 usinas produtoras de açúcar e álcool, que representam 37,8% do total de usinas<sup>42</sup>, e estão localizadas em três regiões produtivas diferentes, Tradicional, Centro-Sul Expansão e Norte-Nordeste.

O primeiro procedimento realizado foi a mensuração da eficiência técnica dessas usinas, por meio do método DEA, através de dois modelos com orientação produto, com diferentes pressuposições de retorno. Sob a pressuposição de retornos constante à escala, observou-se que 5 das 115 usinas, 4,3% da amostra, apresentaram máxima eficiência técnica, e o nível médio de eficiência ficou acima dos 86%. Em relação ao pressuposto de retornos variáveis à escala, 18 das 115 usinas, 15,7% da amostra, são tecnicamente eficientes, e a média de eficiência, nesse

---

<sup>42</sup> Entre as usinas que produzem açúcar e álcool ao mesmo tempo.

caso, ficou acima dos 90%. Cabe salientar que apesar de poucas usinas terem atingido a máxima eficiência técnica, nos dois modelos, as usinas ineficientes obtiveram *scores* próximo do máximo, sendo que para ambos os modelos, a maior concentração de usinas ocorre no intervalo acima dos 80%. Isso mostra que a maior parte das usinas está próxima da fronteira de produção, demonstrando que as usinas são relativamente homogêneas em relação à eficiência técnica.

Na análise da eficiência de escala, verificou-se que apenas 6 das 115 usinas estão operando sob retornos constantes, e entre essas, 5 estão também na fronteira de produção, ou seja, estão combinando máxima eficiência com escala ótima de produção. A maior parte das usinas está operando com retornos crescentes, e deveriam expandir sua produção. Esse acontecimento poderia ser justificado e atenuado pelo fato da safra 2011/12 de cana-de-açúcar ter tido uma queda de 10% em relação à anterior, o que diminuiu a oferta pela matéria-prima e pode ter forçado as usinas a reduzirem seu percentual da capacidade instalada utilizado. Contudo, a maior parte das usinas com retornos crescentes ainda combina de forma incorreta os seus insumos, e não está sob a fronteira de produção, sofrendo, dessa maneira, dos dois males.

Definiu-se o perfil da usina característica que opera com retornos constantes e que por isso está na sua escala ótima de produção. Ela possui uma média de eficiência técnica acima das usinas que operam sob retornos crescentes e decrescentes, mói mais cana e utiliza menos trabalhadores, mas produz mais açúcar e álcool do que a média geral das usinas. A maior parte delas são usinas consideradas Grandes e que estão localizadas na região produtiva Tradicional.

A análise da pura eficiência, do modelo com retornos variáveis reforçou a importância de algumas variáveis para a eficiência técnica dessas unidades, pois a usina eficiente característica mói uma maior quantidade de cana, usa menos trabalhadores e produz mais álcool e mais açúcar que média amostral, mesmo resultado das usinas que estão na escala ótima de produção. A maior parte das usinas eficientes são ou grandes ou pequenas e estão localizadas na região produtiva Centro-Sul Expansão. Com isso foi possível fazer algumas suposições sobre os determinantes da eficiência técnica das usinas, como a importância da maior escala de produção e do aproveitamento máximo da capacidade instalada e também sobre a maior produtividade do trabalho, uma vez que as usinas eficientes produziam mais utilizando menos empregados.

Em seguida, estimou-se, através de um modelo de regressão truncada com *bootstrap*, quais seriam os determinantes da eficiência técnica das usinas, no qual a variável explicada era composta pelos *scores* de eficiência corrigidos pelo método sugerido por Simar e Wilson (2007), e as variáveis explicativas eram *dummies* que buscavam captar a importância do

tamanho e da localização das usinas, e variáveis contínuas como o valor da “Produtividade do Trabalho”, “Investimento”, “%Capacidade utilizada” e “Idade Varietal Média”.

Somente as variáveis *dummy* de localização (Tradicional, Centro-Sul Expansão e Norte-Nordeste) e as variáveis “%Capacidade utilizada” e “Idade Varietal Média” foram significativas. Em relação à localização, verificou-se que o fato da usina estar localizada nas regiões produtivas Centro-Sul Expansão ou Tradicional, aumenta em média 0,04 unidades a sua eficiência, ou seja, a localização de uma usina nessas regiões tem impacto positivo sobre a eficiência técnica, quando comparado à localização na região Norte-Nordeste.

Sobre a “Idade Varietal Média”, notou-se que quanto maior é a idade da variedade de cana-de-açúcar moída pela usina, menor é a eficiência, logo variedades mais novas tenderiam a aumentar a eficiência técnica das usinas. Mais especificamente, é possível afirmar que em média, um ano a mais para a variedade moída, reduz a eficiência em 0,002 unidades. Esse valor pode parecer pequeno e pouco relevante, mas a maioria das usinas mói variedades que foram lançadas há mais de 24 anos, e o impacto desse somatório de anos pode ser o fator determinante capaz de deixar a usina fora da fronteira de produção. Mais do que isso, esse resultado corrobora para confirmar a necessidade da renovação dos canaviais, com o plantio de novas variedades, o que já é objeto de políticas públicas como o PRORENOVA, do BNDES. As variedades, ou cultivares, de cana-de-açúcar são um dos principais focos dos esforços de P&D do setor sucroenergético, que lança todos os anos novas opções para plantio, capazes de gerar ganhos de produtividade na fase agrícola e que, conforme verificou-se, são repassados para a fase industrial, confirmando, então, a importância da integração vertical para essa agroindústria, visto que decisões tomadas na fase agrícola geram impactos para a fase industrial, sendo interessante que estas decisões sejam tomadas considerando todas as fases do processo produtivo.

A variável “%Capacidade utilizada” foi a que demonstrou maior impacto sobre a eficiência técnica, já que o aumento de 1% na utilização da capacidade instalada aumenta em média a eficiência em 0,067 unidades. Esse resultado, combinado com os resultados da análise da eficiência de escala e da pura eficiência, deixam evidente a importância da escala de produção para a eficiência técnica. Quanto maior a quantidade de cana-de-açúcar moída e assim a produção de açúcar e álcool, maior é a eficiência da usina, o que ainda é acentuado pela diluição dos custos fixos com o aumento da escala de produção. Mais uma vez, evidencia-se a importância da integração vertical entre plantação de cana e usina, pois assim o empresário tem maior controle sobre a quantidade e qualidade da matéria-prima disponível, ficando menos vulnerável às quebras de safra.

De forma adicional, foi feita uma exploração dos quatro principais *benchmarks*, unidades eficientes que apareceram mais vezes como referência para as ineficientes. Essas usinas estão localizadas na região produtiva Centro-Sul Expansão e a “Idade Varietal Média” do seu *mix* de moagem é menor do que a média amostral, no entanto as suas combinações de insumo e produto, assim como sua “%Capacidade utilizada” não apresentam uma tendência em comum. É possível considerar que essa falta de tendência esteja relacionada com a heterogeneidade produtiva dessas usinas, e demonstra que apesar de existirem fatores que aumentam as chances de uma usina obter a máxima eficiência técnica, ainda assim não existe uma expressão única, um caminho previamente definido e delimitado para alcançá-la. Diferentes usinas, de tamanhos e locais diferentes podem ser eficientes e ainda se tornarem referência para as outras.

Uma vez finalizado o estudo do nível de eficiência técnica das usinas e seus principais determinantes, buscou-se mostrar a importância de as usinas terem como meta a máxima eficiência técnica. Para isso foi feito o cálculo, através de uma simulação, de quanto a mais de renda, empregos e impostos seriam gerados caso as usinas que apresentaram algum nível de ineficiência se tornassem eficientes, corrigindo seus problemas.

O primeiro passo para a construção dessa simulação foi a projeção das usinas ineficientes na fronteira de produção. Essa projeção foi feita por região produtiva, afim de respeitar as diferenças de eficiência de cada região, comprovadas pelo modelo Tobit. Caso as usinas se deslocassem para a fronteira de eficiência, a produção de açúcar da região Norte-Nordeste teria um aumento de 26,7%, seguido pelo aumento de 12,6% da região Tradicional e 10,3% da região Centro-Sul Expansão. O impacto na produção de álcool seria menor com um aumento de 16,4% na produção da região Norte-Nordeste, 11,9% na região Tradicional e de 10,9% na região Centro-Sul Expansão.

Em seguida, o aumento de produção física projetado para as usinas foi transformado em valor de produção (R\$), representando quanto a mais de renda seria gerada para o próprio setor. Esse valor equivale ao impacto direto do setor na economia, corresponde ao valor do choque que foi aplicado na matriz insumo-produto. A soma dos valores de produção gerado nas três regiões produtiva ficou próximo dos 4,8 bilhões de reais para a produção de açúcar e acima dos 2,5 bilhões de reais para a produção de álcool.

O choque desses valores, na matriz insumo-produto brasileira, permite um cálculo aproximado de quanto de renda, empregos e impostos seriam gerados no próprio setor e também nos outros setores da economia que possuem relações interindustriais com a produção de açúcar e álcool, os chamados efeitos indiretos da expansão produtiva. Ainda é possível mensurar os

efeitos induzidos, fruto do aumento da renda das famílias beneficiadas com essa nova geração de renda e empregos. O somatório de todos os efeitos (direto, indireto e induzido), resultantes do aumento na produção de açúcar e álcool, provocaria um aumento do VBP de 29,8 bilhões de reais, seriam criados mais de 574 mil empregos e o Estado brasileiro recolheria em torno de 1,3 bilhões de reais em impostos, diretos e indiretos.

Os valores que seriam gerados com a correção das ineficiências das usinas justificam a busca pela máxima eficiência técnica, uma vez que só o valor do impacto direto total representa 13% da dívida do setor na safra 2011/12, podendo por si só ser de grande valia para essas empresas num momento de crise. Os efeitos criados para a economia brasileira também são significativos, sobretudo num momento em que o país enfrenta um alto nível de desemprego, com o governo priorizando o saneamento das contas públicas.

A combinação dos resultados confere ao setor sucroenergético perspectivas positivas. Inicialmente pela possibilidade de expansão produtiva apenas pela correção de ineficiências e aumento da escala de produção. Em segundo lugar, fatores que auxiliariam no aumento da eficiência produtiva, como é o caso das variedades de cana-de-açúcar mais novas, estão disponíveis no mercado e sua adoção é incentivada pelo BNDES. Além disso, a importância do setor na economia foi comprovada pelos efeitos que seu aumento produtivo gera em termos de renda, empregos e impostos. Com isso, concluiu-se que seria do interesse do governo o estímulo ao setor, sobretudo para que ele aumente sua eficiência e a sua produtividade.

Por fim, este estudo mostrou um panorama da eficiência técnica das usinas sucroenergéticas brasileiras, apontando seus principais determinantes e as possíveis melhores práticas que deveriam ser consideradas pelos empresários e formuladores de políticas públicas dessa agroindústria, já que os ganhos resultantes dessa busca seriam valiosos para o setor e para o país. Espera-se que estes agentes tenham, assim, um incentivo na busca pela máxima eficiência, e que o setor sucroenergético possa prosperar.

Um próximo passo para a continuidade desta pesquisa seria um estudo semelhante, direcionado para a fase agrícola, o que permitiria o entendimento geral dessa cadeia de produção. Além disso, também seria interessante um estudo mais profundo sobre a evolução da produtividade agrícola e industrial do setor sucroenergético, assim como um estudo sobre as causas e consequências de suas variações, afim de munir os agentes envolvidos na produção de açúcar e álcool, com informações relevantes que estimulem o desenvolvimento dessa agroindústria.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABARCA, C. D. G. Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil. Anais da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Engep), 1999.
- ABRAMOVITZ, M. Resource and output trends in the United States since 1870. *American Economic Review* 46, 1956.
- BANKER, R. D.; NATARAJAN, R. Statistical tests based on DEA efficiency estimators. In: COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. (Eds.). *Handbook of Data Envelopment Analysis*. International Series in Operational Research & Management Science. Vol. 71, 2004.
- 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, 1984.
- BANKER, R. D.; ZHENG, Z.; NATARAJN, R. DEA-based hypothesis tests for comparing two groups of decision making units. *European Journal of Operation Research*, n. 206, 2010.
- BAUMOL, W. J.; PANZAR, J. C.; WILLIG, R. D. *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*. Harcourt Brace Jovanovich, Nova York, 1982.
- CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. *Microeconometrics using stata*. 2009.
- CANO, A.; TUPY, O. Eficiência produtiva de usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo. XLIII Congresso da Sober. Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Ribeirão Preto, 2005.
- CARLUCCI, F. V. Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.
- CAVES, R. E. *Industrial organization, corporate strategy and structure*. Springer US, 1992.
- CEPEA/ESALQ. PIB do Agronegócio. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2016.
- CEPEA/ESALQ. Agromensal. Informações de Mercado. Mês de referência : Dezembro, 2011. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.
- CHAGAS, R. S. B. Análise da estrutura industrial e da concorrência na agroindústria canavieira do Brasil entre 2000 e 2010. Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Ciências Econômicas. Universidade Federal do Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2011.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, v. 2, n. 6, 1978.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications*. Springer Science & Business Media, 1994.

- COELLI, T.J.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G.E. An introduction to efficiency and productivity analysis. Kluwer Academic, Boston, 2005.
- CONCEIÇÃO, J. C. P. R.; CONCEIÇÃO P. H. Z. Agricultura: evolução e importância para a balança comercial brasileira. Texto para discussão – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, v. 1944, Rio de Janeiro, 2014.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. Springer Science & Business Media, 2000.
- CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia. São Paulo: Atlas, 2007.
- COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. Expected growth of sugarcane industry and impact on the Brazilian economy: 2015 and 2020. 58th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International. Miami, 2011.
- DALBERTO, C.R.; ERVILHA, G.T.; BOHN, L.; GOMES, A.P. Índice de desenvolvimento humano eficiente: uma mensuração alternativa do bem-estar das nações. ANPEC/SUL. Curitiba, 2013.
- DANIEL, L. P. Eficiência na oferta de serviços públicos de saúde nos municípios do estado de Mato Grosso. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- ERVILHA, G. T.; GOMES, A. P.; ALVES, G. D. P.; Determinantes do desempenho técnico das empresas moveleiras do Arranjo Produtivo Local de Ubá-MG. Revista Brasileira de Economia de Empresas, 2013.
- FACHINELLO, A.; KROTH, D. C. Interdependência e setores-chave na economia da Santa Catarina: uma análise de insumo-produto. Revista de Economia, 2012.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 120. n. 3, 1957.
- FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações. Editora UFV, Viçosa, 2009.
- FINAMORE, E. B. Aplicativo Simulador de Impactos Econômicos: Insumo\_Produto\_2011 (VBA). Passo Fundo, 2016.
- FINAMORE, E. B.; MONTOYA, M. A. Avaliação de Impactos Econômicos no Rio Grande do Sul: Uma Abordagem de Insumo-Produto. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2013.
- FINAMORE, E. B.; GOMES, A. P.; DIAS, R. S. Eficiência relativa dos setores econômicos do Rio Grande do Sul: uma aplicação do modelo DEA na matriz de insumo-produto. Análise–Revista de Administração da PUCRS, 2006.
- FONSECA, M. G. D.; CHAGAS, R. S. B.; BRAGA, L. A. M.; MORAES, E. Cambios tecnológicos en la producción de Bioetanol: veinticinco años de desarrollo y crisis. Rio de Janeiro, 2015.

- FONSECA, M. G. D.; SILVEIRA, J. M.; COSTA, C. M; ROSÁRIO, F. J. P.; NEVES, R. E. A dinâmica agroindustrial e tecnológica da agroindústria brasileira sob a ótica de sistemas de inovação: grãos e cana-de-açúcar. Workshop BRICS. Rio de Janeiro, 2007.
- GUILHOTO, J. J. M. Leontief e Insumo-Produto: Antecedentes, Princípios e Evolução. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- GOMES, A. P.; BAPTISTA, A. J. M. S; WENDLING, L. L. Fatores discriminantes do desempenho regional da produção de leite. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural. USP, Ribeirão Preto, 2005.
- GOMES, A. P.; ERVILHA, G. T. Eficiência produtiva e capacitação da mão de obra em empresas moveleiras. XXIV Jornadas Luso Espanholas de Gestão Científica, 2014.
- GREENE, W. H. Econometric analysis. Pearson Education India, 2003.
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. Bookmam, 2009.
- IBGE. Matriz de Insumo-Produto Brasil. Consta nacionais
- IBGE. Matriz de Insumo-Produto Brasil. Contas Nacionais nº 23 2000/2005. Rio de Janeiro, 2008.
- KIRJAVAINEN, T.; LOIKKANENT, H. A. Efficiency differences of Finnish senior secondary schools: an application of DEA and Tobit analysis. *Economics of Education Review*, v. 17, n. 4, 1998.
- JÚNIOR, A. C. B.; ABRANTES, L. A., GOMES, A. P.; GONÇALVES, R. M. L. A eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo. *Revista Ambiente Contabil*, v. 4, n. 2, p. 74, 2012.
- JUNIOR, A. P. S.; BONACIM, C. A. G.; J., 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, 2011.
- KOUTSOYANNIS, A. Modern Microeconomics, 2nd ed. MacMillan, Londres, 1979
- LEMOS, J. C. M.; TANCREDO, M. O. C. Uma análise comparativa entre o difusor e a moenda na extração da sacarose. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade de Franca, Franca, 2010.
- LEONTIEF, W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The review of economic statistics*, p. 105-125, 1936.
- LEONTIEF, W. Input-Output Analysis. The New Palgrave. A Dictionary of Economics, vol. 2., p. 860-64, 1987.
- LINS, M. P. E.; MEZA, L. A. Análise envoltória de dados: e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

LOVELL, C. A. K. Production frontiers and productive efficiency. The measurement of productive efficiency: techniques and applications, p. 3-67, 1993.

MACEDO, M. A. 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, 2010.

MAHADEVAN, R. The high price of sweetness: The twin challenges of efficiency and soil erosion in Fiji's sugar industry. Ecological Economics, v. 66, n. 2, p. 468-477, 2008.

MARTINELLI, L. A.; GARRETT, R.; FERRAZ, S.; NAYLOR, R. Sugar and ethanol production as rural development strategy in Brazil: evidence from the state of São Paulo. Agricultural Systems, v. 104, p. 419-428, 2011.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. Input-Output Analysis: Foundations and Extensions. Prentice-Hall. Englewood, 1985

MIRANDA, R. J. S. A eficiência dos serviços de saneamento e o impacto na geração de emprego e renda em Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

MIYAZAWA, K. Input-output analysis and the structure of income distribution. Mathematical economics Lectures notes in economics and mathematical systems. Springer , Germany, 1976.

NASTARY, P. Avaliação e perspectivas do setor sucroenergético. Texto apresentado na Câmara Setorial de Açúcar e Álcool do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa, 2014.

NICHOLSON, W.; CHRISTOPHER, S. Microeconomic theory: basic principles and extensions. Cengage Learning, 2011.

NYKO D.; VALENTE M. S.; MILANEZ A.Y.; TANAKA A. K. R.; RODRIGUES A. V. P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural. BNDES Setorial, v. 37, 2013.

OLIVEIRA, T. B. A.; BORNIA, C. B.; SILVEIRA, S. F. R.; DRUMOND, A. M.; OLIVEIRA, M. W. Análise de custos de eficiência de fazendas produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltória de dados. Custos e @gronegócio online, v. 10, n.1, 2014.

OLIVEIRA, E. R. Procedimentos e normas para o acompanhamento de análise da qualidade da cana-de-açúcar. Organização de Plantadores de cana da região Centro-Sul do Brasil, 2012.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. Research policy, v. 13, n. 6, 1984.

PECEGE, PV. Custo de Produção Agrícola e Industrial de Açúcar e Álcool no Brasil na Safra 2007/2008. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil–CNA.: Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

PECEGE, PV. Custo de Produção Agrícola e Industrial de Açúcar e Álcool no Brasil na Safra 2011/2012. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil–CNA.:

Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

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. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

PROCANA. Anuário da Cana 2015. Ribeirão Preto, 2015.

PROCANA. Anuário da Cana 2012. Ribeirão Preto, 2012.

PROITE, A.; SOUZA, M. C. S. Eficiência técnica, economias de escala, estrutura da propriedade e tipo de gestão no sistema hospitalar brasileiro. 32º ANPEC, 2004.

QUESNAY, F. Tableau Economique. França, 1759.

RICHARDSON, H. W. Insumo Produto e Economia Regional. Zahar Editores, 1978.

ROSÁRIO, F. J. P. Competitividade e Transformações Estruturais na Agroindústria sucroalcooleira no Brasil: uma análise sob a ótica dos sistemas setoriais de inovações. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, M. L.; LÍRIO, V. S.; VIEIRA, W. C. Microeconomia Aplicada. Suprema, 2009a.

SANTOS, V. F.; VIEIRA, W. C.; RUFINO, J. L. S.; LIMA, J. R. F. Análise da eficiência técnica de talhões de café irrigados e não-irrigados em Minas Gerais:2004-2006. Revista de Economia e Sociologia Rural, Piracicaba, 2009b.

SALGADO JUNIOR, A. P.; BONACIM, C. A. G.; PACAGNCCA JUNIOR, A. C. Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste de São Paulo. Organizações Rurais e Agroindustriais/Rural, v.11, n. 3, 2009.

SCHUMPETER, J. A. Business cycles. McGraw-Hill, New York, 1939.

SECRETÁRIA DE COMÉRCIO EXTERIOR (SECEX). Dados sobre o comércio exterior brasileiro - Séries Históricas. Acesso em julho, 2016.

SHIKIDA, P. F. A.; NEVES, M. F.; REZENDE, R. A. Notas sobre dinâmica tecnológica e agroindústria canavieira no Brasil In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (orgs.). Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios. Atlas, São Paulo, 2002.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. Journal of econometrics, v. 136, n. 1, 2007.

SOLOW, R. M. Technical Change and the Aggregate Production Function. Review of Economics and Statistics 39, 1957.

SOUSA, M. C. S.; STOSIC, B. Jackstrapping DEA Scores for Robust Efficiency Measurement. XX Encontro Nacional de Econometria (SBE). Anais. Porto Seguro, 2003.

- SOUZA, U. R.; BRAGA, M. J.; FERREIRA, M. A. M. Fatores associados à eficiência técnica e de escala das cooperativas agropecuárias paranaenses. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 49, n. 3, p. 573-597, 2011.
- TERCIOTE, R. Impactos econômicos da implementação das novas usinas de cana-de-açúcar. *Encontro de Energia no Meio Rural*, 2006.
- TORQUATO, S. A.; MARTINS, R.; RAMOS, S. F. Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: eficiência econômica das regionais novas e tradicionais de produção. *Informações Econômicas*, v. 39, n. 5, 2009.
- TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, 1998.
- UDOP. Mapa das usinas e destilarias brasileira. Disponível em <<http://www.udop.com.br/#>>. Acesso em novembro, 2015.
- UNICADATA. Dados e Estatísticas sobre o setor sucroenergético. Acesso em setembro, 2016.
- VARIAN, H. R. *Microeconomic analysis*. Norton & Company, 1992.
- WALRAS, L. *Eléments d'économie politique pure ou théorie de la richesse sociale*. Lausanne, Paris, 1874.
- WILSON, P. W. *FEAR 2.0: A Software Package for Frontier Efficiency Analysis with R*. Socio-Economic Planning Sciences. Clemson, 2008.