



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA**

CAROLINE NASCIMENTO PEREIRA

**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 APRESENTADA
AO INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, NA ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO, ESPAÇO E MEIO AMBIENTE.

PROF. DR. JOSÉ MARIA FERREIRA JARDIM DA SILVEIRA – ORIENTADOR

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA POR CAROLINE
NASCIMENTO PEREIRA E ORIENTADA PELA PROF. DR.
JOSÉ MARIA FERREIRA JARDIM DA SILVEIRA.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "José", is written over a horizontal line.

CAMPINAS, 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
Maria Teodora Buoro Albertini – CRB8/2142 –
CEDOC/INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNICAMP

P414a Pereira, Caroline Nascimento, 1982-
Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil com o método Análise Envolvória de Dados (DEA) - Índice de Malmquist / Caroline Nascimento Pereira - Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: José Maria Ferreira Jardim da Silveira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Agroindústria canavieira. 2. Eficiência industrial. 3. Análise envoltória de dados. I. Silveira, José Maria Ferreira Jardim da, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.

12-029-BIE

Informações para Biblioteca Digital

Título em Inglês: Productivity efficiency analysis of sugarcane mills in Central-Southern Brazil using data envelopment analysis (DEA) – Malmquist Index

Palavras-chave em inglês:

Sugarcane industry

Industrial productivity

DEA (Data envelopment analysis)

Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente

Titulação: Mestre em Desenvolvimento Econômico

Banca examinadora:

José Maria Ferreira Jardim da Silveira

Marcelo Marques de Magalhães

Andréa Leda Ramos de Oliveira

Data da defesa: 24-02-2012

Programa de Pós-Graduação: Desenvolvimento Econômico

Dissertação de Mestrado

Aluna: **Caroline Nascimento Pereira**

“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”

Defendida em 24 / 02 / 2012

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. José Maria Ferreira Jardim da Silveira
Instituto de Economia / UNICAMP



Prof. Dr. Marcelo Marques de Magalhães
Unesp/Tupã



Profa. Dra. Andréa Leda Ramos de Oliveira
IEA/SP

*Aos meus pais,
Laura e Rubens,
Com muita gratidão*

Agradecimentos

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização do mestrado e desta dissertação, através de conselhos, idéias e discussões, e também, de apoio e força nos momentos difíceis.

Em especial, agradeço minha família por tudo que fizeram e fazem por mim e peço desculpas pelos momentos de ausência ao longo dos últimos três anos. Aos meus pais, Rubens e Laura, que sempre incentivaram e priorizaram os estudos, sem eles, hoje eu nada seria. Não poderia também de mencionar minha irmã Fernanda, por toda vivacidade e alegria.

Ao grande Prof. José Maria, pela orientação desde o tempo de graduação, com quem aprender é sempre uma fonte de motivação para se tornar um profissional cada vez mais competente e sábio. Admiro pela grande sabedoria e por acreditar fortemente na capacidade de seus alunos.

Aos professores da banca de qualificação, Rodrigo Lanna, Pedro Abel e Yolanda Abreu, pelas contribuições para o melhor caminho do trabalho. E aos professores da banca de defesa, Andrea Leda e Marcelo Magalhães, agradeço pela presença, contribuições e correções.

Agradeço aos meus supervisores e amigos da Embrapa, Aryverton e Pedro Abel, pela compreensão e pela valiosa ajuda nos momentos de dúvidas, além das sempre muito proveitosas e divertidas viagens às usinas. Também não poderia esquecer o Sr. Henrique Amorim, da Consultoria Fermentec, pelo fornecimento dos dados e pela atenção concedida. E também a Sra. Elimara, da União dos Produtores de Açúcar (UNICA) pela solicitude na concessão dos dados.

Aos professores Tuca, Bastiaan, Belik, Pedro Ramos, Ângela e Éster, pelas contribuições nas idéias e melhorias do trabalho.

Aos grandes amigos, Mariana Pedro Miranda, Paulo, Jaim, Armando, Rafael, Lima Jr, Hugo e Pedro Henrique, me falta espaço aqui para descrever a importância de cada um na minha vida nos últimos três anos, mas tenho certeza que com eles o caminho foi muito mais feliz e esperançoso.

Não poderia deixar de lembrar das minhas queridas companheiras de moradia, pela companhia e força nesses anos juntas, Fernanda, Raquel, Paula, Dolores, Pati e Kelin, pela companhia e força nesses anos juntas.

Aos amigos de longa data, Viviane, André, Silas, Guilherme Macorin e Gustavo, que mesmo distantes, sempre estiveram presentes

Aos queridos amigos e colegas que a pós-graduação me trouxe desde o início, Elia, Allan, Débora, Fábio, Déborah, Rafael, Daniel, Henrique, Ana Elisa, Ana Luísa, Lygia, Patrícia, Bruno, Victor e Ulisses. Aproveito e lembro do estimado e precioso Tomás, um exemplo para toda a vida!

Aos funcionários do Instituto de Economia, pela atenção e solicitude desde os tempos de graduação, Cida, Marinete, Regina, Fátima, Régis, Alex e Andréa. Em especial à minha querida Tiana, por toda dedicação e amor ao próximo.

E, por fim, CAPES e EMBRAPA, pelo apoio para a consecução deste trabalho.

Ser feliz sem motivo é a mais autêntica forma de felicidade
Carlos Drummond de Andrade

Resumo

Esta dissertação se insere dentro da temática da importância da cana-de-açúcar como fonte alternativa de energia, tanto para a produção de bioetanol, como para a produção de energia elétrica e demais subprodutos. Como o Brasil é um país que está na dianteira desse processo desde os anos 1970, estimulando e potencializando suas capacidades produtivas, a questão que emerge é a possibilidade de fazer o melhor uso dos recursos produtivos no setor sucroenergético, dado que se trata de um setor estratégico pela demanda crescente por energia e exista uma pressão ambiental, econômica e geopolítica pela descoberta e uso de novas fontes de energia, alternativas ao petróleo e derivados. A partir desse problema, o foco recai sobre as unidades produtivas do setor, com o objetivo de analisar os ganhos de eficiência produtiva das mesmas dentro desse contexto de demanda aquecida.

O trabalho se propõe a mensurar e analisar a produtividade total dos fatores (PTF) e seus componentes para 17 usinas da região Centro-Sul do Brasil durante o período 2001 – 2008 com base na metodologia de COELLI (1997) a partir dos dados concedidos pela Consultoria Fermentec e pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA). O método utilizado é a Análise Envoltória de Dados (DEA), com o uso do índice de Malmquist. Uma segunda parte da análise relacionou os ganhos obtidos pelas usinas com algumas variáveis, como o tempo de contratação de consultoria, idade da usina, tamanho da usina, mix de produção, rendimento geral da destilaria e ART.

Palavras-chave: Agroindústria canavieira, Eficiência industrial, Análise Envoltória de Dados.

Abstract

The study carried out in this thesis relates to the question of the importance of sugar cane as alternative source of energy, producing ethanol, electric power and other sub-products. Taking into consideration that Brazil is leading this process since 1970, encouraging and investing in production capacity, the concerns is about how to make the better use of productive resources of sugar cane energy sector.

This sector is a promising one due to increasing demand for energy as well as the increasing demand on new sources of energy able to replace petroleum and products that are under strong pressure due to environmental, economic and geopolitical concerns in this field. From this perspective, this study focuses on the production units, seeking to analyze the yield gains in the context of high demand.

The thesis looks to mensurate and analyze total factor productivity (TFP) and its components of 17 of cane sugar mill in south-central region in Brazil, between 2001 and 2008. It is adopted COELLI (1997) methodology with data granted by Fermentec Consulting and União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) are considered. Data Envelopment Analysis (DEA) method with Malmquist index is used. A second step of analysis correlates the yield gains with other variables, such as the duration of consulting contracts, cane sugar mill time of life and size, production mix, general income generated by distillery and ART.

Key words: Sugarcane industry, Industrial productivity, DEA (Data Envelopment Analysis).

Índice de Tabelas

1.1	Maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar em quantidade produzida (mi ton) – 2001 – 2008.....	13
1.2	Produção de cana-de-açúcar – Centro-Sul e Brasil – 2001/02 – 2008/09 (mil l).....	19
1.3	Produção de etanol – Centro-Sul e Brasil – 2001/02 – 2008/09 (mil l).....	20
1.4	Distribuição do parque sucroenergético – Brasil – 1990 – 2010.....	23
1.5	Distribuição do parque sucroenergético – Região Centro-Sul – 2010	23
4.1	Processamento de cana-de-açúcar (em t) – 2001 – 2008.....	60
4.2	Comparativo entre a produção de etanol e açúcar na região Centro-Sul e amostra – 2001 – 2008.....	61
4.3	Dados de produção e empregados na indústria – amostra – 2001 – 2008.....	62
4.4	Amostra pelo volume de cana moída, produção final, empregados e produção parcial – média dos anos – 2001 – 2003.....	63
4.5	Amostra pelo volume de cana moída, produção final, empregados e produção parcial – média dos anos – 2004 – 2006.....	64
4.6	Amostra pelo volume de cana moída, produção final, empregados e produção parcial – média dos anos – 2007 – 2008.....	66
4.7	Mix de produção – etanol – 2001 – 2008.....	67
4.8	Índice de produtividade de Malmquist – 2001 – 2008.....	69
4.9	Componente Mudança Técnica.....	71
4.10	Componente Eficiência Técnica.....	71
4.11	Produtividade Total dos Fatores – média – 2001 – 2008.....	73
4.12	Produção Total dos Fatores – Usina 5 – 2002 – 2008.....	74
4.13	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 5 – 2002 – 2008.....	75
4.14	Produtividade Total dos Fatores – Usina 15 – 2002 – 2008.....	76
4.15	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 15 – 2002 – 2008.....	77
4.16	Produtividade Total dos Fatores – Usina 16 – 2002 – 2008.....	78
4.17	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 16 – 2002 – 2008.....	80
4.18	Produção Total dos Fatores – Usina 10 – 2002 – 2008.....	81
4.19	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 10 – 2002 – 2008.....	81
4.20	Produtividade Total dos Fatores – Usina 8 – 2002 – 2008.....	83
4.21	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 8 – 2002 – 2008.....	84
4.22	Produção Total dos Fatores – Usina 3 – 2002 – 2008.....	85
4.23	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 3 – 2002 – 2008.....	86
4.24	Produtividade Total dos Fatores – Usina 17 – 2002 – 2008.....	87
4.25	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 17 – 2002 – 2008.....	88
4.26	Produtividade Total dos Fatores – Usina 12 – 2002 – 2008.....	89
4.27	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 12 – 2002 – 2008.....	90
4.28	Produtividade Total dos Fatores – Usina 1 – 2002 – 2008.....	91
4.29	Relações Parciais entre insumos e produto – Usina 1 – 2002 – 2008.....	92

4.30 Relação entre PTF e Tempo de Consultoria (t = anos de consultoria).....	94
4.31. Mix de Produção – 2001- 2008.....	95
4.32 Nível de ATR – Amostra – 2002 – 2008.....	96
4.33 Relação entre a PTF e Tamanho das Usinas.....	98
4.34 Relação entre PTF e Idade das Usinas.....	99

Índice de Gráficos

1.1 Produtividade da cana-de-açúcar (t/ha) – 1990 – 2010	14
1.2 Principais países produtores de etanol – 2008.....	16
1.3 Principais países produtores de açúcar – 2008.....	17
1.4 Evolução da produção de cana-de-açúcar – quantidade produzida e área colhida – 1990 – 2010.....	18
4.1 Preços do açúcar cristal e etanol hidratado e anidro – 2003 – 2008.....	68
4.2 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Amostra.....	72
4.3 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 5.....	75
4.4 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 15.....	78
4.5 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 16.....	79
4.6 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 19.....	82
4.7 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 8.....	83
4.8 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 3.....	87
4.9 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 17.....	89
4.10 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 12.....	90
4.11 Eficiência técnica, Mudança técnica e Malmquist – Usina 1.....	92

Índice de Figuras

1.1 Área total cultivada de cana-de-açúcar – Centro-Sul – 2005.....	21
1.2 Área total cultivada de cana-de-açúcar – Centro-Sul – 2008.....	21
1.3 Distribuição da área plantada e usinas na região Centro-Sul do Brasil.....	25
1.4 Fluxograma da produção de açúcar e etanol.....	29
3.1 Fronteiras de produção e eficiência técnica.....	44
3.2 Eficiência técnica.....	47
3.3 Medida de insumo e produto orientadas e retornos de escala.....	48
3.4 Eficiência técnica produto-orientada.....	49
3.5 Retornos de escala e eficiência técnica.....	51
3.6 Índice de produtividade de Malmquist.....	54

Lista de Abreviaturas

ART – Açúcares Redutores Totais
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CRS – Constant Returns to Scale
CRTS – Crescents Returns Technological Scale
DMU – Decision Making Units
DEA – Datas Envelopment Analysis
DEA – Data Envelopment Analysis
DRTS – Decrescents Returns Technological Scale
FEE – Fundo Especial de Exportação
IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PAM – Pesquisa Agrícola Municipal
PTF – Produtividade Total dos Fatores
UDOP – União dos Produtores de Bionergia
UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar
VRS – Variable Returns to Scale

Sumário

Introdução.....	1
CAPÍTULO 1: O SETOR SUCROENERGÉTICO NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL.....	5
1.1 Histórico do Setor	5
1.1.1 De sua origem até o Proálcool.....	5
1.1.2 Proálcool	10
1.1.3 A desregulamentação do setor.....	11
1.2 Produção Mundial	13
1.2.1 Produção Mundial de Cana-de-Açúcar.....	13
1.2.2 Produção Mundial de Etanol.....	15
1.2.3 Produção Mundial de Açúcar	17
1.3 Produção Nacional	18
1.3.1 Produção Nacional de Cana-de-Açúcar	18
1.3.2 Produção Nacional de Etanol	19
1.3.3 Setor Sucroenergético Brasileiro	22
1.5 Processo de Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar	25
1.6.1 Fabricação de açúcar.....	27
1.6.2 Fabricação de álcool	28
1.7 Conclusões.....	30
CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA PRODUTIVA NO SETOR SUCROENERGÉTICO	33
2.1 Algumas idéias sobre eficiência e capacidades produtivas	33
2.2 Aplicações de Métodos de Eficiência em Usinas de Cana-de-Açúcar	39
2.3 Conclusões.....	41
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS DADOS	43
3.1 Introdução.....	43
3.2 Conceitos e Definições.....	43
3.3 Análise Envoltória de Dados (DEA).....	45
3.4 Conceitos de Medidas de Eficiência	46
3.4.1 Medida de Eficiência Insumo Orientada	47
3.4.2 Medida de Eficiência Produto Orientada.....	48
3.5 Retornos Constantes de Escala (CRS) e Retornos Variáveis de Escala (VRS).....	50
3.5.1 Retornos Constantes de Escala (CRS) ou (CCR).....	51
3.5.2 Retornos Variáveis de Escala (VRS) ou (BCC).....	52
3.6 Índice Malmquist – Produtividade Total dos Fatores (PTF)	52
3.7 Conclusões.....	56
CAPÍTULO 4: DADOS DA AMOSTRA E RESULTADOS.....	57
4.1 Fonte de dados e construção das variáveis.	57
4.2 Análise Descritiva da Amostra	59
4.3 Resultados da Aplicação do DEA-Malmquist.....	68
4.4 Grupo das Usinas com Ganho de Eficiência Produtiva ($PTF \geq 1$)	74
4.4.1 Usina 5	74
4.4.2 Usina 15	76
4.4.3 Usina 16	78
4.4.4 Usina 10	80

4.4.5 Usina 8	83
4.5 Grupos das Usinas com Perdas de Eficiência (PTF < 1).....	85
4.5.1 Usina 3	85
4.5.2 Usina 17	87
4.5.3 Usina 12	89
4.5.4 Usina 1	91
4.6 Variável Tempo de Consultoria – Eficiência Produtiva.....	93
4.7 Variável Mix de Produção – Eficiência Produtiva.....	95
4.8 Variável Nível de ART – Eficiência Produtiva	96
4.9 Variável Tamanho da Usina – Eficiência Produtiva	97
4.10 Variável Idade da Usina – Eficiência Produtiva	98
CONCLUSÕES	101
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXO – PTF USINAS.....	113

Introdução

A temática em que se insere essa dissertação originou-se nos anos 1970, com a crise decorrente da alta do preço do petróleo e pela percepção da necessidade de repensar novas fontes de energia alternativas ao petróleo.

A economia mundial sempre se baseou no petróleo e seus derivados para a construção e funcionamento de grande parte de suas indústrias e produção de bens, além do modelo de transporte adotado em muitos países. Com o primeiro choque ocorrido em 1973 e a sua reafirmação em 1979 observou-se a mobilização de vários setores da sociedade mundial para a necessidade de mudança desse modelo.

A preocupação com as mudanças climáticas e o apontamento do petróleo como um grande poluente atmosférico global¹, levou posteriormente ao Protocolo de Kyoto e da Agenda 21, as quais objetivavam basicamente reduzir a emissão de CO₂, através da retomada da sustentabilidade. (CONTI, 2005).

Apesar do volume das reservas nacionais de petróleo terem aumentado cerca de 10%, entre 2009 e 2010, as reservas mundiais no conjunto apresentaram desaceleramento, ou seja, atualmente não se observa a descoberta de volumes significativos de reservas. Ademais, os maiores produtores e exportadores de petróleo são países com fortes tensões políticas, como Arábia Saudita, Iraque e Irã (ANP, 2011).

Do ponto de vista da demanda, as perspectivas são as melhores para o setor, com as projeções de aumento da frota de veículos *flex*, na expansão da classe média brasileira, no preço relativo favorável do álcool frente à gasolina², nos investimentos em bioplásticos e produtos derivados do etanol para a alcoolquímica. Além do mercado mundial que pode se abrir com as imposições dos níveis de mistura de etanol na gasolina, uma vez que o mercado de gasolina consome 1,2 trilhão de litros por ano, de forma que se for implantado um nível de mistura obrigatória de 10%, o mercado de etanol teria que suprir uma demanda

¹ Para cada metro cúbico de etanol de cana usado como combustível, há uma redução de 2,1 a 2,4 t de CO₂, emitido na atmosfera. (CRUZ, 2010)

² A relação favorável ao etanol é observada nos momentos em que não há choques de oferta.

de pouco mais do que 150 milhões de litros, o que representaria seis vezes a produção brasileira de etanol³, em 2008/2009.

Essas oportunidades vão ao encontro da competitividade da produção brasileira, visto que desde o Governo de Getúlio Vargas, na década de 1930, observou-se alguma movimentação na direção de tornar o etanol um combustível amplamente utilizado no mercado nacional. Entretanto, somente no período do Proálcool⁴ que o Brasil vislumbra uma maior liderança, com reduções nos custos de produção e uma crescente melhora nos níveis de produtividade tanto na área agrícola, com melhoramento genético e melhores práticas agrícolas, quanto na área industrial, com melhores resultados na extração e tratamento do caldo, fermentação, destilação e co-geração.

Assim sendo, dentro da perspectiva de crescente demanda, somado ao interesse dos mercados externos no etanol, é que surge a motivação desse trabalho. O foco da análise está no questionamento da capacidade do setor sucroenergético em atender a crescente demanda, olhando para as capacidades tecnológicas das usinas/destilarias, em que apesar da liderança brasileira na tecnologia de produção de etanol de cana-de-açúcar, o setor ainda apresenta algumas fragilidades, que resultam em choques de oferta, os quais podem ser atribuídos tanto a fatores climáticos e não-controláveis, como a fatores internos do setor e, possivelmente, contornáveis.

Com isso, é possível inferir que o avanço do setor somente será possível com o forte investimento em novos processos e tecnologias, incluindo o etanol de segunda geração, mas muito pode ser alcançado pela melhoria do padrão de eficiência das usinas já existentes, para que o setor não se baseie somente na expansão da fronteira agrícola da cultura de cana-de-açúcar, mas utilize da melhor forma possível os recursos já existentes no setor.

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho de mestrado é realizar uma análise exploratória dos determinantes da eficiência produtiva e do padrão de inovação de um grupo de usinas da região Centro-Sul brasileira, o qual abrange dezessete unidades produtivas dos Estados de

³ Produção de 2008/09. Fonte: ÚNICA (2011)

⁴ Programa Nacional do Alcool. Programa governamental criado em 1975 com o objetivo de estimular a produção de etanol, através da concessão de subsídios.

São Paulo, Goiás e Paraná. A análise foi realizada a partir de um banco de dados fornecido por uma consultoria do setor, a Fermentec, e pela UNICA⁵, que através do modelo de Análise Envoltória de Dados, com o uso do índice de Malmquist, foi possível criar a curva de fronteira de eficiência e os índices de produtividade total dos fatores, para o período de 2001 a 2008.

1.2 Hipótese

A hipótese assumida é de que há heterogeneidade tecnológica no setor, ou seja, as usinas não apresentam um padrão único de inovação e eficiência e, conseqüentemente, de produtividade para o etanol e açúcar. É uma possível explicação para a heterogeneidade refere-se às capacidades organizacionais, tecnológicas e *learning* das usinas. Ademais, é possível inferir que determinadas empresas agem de forma induzida, apenas seguindo os movimentos da concorrência e realizando o *catching-up*, do mesmo modo que há algumas usinas que se antecipam às demais e deslocam a fronteira de eficiência.

1.3 Resultados Esperados

Este trabalho pretende pontuar quais são determinantes de eficiência das usinas que estão acima da fronteira de eficiência calculada pelo Método DEA-Malmquist, assim como caracterizar a heterogeneidade existente entre os grupos. Ademais, espera-se apresentar que os ganhos de produtividade das usinas da amostra tiveram uma maior participação da componente eficiência técnica em relação a componente mudança técnica.

1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está organizado em quatro capítulos além desta introdução e a conclusão. O primeiro capítulo apresenta um histórico do setor sucroenergético, desde sua formação até o período da desregulamentação. A seguir, apresentam-se os dados da produção mundial e brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol e as informações sobre o tamanho

⁵ União da Indústria de Cana-de-Açúcar

do setor sucroenergético brasileiro, com número de usinas e distribuição das mesmas. E, por fim, uma breve descrição do funcionamento de uma usina e dos produtos obtidos.

O capítulo dois insere a questão da eficiência produtiva no setor sucroenergético e como ela vem sendo trabalhada por outros autores. O capítulo três apresenta a metodologia utilizada na análise dos dados, com a análise descritiva e o modelo da Análise Envoltória de Dados (DEA), com o uso do Índice de Malmquist.

E, por fim, o capítulo quatro apresenta os resultados da análise descritiva e a análise dos ganhos de eficiência com o modelo DEA-Malmquist e as relações entre os ganhos de eficiência e as demais variáveis, como tempo de consultoria, idade das usinas, tamanho das usinas, mix de produção, rendimento geral da destilaria e ART.

CAPÍTULO 1: O SETOR SUCROENERGÉTICO NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL

O presente capítulo apresenta uma ampla descrição do setor sucroenergético, com o histórico desde o início da atividade no Brasil-Colônia até o período de intervenções governamentais e a posterior desregulamentação do setor. Além da apresentação de dados produtivos do setor em âmbito mundial e nacional, com foco nas unidades produtivas brasileiras. Por fim, há uma breve descrição da produção de bioetanol de cana-de-açúcar.

O objetivo é situar o leitor para o melhor entendimento do setor desde sua formação até os dias atuais, para que se compreenda o surgimento do questionamento deste trabalho.

Sendo assim, a estrutura desse capítulo inicial seguirá a seguinte ordem: no tópico 1.1 será apresentado o histórico do setor; no tópico 1.2 os dados da produção mundial, no tópico 1.3 os dados da produção nacional e no 1.4 as informações da produção de bioetanol de cana-de-açúcar.

1.1 Histórico do Setor

A análise das oportunidades e desafios do setor sucroenergético torna-se mais elucidativa e completa quando se observa a estrutura produtiva e os principais aspectos caracterizadores dessa agroindústria desde o seu nascimento no século XVI.

1.1.1 De sua origem até o Proálcool

O cultivo da cana-de-açúcar é uma atividade que desde a sua fase de implantação no período de Brasil-Colônia sempre apresentou forte intervenção do Estado. A cultura foi incentivada primeiramente com o intuito de colonizar e defender as terras brasileiras das invasões francesas, visto que as condições da época não permitiam outras formas menos custosas de ocupar o território pertencente a Portugal, que não a exploração agrícola. Essa atividade já era dominada pelos portugueses nas ilhas do Atlântico, além de Portugal já possuir uma indústria de equipamentos para os engenhos açucareiros. O açúcar possuía

importância considerável no mercado internacional, favorecendo as exportações brasileiras (FURTADO, 1961).

O açúcar foi o primeiro e mais importante produto básico de exportação brasileira a partir de fins do século XVI, mas tratava-se do açúcar bruto, pois o Brasil ainda não possuía refinarias/engenhos que produzissem o açúcar branco refinado. O Brasil somente foi ter refinarias a partir do século XIX, em que até esse período, todo o açúcar bruto produzido era exportado para os Estados Unidos e Europa, onde era refinado e distribuído, sendo o consumo brasileiro suprido por importações do velho continente (SUZIGAN, 2000).

A estrutura da agroindústria primitiva da cana-de-açúcar estava centrada nos engenhos, os quais combinavam o cultivo da cana e a produção de açúcar no mesmo local, que se baseava em uma estrutura concebida e concedida pelo Governo de Portugal. Esta incluía a concessão de terras aos fidalgos portugueses, através das capitâncias hereditárias, e o estímulo ao tráfico de escravos, marcando a forte intervenção estatal nessa atividade desde os primórdios.

Essa estrutura primitiva perdurou até o século XX com o acirramento da concorrência com outros mercados, como a produção de açúcar nas Antilhas⁶, por volta do século XVII, e posteriormente, pela produção de açúcar de beterraba europeu, por volta do século XIX (FURTADO, 1961 e SHIKIDA, 1997).

Esse fato levou à introdução de equipamentos modernos e à divisão do trabalho entre cultivo da cana e a fabricação de açúcar, o que Suzigan (2000) chamou de base da modernização na agroindústria de cana-de-açúcar, com o intuito inicial de superar a crise de natureza concorrencial. A modernização foi estimulada através de medidas de amparo aos chamados engenhos centrais pelo Governo Imperial (SHIKIDA, 1997).

A separação entre a área agrícola e a área industrial da agroindústria canavieira nesse período pode ser considerada como a primeira etapa da decomposição e modularidade características do setor sucroenergético. A mudança de estrutura seguia o modelo da produção de açúcar de beterraba, em que os engenhos se especializariam no estágio industrial do processo, ficando a parte agrícola apenas com os plantadores.

Segundo Suzigan (2000):

⁶ A produção de açúcar nas Antilhas ocorreu a partir da expulsão dos holandeses do Brasil no século XVII (Shikida, 1997)

“Acreditava-se que essa divisão do trabalho aliviaria os plantadores de investimentos de capital em usinas e, assim, eles poderiam empregar seus recursos na melhoria dos métodos de cultivo; também se acreditava que essa divisão de tarefas ajudaria o plantador na transição do trabalho escravo para o trabalho livre. Ao mesmo tempo, os engenhos centrais, não tendo de investir em plantio, concentrariam recursos em usinas mais modernas e eficientes.” (SUZIGAN, 2000. Pg. 214)

O objetivo principal era o melhor uso dos recursos, tanto na área agrícola como na área industrial, o que resultaria na redução do valor da matéria-prima, tornando a produção de açúcar mais competitiva. Esperava-se maior extração de açúcar da cana em relação à extração de açúcar da beterraba, o que elevaria a produtividade e rendimento industrial, elevando a competitividade da indústria nacional em relação à produção européia.

A viabilidade do projeto foi possível através de subsídios governamentais, tendo sido uma forma de incentivo para as usinas se instalarem, o que atraiu algumas, mas não ocorreu a contento devido à escassez de capital e especulação comercial.

A modernização ocorrida nesse período pode ser considerada a primeira tentativa de inovação no setor, apesar de ter colidido com a estrutura de poder e de dominação sócio-econômica e política que sempre caracterizou a produção açucareira, assentada na concentração de capital, monopólio da propriedade fundiária, latifúndio, trabalho escravo e monocultura (RAMOS, 1991 apud SHIKIDA, 1997).

Suzigan (2000) coloca que os grandes engenhos centrais continuaram acumulando as atividades agrícola e industrial, resultando no terceiro estágio de um processo dialético, a usina. Essa unidade produtiva era um grande engenho, o qual produzia em grande escala tanto cana-de-açúcar no campo como o açúcar na área industrial. Ao mesmo tempo a usina comprava matéria-prima de produtores rurais independentes, sobre os quais possuía maior controle de suprimento e preços, mas ainda padecia do problema de suprimento de cana para moagem.

Essa estrutura existe em grande medida até os dias atuais, embora a designação usina seja atualmente utilizada como referência às unidades produtoras de açúcar e álcool, uma vez que grande parte das usinas possui terras próprias e/ou participam ativamente das atividades agrícolas, através de contratos de arrendamento, parceria e fornecimento⁷.

⁷ Ver Neves e Conejero (2010) para os modelos de suprimento de cana pelas usinas (pp. 46-47).

A estrutura formada a partir da usina representou uma fase mais profunda e marcante no processo de modernização do setor, tendo provocado uma mudança no ciclo econômico da agroindústria canavieira, pois houve melhoria na qualidade da matéria-prima e no rendimento industrial, resultado da maior intensidade na utilização de recursos.

O Estado brasileiro também esteve muito presente nessa fase inicial das usinas, pois havia notado que o fornecimento irregular de cana pelos produtores rurais era um entrave para manter o nível de produção de açúcar. Com isso, o Governo facilitou a compra de terras pelas usinas e a vinda de colonos para a produção de açúcar. Esse foi o quadro observado em grande parte das usinas no início do século XX e os resultados mostraram-se positivos.

Entretanto essa nova estrutura produtiva ainda sofria forte pressão concorrencial no início do século XX dos mercados externos de açúcar da Europa e das Antilhas, o que provocava um ciclo de expansão e retração dos investimentos nessa indústria, segurando a onda de modernização, a qual foi restabelecida novamente no período da Primeira Guerra Mundial, uma vez que a produção de beterraba havia sido devastada pela guerra e a produção de açúcar nos mercados mundiais apresentou considerável baixa, aumentando a demanda pelo açúcar brasileiro, marcando o período de maior modernização do setor desde sua origem (SUZIGAN, 2000).

Mas a produção brasileira sofreu uma nova baixa a partir da Grande Depressão de 1929, que provocou uma nova queda nas exportações do açúcar brasileiro. A maior prejudicada com a crise foi a região Nordeste, pois esta era a principal supridora do mercado externo, além de enfrentar a nascente competição interna com a crescente produção de cana-de-açúcar pela região Sudeste, a qual foi migrando de atividade a partir do arrefecimento do ciclo do café.

A ascensão da região Centro-Sul ocorria também pela proximidade com o maior mercado consumidor, além da não coincidência com a safra do Nordeste e os saltos tecnológicos observados, visto que o Nordeste já observava lentidão na mudança do padrão tecnológico. O surgimento do Grupo Dedini, na década de 1920, no Estado de São Paulo é um exemplo do avanço empreendido pela região Centro-Sul, com o objetivo de fornecer equipamentos e plantas inteiras para o setor sucroenergético.

O atraso do setor no Nordeste somado ao forte caráter tradicional e arcaico dos produtores nordestinos fez com que ficassem atrasados tecnologicamente, levando os mesmos a reivindicarem uma postura do Estado, para que esse promovesse o controle da oferta de açúcar, além de cotas de produção, o que resultaria garantir aos produtores de cada região um mercado cativo na chamada “orquestração de interesses” (SHIKIDA, 2000).

Segundo Szmrecsányi (1979), o setor sempre existiu com e pela forte intervenção estatal, tendo sido institucionalizado na agroindústria canavieira de forma gradual e a pedido dos próprios produtores do setor.

A resposta do Governo Federal diante das reivindicações dos senhores de engenho, usinas e fornecedores, principalmente da região Nordeste, foi a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em 1933, uma autarquia criada pelo Estado com a característica marcante de ser um intermediador dos interesses dessas classes, com a atribuição de planejar e disciplinar a economia açucareira (SZMRECSÁNYI, 1979).

Segundo Suzigan (2000), a criação do IAA fortaleceu as usinas com equipamentos modernos, além de ter favorecido a instalação de novas unidades produtivas. As décadas seguintes de 1940 e 1950 foram marcadas pela expansão do número de usinas, com aumento da produção, ao mesmo tempo que os produtores e usineiros buscavam terras com melhor fertilidade e localização, aumentando consideravelmente a concentração técnica do setor na região Centro-Sul (BELIK *et al.*, 1998).

Um momento importante nos anos 1950 foi a constituição da COPERSUCAR, que possibilitou a maior integração do complexo paulista canavieiro, permitindo a comercialização centralizada do açúcar das usinas integrantes⁸. Essa expansão do setor provocou a sensação de otimismo no mercado de açúcar, levando o IAA a criar o Fundo Especial de Exportação (FEE), em 1965, que tinha como objetivo auxiliar no escoamento da produção⁹.

Entre a criação do IAA e início dos anos 1960 o Centro-Sul se consolidou hegemonicamente na agroindústria canavieira nacional, com destaque para o Estado de São

⁸ Nesse período o setor era marcado por baixa diversificação, com apenas o uso do bagaço na queima das caldeiras, como subproduto (Belik *et al.*, 1998).

⁹ Entre 1966 e o primeiro choque do petróleo, em 1973, o mercado de açúcar estava com forte alta de preços, ressaltando a importância do FEE.

Paulo. O setor recebeu incentivos para aumentar sua competitividade, com políticas favoráveis às fusões e incorporações, principalmente através do FEE, o qual beneficiava de forma desigual os capitais do complexo, em que fábricas com baixa capacidade de produção deveriam ser fechadas ou incorporadas pelas usinas em melhores condições¹⁰, além de pesquisas para melhorias na área agrícola e industrial, como a criação do PLANALSUCAR (SHIKIDA, 2000).

O período, que se inicia nos anos 1930 e segue até meados dos anos 1990, ficou conhecido pelo paradigma subvencionista, em que todos os mecanismos criados a partir da instituição do IAA atuavam como facilitador da produção de açúcar e mantedor dos rendimentos dos produtores, através de medidas diversas, as quais minimizavam os investimentos em tecnologias, pois tais mecanismos garantiam o mercado para o produtor. A cota de produção era um mecanismo de reserva de mercado, a fixação de preços para cana-de-açúcar, açúcar e álcool concedia garantia de margens mínimas de lucro e, por fim, a concessão de subsídios promovia estímulo direto à atividade, ou seja, a permanência do produtor no setor estava assegurada (Shikida *et al.*, 2005).

1.1.2 Proálcool

O primeiro choque do petróleo ocorrido em 1973 colocou em questionamento o uso desse recurso como a única e principal fonte energética mundial, resultando na mobilização do Estado brasileiro para a promoção da produção brasileira de etanol. As ações do Estado davam-se através de maciços financiamentos para a instalação de novos capitais e a ampliação das usinas, através da construção de destilarias anexas às usinas.

Segundo Belik *et al.* (1998), os financiamentos do Proálcool destinaram-se primeiramente para a produção de álcool anidro, através da montagem e ampliação das destilarias anexas às usinas, e num segundo momento, na produção de álcool hidratado, através da montagem de destilarias autônomas.

O segundo choque do petróleo, em 1979, fortaleceu ainda mais o programa, com a ampliação do número de usinas que receberam recursos estatais para efetuar melhorias no processo produtivo, além dos recursos destinados para a construção de novas unidades

¹⁰ Belik *et al.* (1998)

nessa fase. Após cinco anos de Proálcool já era possível ver o salto produtivo dado pelo setor, com grande número de novas usinas e destilarias, além das ampliações das unidades já existentes. Por sua vez, a expansão da área agrícola se dava pela incorporação de áreas por arrendamento, além da aquisição de terras pelas usinas, indutoras da expansão¹¹ e por contratos com fornecedores, dentro de um raio de atuação que justificasse a relação custo-benefício do transporte da cana colhida até a usina (SHIKIDA, 1997).

O surto de investimentos do Proálcool apostava na manutenção do alto preço do barril de petróleo, além do emergente questionamento da necessidade de mudança da matriz energética mundial. Entretanto, em 1985 o preço do petróleo reverteu em direção contrária e não esperada pelos usineiros, ao mesmo tempo em que o Brasil atravessava às duras penas a crise da dívida, cessando os recursos estatais para o programa, tornando inviável a manutenção dos subsídios para as usinas e demais produtores.

A partir do exposto, é possível afirmar que o Proálcool foi o estímulo inicial e o mais efetivo para a expansão da produção açucareira no final do século XX, uma vez que sem este programa não teria sido viável a construção e solidificação das bases que existem no setor nos dias atuais, conforme se observará na seção 1.3 a evolução da produção e das unidades produtivas brasileiras.

1.1.3 A desregulamentação do setor

Castro *et al.* (2010) colocaram que o Proálcool ocorreu a partir de fortes subsídios do Estado, apoio do IAA e pela base política eficiente. Em 1990, com a imposição de políticas macroeconômicas pelo governo brasileiro, o setor sucroenergético sofreu a redução dos subsídios fiscais e creditícios, abrindo espaço para a competição e o início do processo de enxugamento do setor.

Somado a esse fato, o economia mundial vivia uma nova fase, a chamada globalização econômica, a qual era marcada entre outras características por ganhos de produtividade e competitividade. Esses dois cenários, o interno e externo, levou o Estado a reduzir os níveis de intervenção no segmento, com a brusca redução dos regimes de cotas e

¹¹ A usina como indutora da expansão explica a fronteira agrícola em direção ao Centro-Oeste, uma vez que os Estados dessa região promovem incentivos para atrair novos investimentos pelas diversas condições favoráveis observadas.

preços mínimos, levando o setor a profundas mudanças para que sobrevivesse sem a interferência direta do governo (MORAES, 2002 e VEIGA FILHO, 2000).

No período de 1990 a 2001 as cotações internacionais do açúcar alcançaram níveis muito baixos, agravando a situação do setor. As usinas tiveram que se adaptar à nova realidade através da adoção de diferentes estratégias competitivas e reorganização da forma de representação junto ao Estado. Segundo Belik e Vian (2002), entre as estratégias adotadas houve o aprofundamento da especialização na produção de açúcar e álcool, diferenciação de produto, diversificação produtiva, fusões e aquisições, assim como a formação de grupos de comercialização de açúcar e álcool. Com isso, foi possível assegurar a sobrevivência da maioria das usinas na época, apesar dos resultados não muito satisfatórios.

Com a mudança de paradigmas decorrente da liberalização do setor, o foco da concorrência migrou para o interior do complexo, e as firmas passaram a concorrer menos por terras ou matéria-prima e mais por aumento de participação nos mercados, uma forma de adequar suas escalas produtivas, reduzir custos e maximizar lucros. (CANO, 2005)

Bonelli e Fonseca (1998) afirmam que a elevação de produtividade industrial vista no Centro-Sul derivou do processo de liberalização do comércio exterior, do processo de privatização, da desregulamentação da economia e difusão de novas técnicas gerenciais. E paralelo a esse movimento, houve um intenso processo de modernização das técnicas produtivas e gerenciais, que teve um caráter mais permanente, pois representou o início da incorporação de novos paradigmas de reestruturação industrial existentes na esfera internacional. Trata-se de uma mudança sem precedentes nos meios de gestão e administração na indústria, além da introdução de tecnologias poupadoras de trabalho.

Segundo Belik e Vian (2002) e Ramos (2002) a mudança de paradigma resultou em um ambiente muito heterogêneo no que diz respeito às práticas de gestão e aos resultados obtidos pelas firmas que compõem o setor. Além da heterogeneidade produtiva, observa-se também existência de empresas tecnologicamente mais atrasadas, com baixa eficiência, coexistindo com empresas mais eficientes, que optaram pelo maior desenvolvimento de suas técnicas de gestão e tecnologia produtiva, formando um universo de maior heterogeneidade sob esse aspecto (SHIKIDA, NEVES e REZENDE, 2002).

Em suma, a reorientação no setor através da mudança de paradigmas provocada pelos motivos supracitados, somada à persistente e crescente pressão ambiental por fontes de energia mais limpas e a introdução de carros bicombustíveis no mercado brasileiro em 2003 alçaram o setor sucroenergético brasileiro à condição de competitividade e busca de eficiência para sobreviver nesse mercado (BASTOS 2007).

A partir do histórico do setor sucroenergético apresentado nas seções anteriores com o intuito de mostrar a evolução da estrutura e a mudança do paradigma subvencionista para o paradigma tecnológico, segundo Shikida *et al.* (2005).

1.2 Produção Mundial

1.2.1 Produção Mundial de Cana-de-Açúcar

Primeiramente, é importante apresentar os dados de produção de cana-de-açúcar, para que conheça os maiores produtores mundiais e o peso da produção brasileira nesse mercado (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar em quantidade produzida (mil ton) – 2001 - 2008

Países	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Taxa de Crescimento
Austrália	28.116	31.424	36.995	36.994	37.822	37.128	36.397	32.621	16,02%
Brasil	345.942	364.391	396.012	415.206	422.957	477.411	549.707	645.300	86,53%
China	77.966	92.203	92.039	91.044	87.578	93.306	113.732	124.918	60,22%
Colômbia	35.500	38.000	39.000	40.000	39.849	38.450	38.500	38.500	8,45%
Índia	295.956	297.208	287.383	233.862	237.088	281.172	355.520	348.188	17,65%
México	47.250	45.635	47.484	48.662	51.646	50.676	52.089	51.107	8,16%
Paquistão	43.606	48.042	52.056	53.820	47.244	44.666	54.742	63.920	46,58%
Tailândia	49.563	60.013	74.259	64.996	49.586	47.658	64.366	73.502	48,30%
Outros	342.864	357.819	353.402	356.385	347.684	351.780	355.481	356.728	4,04%
Total	1.266.763	1.334.735	1.378.630	1.340.969	1.321.455	1.422.247	1.620.533	1.734.783	36,95%

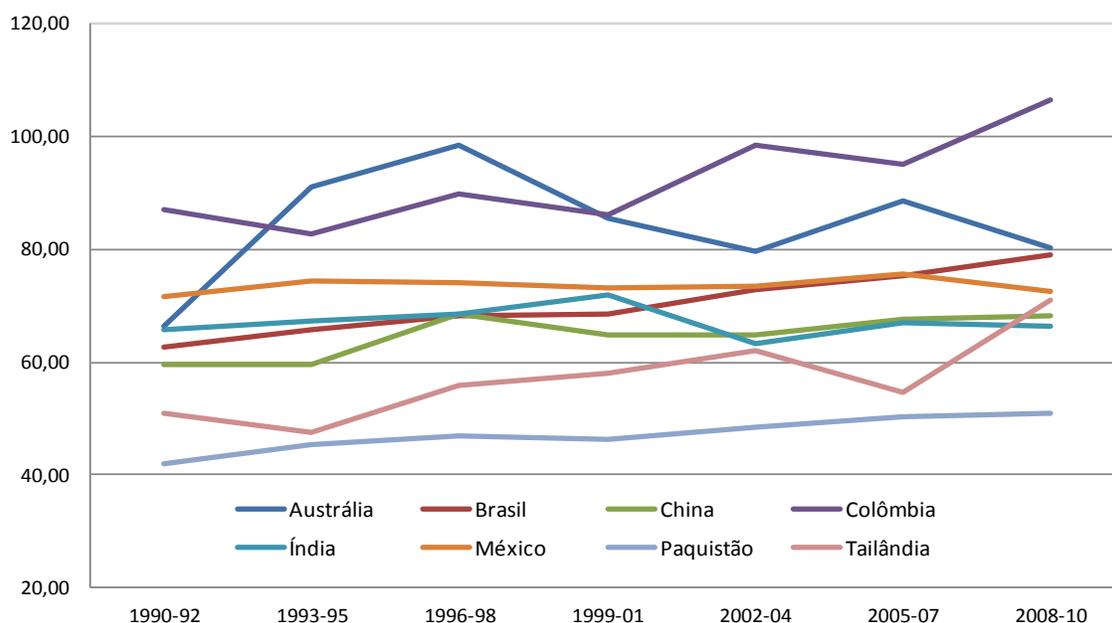
Fonte: FAOSTAT (2011)

A produção mundial de cana evoluiu 37% entre 2001 e 2008, passando de 1,26 bilhões de toneladas para 1,7 bilhões de toneladas, com o Brasil respondendo por 37% da produção mundial de 2008. Em termos de área plantada, a produção mundial ocupou 19

milhões de hectares, em 2001, e 24 milhões de hectares, em 2008, representando um aumento de 26%. A diferença entre crescimento de produção e área plantada revela que a produtividade apresentou um pequeno incremento no período de análise.

Os grandes produtores de cana atrás do Brasil são Índia (20,5%), China (7,2%), Tailândia (4,2%), Paquistão (3,7%), México (3%), Colômbia (2,2%) e Austrália (1,8%), para valores de produção de 2008. Os países que mais contribuíram para o aumento da produtividade no período foram Colômbia, Tailândia e Brasil, os quais hoje possuem rendimentos de 106 t/ha, 71 t/ha e 79 t/ha, na média do triênio 2006/08 (Gráfico 1.1).

Gráfico 1.1. Produtividade da Cana-de-Açúcar (t/ha) – 1990 – 2010



Fonte: FAOSTAT (2011)

A Colômbia é um país que sempre alcançou as mais altas médias e mesmo assim no último triênio 2008-10 superou as 100 t/ha. Essa grande capacidade está associada aos fatores edafoclimáticos extremamente favoráveis, mas é necessário fazer a ressalva que essa cultura na Colômbia possui menos do que 5% da área total cultivada no Brasil, a qual ocupou 8 milhões de hectares em 2008.

A Austrália é outro produtor que historicamente possui bons níveis de produtividade, apesar da oscilação em ritmo decrescente nos últimos triênios. Por sua vez, a

Índia, o segundo maior produtor, parece não ter realizado investimentos na melhoria do cultivo de cana, pois os dados de produção e área plantada não sofreram oscilação, assim como a produtividade, que se manteve praticamente inalterada ao longo do período.

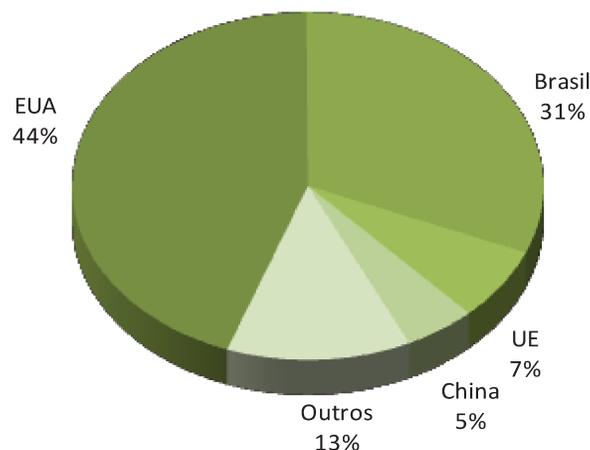
Já o Brasil apresentou excepcional incremento na quantidade produzida entre os anos analisados, com um salto de aproximadamente 100% na produção entre 2001 e 2008, mas é necessário ressaltar que esse incremento ocorreu pelo aumento praticamente proporcional na área plantada, com sensível melhora na produtividade.

1.2.2 Produção Mundial de Etanol

Em relação à produção de etanol o Brasil está em segundo lugar, atrás da produção de etanol dos Estados Unidos, o qual se baseia no cultivo de milho e no etanol celulósico¹², chamado etanol de segunda geração. A produção americana de etanol cresceu cerca de 100%, entre 2005 e 2006, devido à substituição do Metil Tércio Butil Éter (MTBE) pelo etanol como oxigenador da gasolina em vários Estados, ou seja, a partir de uma imposição do nível de mistura do etanol na gasolina, como já ocorre no Brasil e em alguns outros países (NEVES e CONEJERO, 2010).

¹² Também denominado etanol de segunda geração, que aproveita integralmente a biomassa para a produção de etanol (CTBE, 2011).

Gráfico 1.2. Principais países produtores de etanol – 2008



Fonte: Favas Neves (2010). Obs: UE – União Européia

A produção de etanol de milho nos EUA começou primeiramente com o intuito de segurar os preços do milho, posteriormente tornando-se uma matéria-prima efetiva para a indústria do milho, sendo hoje responsável por 98% do insumo da produção americana (FIGUEIRA, 2005 e BNDES, 2008).

Além disso, os EUA determinaram, a partir da nova lei de segurança e independência energética (*Energy and Independence Security Act of 2007*), que a quantidade de combustível renovável consumido no país, a partir de 2022 deverá restringir a participação do etanol de milho no total produzido no país, forçando a produção de etanol celulósico. A preocupação recai sobre a oferta de milho para outros setores da economia, além de promover o desenvolvimento de tecnologias para obter etanol celulósico de outros materiais.

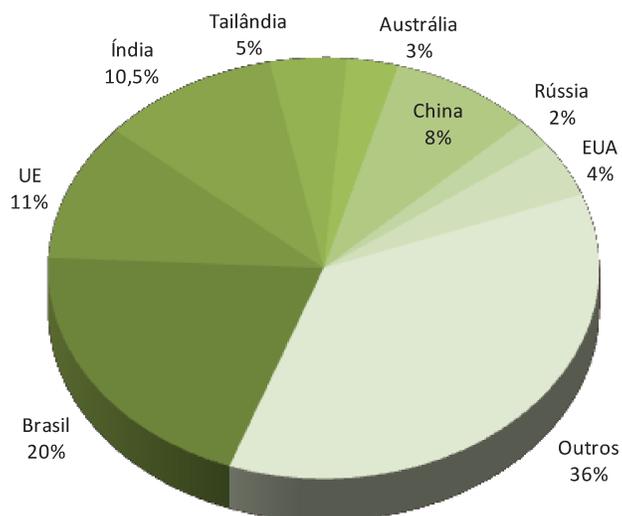
Por sua vez, a União Européia é o terceiro maior produtor mundial de etanol, o qual advém basicamente da beterraba, cereais e excedentes de produção de vinho. Os países responsáveis pela produção de 5 bi de litros em 2008 foram França, Alemanha e Espanha (NEVES e CONEJERO, 2010).

E, por fim, a China ficou em quarto lugar em produção de etanol em 2008, em virtude do decreto da mistura de 10% na gasolina, o que resultará no aumento das importações, uma vez que a produção é de apenas 3 bi de litros de etanol e a imposição do nível de mistura demandará um volume maior ao longo dos anos.

1.2.3 Produção Mundial de Açúcar

A produção mundial de açúcar pode ser resumida no Gráfico 1.3. A produção brasileira continua a ser a primeira em volume produzido, com 32 milhões de toneladas em 2008, seguida da União Européia, com 17 milhões de toneladas, Índia, com 16,8 milhões de toneladas e Tailândia com 7 milhões de toneladas.

Gráfico 1.3. Principais países produtores de açúcar - 2008



Fonte: Favas Neves (2010). Obs: UE – União Européia

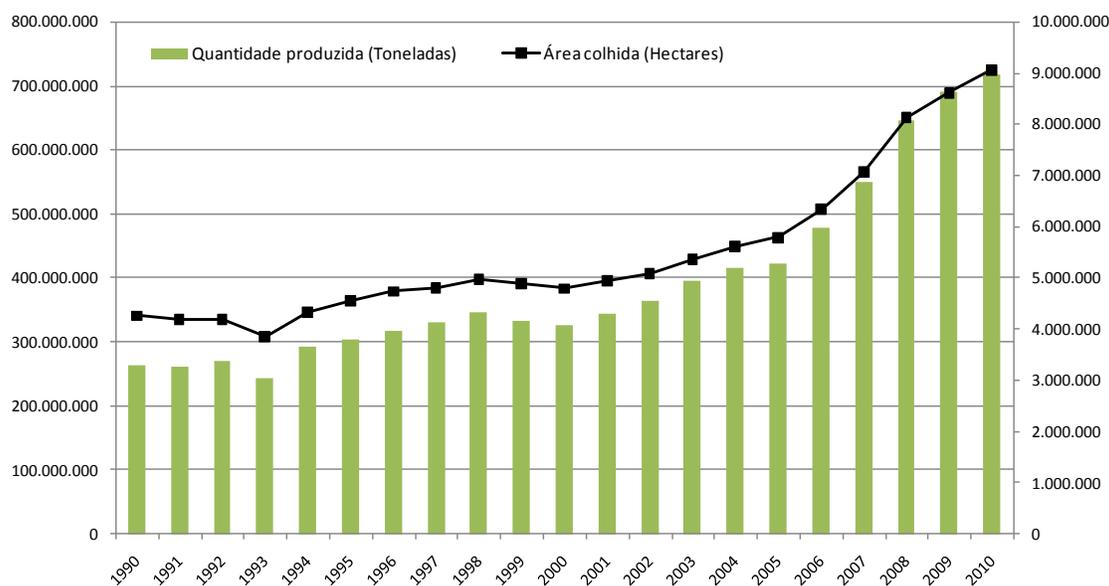
A produção brasileira destina-se principalmente ao mercado interno e países em desenvolvimento, pois o açúcar é um produto que tem sua taxa de consumo atrelada ao crescimento populacional e de renda, tratando-se de um item básico da indústria de alimentos e bebidas, ou seja, o consumo de açúcar cresce proporcionalmente ao aumento do consumo de produtos industrializados, os quais têm sua demanda determinada pelo aumento de renda (FAO, 2006).

1.3 Produção Nacional

1.3.1 Produção Nacional de Cana-de-Açúcar

O Gráfico 1.4 apresenta a evolução da produção de cana-de-açúcar, para a quantidade produzida, em toneladas, e área colhida, em hectares, para o período 1990 a 2010. É possível observar o maior crescimento da quantidade produzida em relação à área colhida, resultando em ganho de produtividade agrícola (t/ha) no período, conforme já discutido no Gráfico 1.1. A produtividade brasileira foi 61,5 ton/ha, 67,9 ton/ha e 79 ton/ha, para os anos de 1990, 2000 e 2010, respectivamente, significando que na última década houve um ganho 28,4%, porém há um grande espaço ainda de crescimento da produtividade da cultura. A área colhida evoluiu 112,4% e a quantidade produzida 173,14%, entre 1990 e 2010.

Gráfico 1.4. Evolução da Produção de Cana-de-Açúcar – Quantidade Produzida e Área Colhida – 1990 – 2010



Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal (PAM)/IBGE (2011)

A curva de volume produzido foi de 38,7% entre 1990 e 2002, ao passo que entre 2003 e 2010 ficou em 81,2%. Já a área colhida saiu de um crescimento de 19,4% entre

1990 e 2002, para 69% entre 2003 e 2010. Essa alta mais acentuada pode ser atribuída à introdução dos carros bicompostíveis na frota brasileira em 2003. A produção ficou em 400 mi de toneladas, em 2003, chegando a aproximadamente 700 mi de toneladas, em 2009, segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal/IBGE (2011).

A Tabela 1.2 apresenta a evolução do processamento de cana-de-açúcar na região Centro-Sul e nos principais Estados produtores. O processamento, que significa o volume de cana-de-açúcar que entra na usina, cresceu 107% na Região Centro-Sul, ao passo que a produção de cana em todo o Brasil cresceu 94%. Entre os principais produtores, a cana apresentou crescimento de 96% no volume de cana moída, no Estado de São Paulo, 236% no Goiás, 134% no Mato Grosso do Sul e 248% em Minas Gerais.

Tabela 1.2. Processamento de Cana-de-Açúcar Centro-Sul e Brasil - 2001/02 - 2008/09
(ton)

Estados	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09
São Paulo	176.574.250	192.486.643	207.810.964	230.280.444	243.767.347	263.870.142	296.242.813	346.292.969
Minas Gerais	12.204.821	15.599.511	18.915.977	21.649.744	24.543.456	29.034.195	35.723.246	42.480.968
Paraná	23.075.623	23.892.645	28.485.775	28.997.547	24.808.908	31.994.581	40.369.063	44.829.652
Goiás	8.782.275	9.922.493	13.041.232	14.006.057	14.559.760	16.140.043	21.082.011	29.486.508
Mato Grosso do Sul	7.743.914	8.247.056	8.892.972	9.700.048	9.037.918	11.635.096	14.869.066	18.090.388
Centro-Sul	244.218.084	270.406.693	299.120.591	328.697.362	337.714.418	372.285.061	431.113.603	504.962.891
Brasil	293.050.543	320.650.076	359.315.559	386.090.117	387.441.876	425.535.761	495.723.279	569.062.629

Fonte: UNICA (2010)

1.3.2 Produção Nacional de Etanol

Por sua vez, a produção de etanol cresceu ainda mais nas localidades analisadas, com um crescimento de 147% na região Centro-Sul, ao passo que no Brasil houve um crescimento de 138%. Em São Paulo observou-se um crescimento de 96% na produção de etanol, enquanto no Goiás e Mato Grosso do Sul a produção cresceu 236% e 134%, respectivamente (Tabela 1.3).

Tabela 1.3. Produção de Etanol – Centro-Sul e Brasil – 2001/02 - 2008/09 – (mil l)

Estados	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09
São Paulo	7.134.529	7.690.689	8.828.353	9.107.457	9.985.276	10.910.013	13.334.797	16.722.478
Minas Gerais	524.441	635.816	799.252	803.575	958.902	1.291.445	1.774.988	2.167.616
Paraná	960.270	980.472	1.224.010	1.209.668	1.039.832	1.318.904	1.859.346	2.048.752
Goiás	379.284	455.124	646.344	716.937	728.535	821.556	1.213.628	1.726.080
Mato Grosso do Sul	396.521	418.052	480.571	533.580	495.591	640.843	876.773	1.076.161
Centro-Sul	10.176.290	11.152.084	13.068.637	13.591.355	14.352.542	16.006.345	20.333.466	25.101.963
Brasil	11.536.034	12.623.225	14.808.705	15.416.668	15.946.994	17.719.209	22.526.824	27.512.962

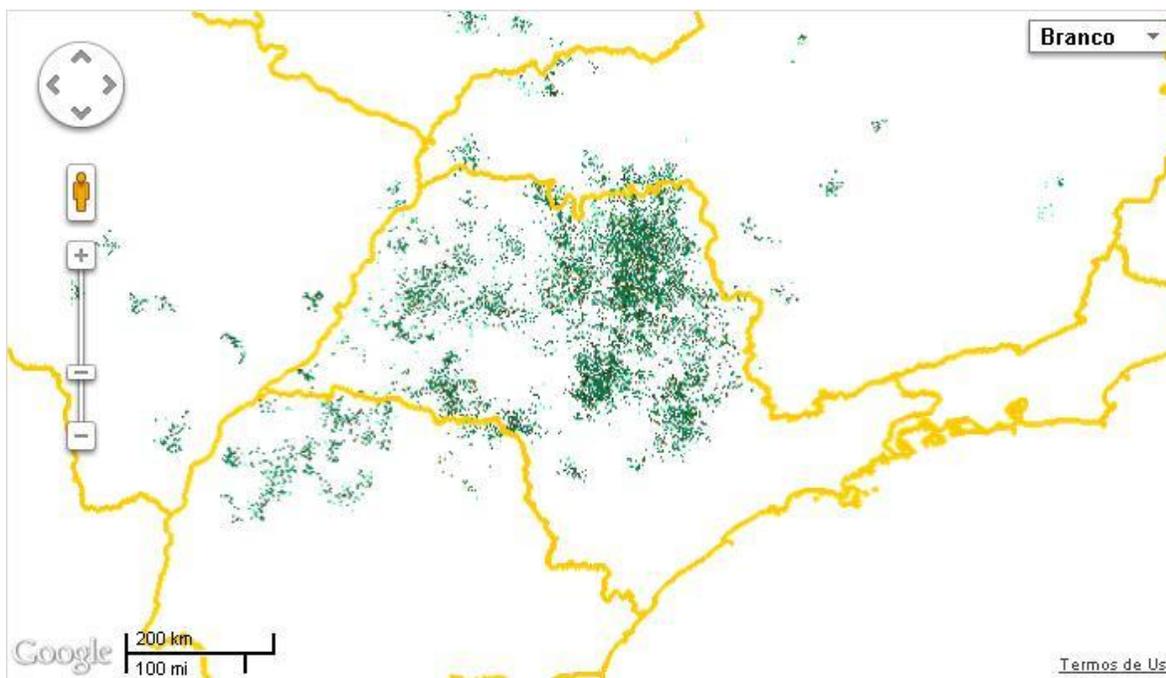
Fonte: UNICA (2011)

Os dados do Estado de Goiás podem ser relacionados com dois fatos importantes. O primeiro se refere ao movimento de construção de novas unidades em direção ao Sul de Goiás e Mato Grosso do Sul e arredores. Esse movimento foi impulsionado pelo alto preço das terras no Estado de São Paulo, além dos incentivos concedidos pelos Estados do Centro-Oeste para que as usinas se instalem naquela região.

As Figuras 1.1 e 1.2¹³ permitem observar como estava a produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul, em 2005 e 2008, respectivamente. Castro *et al.* (2010) coloca que as áreas aumentaram na região, resultando na organização das usinas e grandes complexos industriais, os quais ocorreram principalmente pela substituição de culturas, em que a ocupação de pastagens foi opção secundária nesse processo.

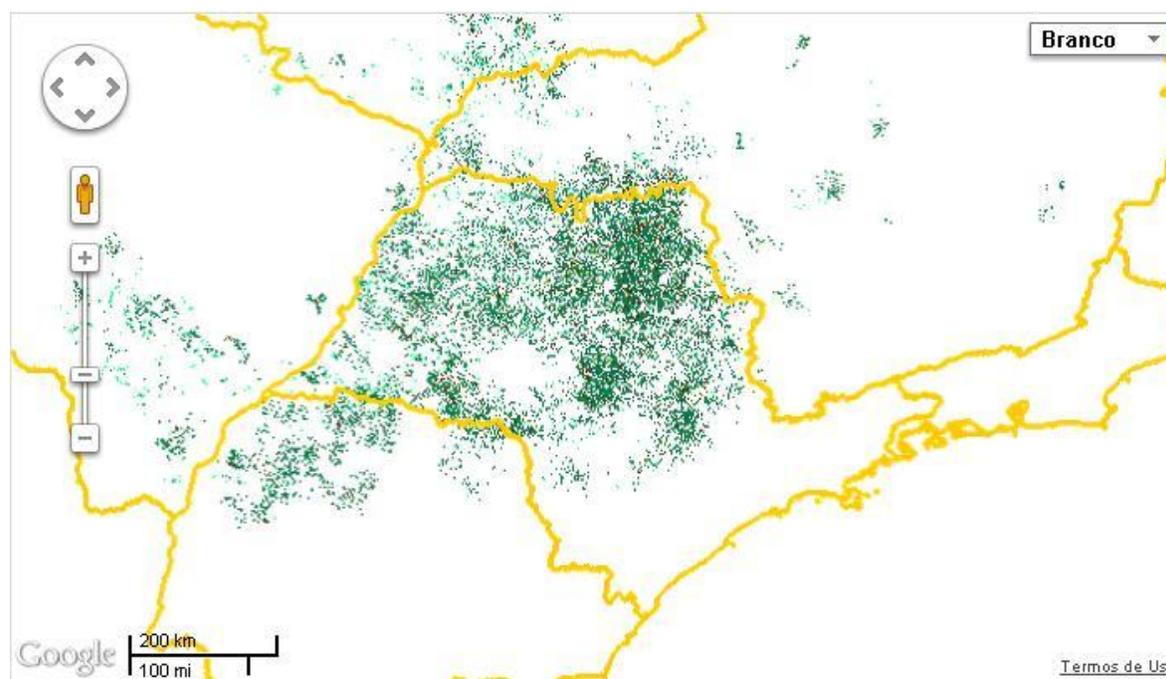
¹³ A informação para os anos de 2005 e 2008 deve-se à disponibilidade do Sistema CANASAT.

Figura 1.1. Área Total Cultivada de Cana-de-Açúcar – Centro-Sul – 2005



Fonte: CANASAT – acessado em 15/09/2011

Figura 1.2. Área Total Cultivada de Cana-de-Açúcar – Centro-Sul – 2008



Fonte: CANASAT – acessado em 15/09/2011

Segundo Silva *et al.* (2009), as maiores taxas de crescimento na área disponível para colheita, entre as safras citadas, foram registradas nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, com acréscimo total de 126,21%, 99,93% e 99,17%, respectivamente, que também afirma que o cultivo de cana-de-açúcar apresenta taxa de expansão acentuada nos Estados que tinham menor representatividade na prática desta cultura, impulsionado principalmente pelo aumento, nos últimos anos, na venda de veículos *flex fuel* que aumentou a demanda por etanol.

Conforme é possível observar na Figura 1.2, o movimento ocorreu dentro do mesmo polígono do Centro-Sul, rumo ao centro do país, antes relativamente periférico. Houve uma mudança de visão (interesse) pelos Estados do MT, MS e GO, que a princípio não eram aptos à cultura da cana-de-açúcar, destinando-se principalmente para modernização da agricultura para grãos e gado.

Castro *et al.* (2010) acrescenta que enquanto o Proálcool se desenvolvia nos Estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais, o Centro-Oeste voltava-se para a produção de grãos, algodão, arroz e gado. No caso específico de Goiás é possível dizer que somente após o final da década de 1990 que, de fato, essa expansão se tornou notável. As terras da região de fronteira não eram consideradas altamente aptas para o cultivo de cana, sendo apenas a região Sul de Goiás a mais apta e a qual recebeu grande parte das empresas que foram instaladas no Estado no início dos anos 1990. Além do fator distância e a logística insuficiente disponível à época, que acabaram atuando contra o desenvolvimento do setor na região.

E, por fim, a maior produção de etanol pelos Estados da região Centro-Oeste, deve-se aos projetos *greenfields*, os quais significam a construção total de uma usina/destilaria. No caso específico do Centro-Oeste, como será melhor discutido na próxima seção, os projetos *greenfields* no modelo destilaria foram predominantes nessa região.

1.3.3 Setor Sucroenergético Brasileiro

No Brasil o setor sucroenergético é composto por 426 unidades produtivas¹⁴, sendo 251 usinas com destilarias anexas (unidades que produzem açúcar e etanol), 159 destilarias

¹⁴ Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) – consultado em 10/10/2011.

autônomas (unidades produtoras de etanol) e 16 usinas (unidades produtoras de açúcar), em 2010.

Tabela 1.4. Distribuição do parque sucroenergético no Brasil – 1990 - 2010

Tipo de indústria	1990	2007	2010
Usinas de açúcar	27	15	16
Destilarias Autônomas	180	104	159
Usinas com destilarias anexas	168	251	251
Total	375	370	426

Fonte: CGEE (2009) e MAPA (2011)

A Tabela 1.4 evidencia o movimento de abertura e fechamento de usinas/destilarias entre 1990 e 2010. Em 1990, período marcado pelo fim da desregulamentação do setor, observa-se que havia 375 usinas e destilarias, sendo 180 destilarias autônomas, possivelmente construídas pelo *boom* do Proálcool nos anos 1980. Já em 2007 percebe-se a redução do número total de usinas e destilarias, com destaque para a diminuição de destilarias e o aumento de usinas com destilarias anexas.

Tabela 1.5. Distribuição do Parque Sucroenergético – Região Centro-Sul - 2010

Estados	Usinas com Destilarias Anexas	Destilarias Autônomas	Usinas	Total
São Paulo	130	61	6	197
Minas Gerais	21	18	1	40
Goiás	11	22	0	33
Paraná	20	10	0	30
Mato Grosso do Sul	12	9	0	21
Mato Grosso	4	4	1	9
Outros Estados	6	9	0	15
Total Centro-Sul	204	133	8	345

Fonte: MAPA (2011)

A Tabela 1.5 apresenta a distribuição das unidades produtivas pela região Centro-Sul, que concentra 345 unidades das 426 usinas e destilarias existentes no Brasil, ou seja, a região Centro-Sul comporta 81% do total brasileiro. Por sua vez, na região Norte-Nordeste estão localizadas as demais 81 unidades existentes no país.

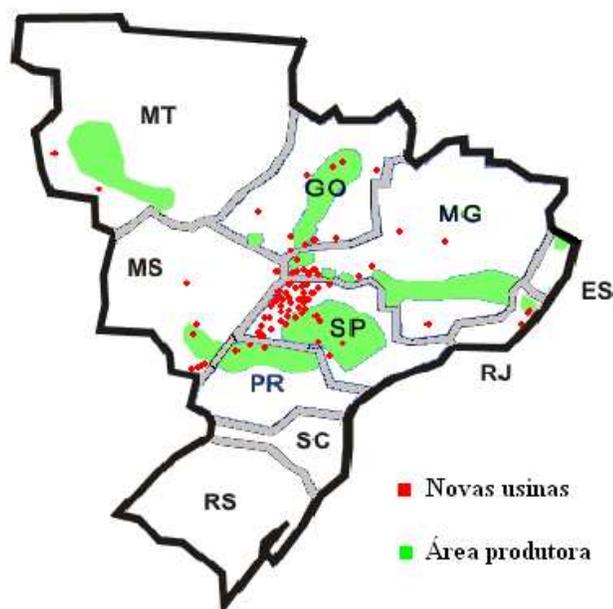
A distribuição das usinas pela região Centro-Sul ainda concentra grande parte das unidades no Estado de São Paulo (Tabela 2), em que esse Estado possui 197 unidades produtivas das 345 existentes na região Centro-Sul, representando mais de 57% do total. O Estado de São Paulo tem 130 usinas com destilarias anexas, 61 destilarias autônomas e 6 usinas, produtoras apenas de açúcar. Em seguida aparece Minas Gerais, com 40 unidades produtivas, representando 11,6% do total da região, com 21 usinas com destilarias anexas, 18 destilarias autônomas e 1 usina.

Entre as unidades da região Centro-Sul há 204 usinas com destilarias anexas, 133 destilarias e 8 usinas. Entre os estados da região Centro-Sul, em específico os pertencentes à região Centro-Oeste do Brasil é possível observar a existência de um número crescente de usinas com destilarias anexas e destilarias autônomas. Em números, o Estado do Goiás possui 33 unidades produtivas, com 11 usinas com destilarias anexas e 22 destilarias autônomas. O Estado do Paraná aparece em quarto lugar, com 30 unidades produtivas, sendo 20 usinas com destilarias anexas e 10 destilarias autônomas. Já o Estado do Mato Grosso do Sul possui 21 unidades produtivas, com 12 usinas com destilarias anexas e 9 destilarias autônomas. E, por fim, o Estado do Mato Grosso, com 9 unidades produtivas, sendo 4 usinas com destilarias anexas, 4 destilarias autônomas e 1 usina. Os demais Estados da região Centro-Sul somam 15 unidades produtivas, com 6 usinas com destilarias anexas e 9 destilarias autônomas.

A Tabela 1.5 apresenta uma informação importante sobre o processo de expansão da cana-de-açúcar em direção ao Centro-Oeste, em que é possível observar a predominância de unidades produtivas que fabricam apenas etanol sobre as demais unidades. Esse dado revela que os investimentos do setor sucroenergético estão sendo direcionados para essa região e focados na produção de etanol.

É possível constatar o foco dirigido aos projetos *greenfields* no Centro-Oeste dedicados principalmente à produção de etanol, uma vez que os números apresentados nas Tabelas 1.4 e 1.5 mostram que o Centro-Oeste recebeu grande número de novos projetos e estes focaram em destilarias autônomas, ou seja, na produção de etanol.

Figura 1.3. Distribuição da Área Plantada e Usinas na Região Centro-Sul do Brasil



Fonte: UDOP (2009)

A Figura 1.3 apresenta a distribuição da produção de cana-de-açúcar, nas áreas em verde, e as novas usinas que estão sendo instaladas na região Centro-Sul, em vermelho. Observa-se uma concentração das usinas na região Noroeste do Estado de São Paulo e Sul do Estado de Goiás.

1.5 Processo de Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar

A presente seção objetiva esclarecer os principais aspectos técnicos e produtivos das atividades agrícola e industrial do setor sucroenergético.

Primeiramente, o etanol pode ser produzido a partir de rotas tecnológicas baseado em qualquer biomassa que contenha quantidade expressiva de amido ou açúcares, como é o caso dos grãos como trigo e milho, que possuem amido, e a cana, que possui açúcares. Entretanto, o processo de conversão do amido e dos açúcares em etanol não é semelhante, uma vez que o amido deve anteriormente passar por processo de trituração e hidrólise enzimática para que se obtenha uma solução açucarada fermentável, para então realizar a fermentação e destilação e, por fim, obter o etanol.

Com a cana-de-açúcar há a vantagem da simplicidade do processo, uma vez que os açúcares (sacarose) já estão presentes, devendo apenas extraí-los da matéria-prima, através da moagem ou difusão. Essa diferença no processo de obtenção do etanol faz da cana-de-açúcar uma cultura mais vantajosa em relação ao milho, o qual vem sendo muito utilizado nos EUA. O custo de produção de etanol a partir de grãos é considerado moderado, enquanto o custo de produção a partir da cana é considerado baixo. (BNDES, CGEE, 2008)

Outro aspecto importante que diferencia em grande medida o etanol de cana do etanol de milho é a produtividade final por hectare. Enquanto o etanol de milho produz cerca de 4.000 litros/ha, o etanol da cana-de-açúcar produz cerca de 6.000 litros/ha. A cana possui uma vantagem ambiental, pois possui alta capacidade de redução na emissão de gases de efeito estufa, ao passo que os grãos possuem capacidade de média a baixa na redução dos mesmos gases.

Quanto aos aspectos específicos da cana-de-açúcar, essa cultura é uma gramínea originária de regiões temperadas e quentes da Ásia, especialmente da Índia. A planta se divide em três partes, colmos, pontas e folhas, sendo essas duas últimas a palha da cana. Os colmos concentram a sacarose da cana-de-açúcar, da qual se obtém o etanol de primeira geração. A palha da cana (pontas e folhas) representa aproximadamente 25% a 30% da energia total na planta, sendo utilizada atualmente para a cogeração de energia elétrica, para uso interno da usina e até mesmo sendo vendida em leilões para as distribuidoras de energia elétrica (BRAUNBECK e CORTEZ, 2009).

A cultura da cana possui necessidades de clima e solo bem simples, sendo necessário que o clima apresente duas estações distintas, uma quente e úmida, para proporcionar a germinação, o perfilhamento (formação de brotos) e o desenvolvimento vegetativo, seguida de outra fria e seca, para a maturação e o acúmulo de sacarose nos colmos. Por esse motivo, a safra brasileira de cana começa antes do início do verão e termina após o inverno do ano seguinte.

O ciclo produtivo desta cultura varia entre 5 e 7 anos, dependendo da região onde está localizada, do clima local, variedades utilizadas e tratos culturais. O procedimento padrão é realizar a reforma do canavial ao final do ciclo produtivo, seja através da rotação de culturas ou apenas com o pousio da área, entretanto, a forte demanda e problemas de

oferta, além da falta de recursos das usinas podem promover o adiamento da reforma do canavial.

A reforma é importante para prover o descanso da terra e recuperar o nível de nutrientes do solo, o que conseqüentemente interfere na produtividade agrícola, que decresce a cada novo corte realizado. Segundo algumas usinas, o primeiro corte em uma região com bom solo como Ribeirão Preto é capaz de chegar a 120 t/ha, uma vez que a produtividade no Estado de São Paulo é considerada uma das mais altas do Brasil, entre 80 t/ha e 85 t/ha.

Entre os produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar destacam-se o açúcar e o etanol anidro e hidratado, e os subprodutos, obtidos a partir dos resíduos, como a palha, bagaço e vinhoto, que geram energia elétrica através da co-geração, fertilizantes e, futuramente, etanol de segunda geração¹⁵.

1.6.1 Fabricação de açúcar

Há diversos tipos de açúcar produzidos pelas usinas, com destaque para o açúcar bruto, também conhecido como VHP (*Very High Polarization*), destinado principalmente à exportação, como matéria-prima em refinarias e na construção civil; o açúcar cristal, sem refino, destinado principalmente à indústria de alimentos e bebidas; o açúcar branco, destino à exportação e para o consumo final; o açúcar mascavo, não cristalizado e não refinado, destinado para o consumo humano final e doces; e o açúcar orgânico, que não possui aditivos químicos agrícola ou industrial, destinado basicamente para o consumo humano final (NEVES e CONEJERO, 2010).

As etapas para a obtenção do açúcar após a moagem da cana-de-açúcar passam pela clarificação do caldo e a limpeza, seguida da evaporação, cozimento, centrifugação e secagem (Figura 1.4).

¹⁵ Etanol de segunda geração é o mesmo que etanol celulósico, que permite a obtenção de etanol a partir de qualquer tipo de biomassa.

1.6.2 Fabricação de álcool

A produção de álcool gera dois tipos básicos: anidro¹⁶, que é utilizado na mistura com a gasolina, e álcool hidratado¹⁷, utilizado diretamente como combustível veicular e também como substrato para a fabricação de álcool industrial fornecido para a indústria química, entre outras.

A fabricação de álcool de cana no Brasil é feito através da fermentação do caldo obtido após a moagem da cana-de-açúcar. As etapas de fabricação de álcool são divididas nas operações de extração do caldo, preparo do mosto, preparo do fermento, fermentação, destilação, retificação e desidratação. O preparo do mosto significa a adição de leveduras ao caldo misto ou do melaço, dando início à primeira etapa do processo contínuo de fermentação.

A etapa seguinte é a decantação para que se eliminem as bactérias e se obtenha um caldo limpo. Na destilação o caldo é depurado duas vezes em uma coluna de destilação, eliminando os ésteres e aldeídos, e na segunda depuração ele é dividido entre vinhoto (vinhaça) e flegma (PIACENTE, 2010).

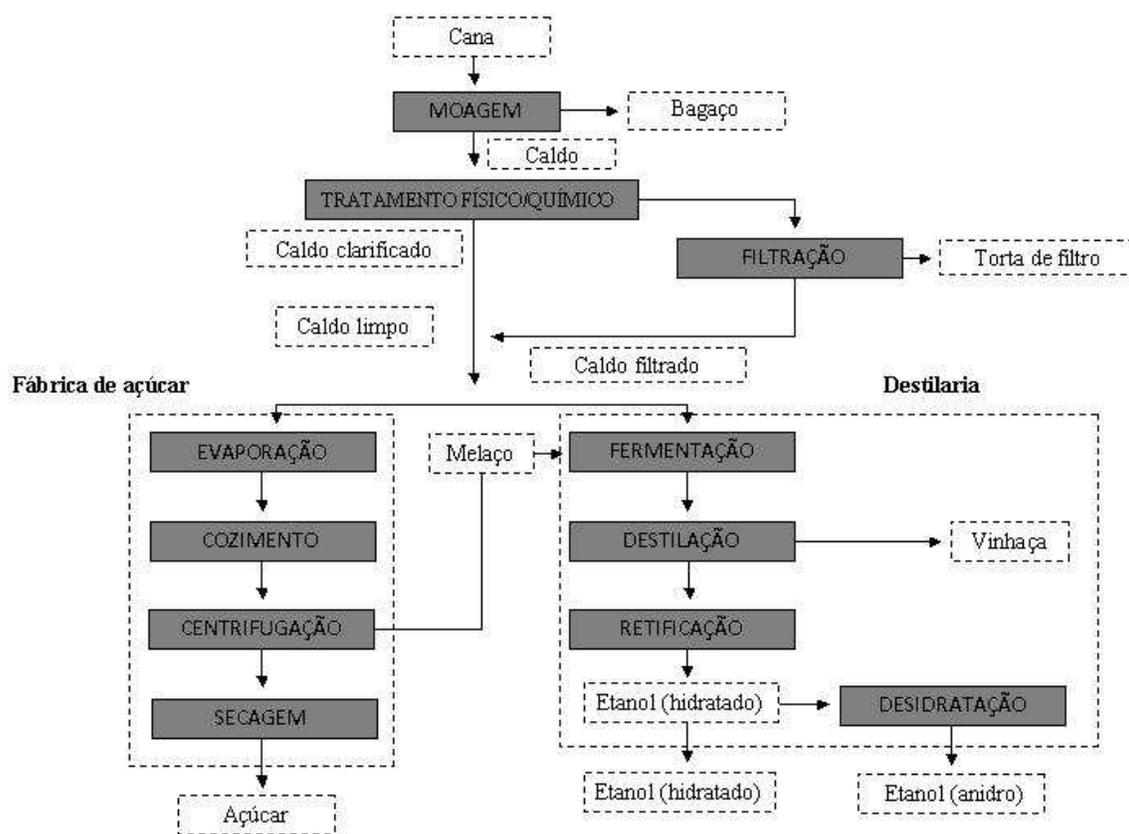
O vinhoto é um efluente líquido gerado pelas destilarias ao efetuar a destilação do mosto fermentado para recuperação do etanol. Esse resíduo da produção tem caráter poluente e sempre resulta em grandes proporções no processo final, o qual já provocou diversos episódios de poluição de cursos d'água. Há muitas pesquisas sendo realizadas para reduzir o volume produzido, a eliminação do seu caráter poluente e até mesmo a sua aplicação em outros usos, como a fertirrigação (PRADA *et al*, 1997)

A Figura 1.4 apresenta uma descrição mais sucinta das etapas de produção de álcool e açúcar, as quais serão melhor detalhadas abaixo, a partir de CGEE (2009).

¹⁶ Álcool Etílico Anidro Carburante (AEAC)

¹⁷ Álcool Etílico Hidratado Carburante (AEHC)

Figura 1.4. Fluxograma de Produção de Açúcar e Álcool



Fonte: Cortez (2010)

Em uma usina com destilaria anexa, que é o modelo dominante no Brasil, a unidade industrial pode ser dividida em recepção/preparo/moagem, tratamento do caldo, fábrica de açúcar, destilaria de etanol, utilidades, disposição de efluentes e estocagem dos produtos (CGEE, 2009).

Antes do processo industrial de fato, a usina precisa contar com uma matéria-prima de boa qualidade, para que se extraia o máximo de caldo na moagem da cana, em que os determinantes da qualidade da cana dependem do manejo agrícola e do manejo industrial para a devida limpeza da cana e a melhor extração de produtos. Por esse motivo a mecanização da colheita da cana crua pode auxiliar na diminuição das perdas e no menor uso de água no processo produtivo.

As etapas de recepção e preparo são fundamentais para garantir maior pureza ao caldo, uma vez que nessas etapas a cana é lavada para extrair impurezas, no caso de cana colhida inteira por corte manual, ou limpada a seco, para a cana picada. Após a recepção e limpeza, a cana segue para a etapa de preparo para a moagem.

A etapa de preparo da cana-de-açúcar conduz o material por esteiras para que a cana seja picada/nivelada na esteira para que passe pelo desfibrador. Este equipamento tem a função de pulverizar a cana e abrir as células que contém os açúcares, em que a máxima capacidade de desfibrar a cana promove maior eficiência no processo de extração de caldo nas moendas. Ainda no preparo, a cana passa pelo espalhador para que se nivele a cana e controle o nível de fluxo para a moenda. (CGEE, 2009)

A partir desta etapa obtém-se o caldo limpo, o qual seguirá para a fábrica de açúcar ou para a destilaria, dependendo do tipo de unidade produtiva e/ou do mix de produção da usina.

1.7 Conclusões

O presente capítulo expôs a trajetória do setor desde o seu início, como a cultura da cana-de-açúcar tendo sido utilizada para povoar o imenso território brasileiro e o proteger das invasões estrangeiras, passando pelo período em que o açúcar brasileiro foi ganhando espaço no mercado mundial, fomentando a produção nacional através de incentivos governamentais.

A produção de açúcar sempre foi o destino principal do cultivo de cana-de-açúcar brasileiro até chegar ao emblemático período de crise no setor energético nos anos 1970. A alta nos preços do barril de petróleo levou à mobilização estatal para que o etanol se tornasse o substituto dos derivados de petróleo. O programa abrangeu uma série de medidas, que paralelo ao trabalho do IAA e demais órgãos estatais, conseguiu erguer um setor com grande número de unidades e com grande capacidade instalada para atender a demanda interna.

Do ponto de vista do produtor, a união do Proálcool com o IAA era o casamento perfeito para garantir recursos e rendimentos do setor. Entretanto, o novo contexto mundial fez com que a década de 1980 terminasse por enxugar os recursos destinados ao programa,

resultando em uma mudança de paradigma, deixando de ser subvencionado pelo Estado e passando a concorrer numa estrutura aberta, o que imputava a busca por produtividade, ganhos de escala, escopo, entre outras medidas. Esse novo período ficou marcado pela introdução de tecnologias e inovações de processo e produtos, resultando no paradigma tecnológico que até hoje existe no setor.

CAPÍTULO 2: EFICIÊNCIA PRODUTIVA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

2.1 Algumas idéias sobre eficiência e capacidades produtivas

A perspectiva de aumento crescente na demanda por etanol, apresentada no Capítulo 1, devido à projeção de aumento nas vendas de veículos bicombustíveis pelo aumento de renda *per capita* da população brasileira, aliado à perspectiva de adoção de níveis obrigatório de mistura do etanol anidro¹⁸ na gasolina por um número cada vez maior de países, além do uso do etanol na alcoolquímica, entre outros usos, levam ao questionamento das capacidades produtivas da indústria brasileira de etanol, uma vez que o setor não parece completamente pronto para atender esse mercado, como visto na crise de abastecimento ocorrido no início de 2011¹⁹.

A mencionada crise de oferta, a qual provocou uma série de medidas pelo governo brasileiro junto aos produtores a fim de evitar futuros choques de oferta, mostrou que o setor apresenta dificuldades para garantir a produção necessária para o mercado interno, o que resulta em grandes desconfiças sobre a capacidade de atender a um possível mercado externo que se abre cada vez mais ao etanol.

E dentro desse novo contexto, que se caracteriza por um ambiente sem firmas homogêneas, com unidades de produção apresentando estruturas gerenciais e resultados muito distintos uma das outras, leva ao questionamento do nível de eficiência produtiva do setor sucroenergético para enfrentar os desafios que se apresentam e tendem a se tornar cada vez mais complexos.

De fato, a partir da lacuna deixada pelo Estado no setor, após o período de desregulamentação, muitas empresas que conseguiram permanecer neste mercado introduziram os conceitos da globalização e procuraram ficar na dianteira do processo de liderança através de três palavras-chave: eficiência, produtividade e competitividade. Nesse ponto é importante observar como o processo de concorrência dos anos 1990 foi sofrendo

¹⁸ Ver FIGUEIRA (2005)

¹⁹ Ver Agromensal – CEPEA/ESALQ (Março, 2011)

um aprimoramento, com a busca incessante por maior participação nos mercados e ganhos de escala.

Segundo Fonseca *et al* (2007) o aumento da produção e competitividade do sistema de produção de açúcar e etanol no Brasil pode ser sustentado em quatro vertentes: expansão da demanda interna de açúcar e álcool; grande potencial de diversificação da base produtiva, com economias de escopo; ganhos de produtividade e rentabilidade na fase agrícola transmitidos até a fábrica por meio de logística eficiente, garantindo os diferenciais competitivos e o sistema de P&D articulando em rede investimentos públicos e privados.

A primeira vertente é reconhecidamente baseada nos tópicos levantados no Capítulo 1 e no início deste capítulo. Em relação às economias de escopo, o sistema de produção agroindustrial baseia-se em três produtos principais: açúcar, álcool e energia elétrica, fornecendo um padrão diferenciado de diversificação na produção de *commodities* agrícolas. Em que a efetivação desse pilar nas economias de escopo somente se concretizou a partir de efetivos investimentos nos processos produtivos da área industrial.

A terceira vertente é muito focada na logística, pois os ganhos produtivos obtidos na área agrícola somente serão realmente aproveitados se a usina contar com um bom sistema de logística, dado que a cana-de-açúcar é um insumo que perde suas principais características, no caso os açúcares contidos na cana, em um prazo relativamente curto de tempo.

A vertente acerca dos sistemas de P&D no setor tem sua história criada na época do Proálcool, conforme já mencionado. Os investimentos permitem não somente a possibilidade de economias de escopo, como inovações na área agrícola, com novos varietais, para maior extração de energia, além dos investimentos na área industrial.

O sistema de pesquisa que interliga os diversos agentes no setor sucroenergético remonta ainda ao final dos anos 1980, em que se formou um importante sistema de pesquisa e desenvolvimento, articulando instituições privadas e públicas. A rede está articulada entre importantes instituições, como o Centro de Tecnologia Canaveira (CTC), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Ridesa, USP, UNICAMP, UNESP, UFSCAR e EMBRAPA, além de empresas privadas, como Canavialis, na área de melhoramento genético, Grupo Dedini, na construção de plantas industriais (FONSECA *et al.*, 2007).

A eficiência de uma unidade produtiva sucroenergética pode ser analisada através de diversos pontos, tanto na área agrícola, que inclui o melhor uso da terra, trabalhadores rurais, máquinas e implementos, fertilizantes, entre outros, quanto na área industrial, que inclui o melhor aproveitamento dos açúcares que entram na usina, através da moagem, extração, fermentação, destilação, considerando também os trabalhadores da área industrial.

Neste momento é possível inserir a o objetivo deste trabalho, que versa sobre a importância da eficiência produtiva industrial, pois ela tem a capacidade de extrair maior volume de produtos finais, dada uma quantidade de insumos, ou seja, será que as usinas exploram todas as potencialidades da indústria e, mais além, será que as usinas conseguem acompanhar as unidades mais inovadoras?

O setor sucroenergético tem algumas peculiaridades em termos de capacitação tecnológica, que segundo Miglino (2003), é um setor dominado pelas inovações trazidas pelo fornecedor com a capacidade externa localizada em empresas especializadas em engenharia, além da engenharia interna voltada para o desenvolvimento de equipamentos e engenharia de processo, porém em grande parte das usinas, esse trabalho interno não é capaz de promover inovações consideráveis no processo.

Segundo Dosi (1984), a inovação envolve a solução de problemas, a fim de atender tanto questões de demanda como questões operacionais da empresa. E a solução pode surgir dentro da cadeia mesmo, seja através do próprio uso de informação obtida com fornecedores, conhecimento prévio e conhecimento formal.

Ademais, observa-se a preponderância das inovações incrementais nesse setor, em que grande parte das usinas prefere ficar em uma situação defensiva, uma vez que a adoção de inovações e mudança tecnológica configura um ambiente permeado de incertezas, as quais preferem não arriscar, conforme aponta Nelson e Winter (1996), que o processo de inovação, ao envolver um alto grau de incerteza, não só antes como depois após sua introdução, gera um contínuo desequilíbrio de mercado.

Dado que o bem transacionado neste mercado é de alta demanda, os produtores e usineiros não se vêem obrigados a realizarem inovações radicais ou estarem em uma condição de *early adopters*, ou seja, os líderes do processo de adoção. Importante considerar que esse setor possui poucas unidades que internalizam em grande medida as atividades de P&D, pois como coloca Rissardi Jr. e Shikida (2007), as usinas participam de

um sistema inovação, possivelmente muito próximo dos sistemas setoriais de inovação, discutido por Malerba (1999).

A inovação é um elemento central de diferenciação entre as empresas, em que a explicação para a heterogeneidade do setor pode ser melhor explicada recorrendo à literatura neo-schumpeteriana, a partir das contribuições de DOSI (1982) sobre paradigmas e trajetórias tecnológicas, estratégias tecnológicas, rotinas, seleção e busca de inovações (NELSON e WINTER, 1982) e processo de aprendizado (ROSENBERG, 1982).

As inovações radicais possivelmente estão relacionadas com a forma de gestão da usina, em que as unidades tradicionais, porém não menos eficientes, são mais cautelosas com as estratégias de inovação de tecnologias. Com isso temos inovações incrementais em equipamentos existentes, ao mesmo tempo em que há novas unidades com processos produtivos novos, mas essas são exemplos em pequena escala (MIGLINO, 2003).

Baseado na idéia de Sistemas Setoriais de Inovação, Malerba (1999), essa situação em que o setor sucroenergético necessita e recebe as inovações dos outros setores baseia-se no fato de que toda as inovações e avanços que ocorrem nos mais diversos setores de uma economia dependem de alguma forma da cooperação tecnológica dos demais setores da economia correlatos.

Seguindo a categorização de Levins e Cochrane (1996) para o processo inovativo das empresas, há três subgrupos de empresas, sendo as *early adapters*, ou seja, no processo de desenvolvimento de produtos são estabelecidos procedimentos e objetivos, as atividades ocorrem em paralelo e existem técnicas para gerir vários projetos simultâneos e independentes (RISSSARDI, Jr. e SHIKIDA, 2007).

O segundo grupo são os *followers*, que se refere ao grupo que possui comportamento mimetizador, ou seja, introduzem somente projetos significativos que já foram testados por outras empresas do setor. E, por fim, o grupo dos *laggards*, que resumidamente refere-se aos retardatários no processo de desenvolvimento de produtos.

A aplicação dessas categorias no setor sucroenergético através do conhecimento acerca do mesmo permite caracterizar a maioria das unidades produtivas como *followers* e *laggards*, devido às incertezas inerentes ao processo de adoção de inovações.

O setor, desde os anos 1980, já vinha nesse processo de modernização das linhas de produção, o qual pode ser caracterizado como uma modernização passiva e adaptativa, não

tendo como objetivo uma trajetória virtuosa que buscasse a competitividade através da capacitação tecnológica (MIGLINO, 2003).

Ao analisar os condicionantes da agroindústria canavieira do Paraná, Rissardi Jr. e Shikida (2007) observaram que algumas usinas e destilarias buscaram novos caminhos para garantir a sobrevivência e expansão dos negócios, com as estratégias de especialização na produção de açúcar e etanol e no aumento da produtividade das áreas agrícolas e industriais. Com as empresas investindo, além da produção de cana, na automação industrial.

Ademais, eficiência produtiva é uma forma de construir vantagens competitivas e que, nesse sentido, as firmas que obtêm os maiores *scores* de eficiência, possuem também vantagens competitivas sobre as demais, pois são mais fortes. No geral, observa-se forte heterogeneidade tecnológica e produtiva, que faz com que as firmas possuam níveis de eficiência muito distintos.

Cano e Tupy (2005) argumentam que a heterogeneidade no setor ocorre pela forma como os insumos são utilizados pelas diferentes firmas, o que resulta em diferenças significativas de eficiência técnica e de escala pelas usinas.

E a estrutura de economias de escopo, é um grande diferencial da indústria canavieira brasileira e o que pode trazer competitividade para o setor no Brasil, visto que a integração existente apresenta enorme capacidade de adaptação no *mix* de produção em função dos preços relativos do açúcar e do etanol. Não esquecendo, sobretudo, da capacidade industrial que se terá quando as economias de escopo do setor estiverem bem trabalhadas, uma vez que a cana tem capacidade de gerar subprodutos, além do etanol, açúcar e melaço, como bagaço, palha, os quais podem significar a produção de etanol de segunda geração, além dos usos já efetuados, como fertilizantes, energia elétrica, entre outros.

A flexibilidade da produção pode refletir e/ou ocasionar problemas operacionais, pois se uma dada usina não tem as capacidades técnicas bem fundamentadas para efetuar o *mix*, possivelmente haverá problemas no volume final produzido. Mas de qualquer forma, a flexibilidade na produção traz benefícios técnicos e aumento da competitividade da indústria, pois as usinas costumam ter boas condições para se adequarem aos preços em um prazo muito curto de tempo (NASTARI, 2010).

Mas importante ressaltar que a flexibilidade é favorável apenas para o produtor, pois enquanto a indústria de açúcar e etanol não estiver bem solidificada, as alterações nos preços de açúcar e etanol, com impactos nos volumes produzidos dos mesmos produtos acarretam choques de oferta do produto que estiver com os preços em baixa, prejudicando o consumidor final. Desta forma, o Estado deve intervir para regular e impor regras para que a produção possua intervalos de oscilação e a oferta para o mercado consumidor esteja assegurada.

De todo modo, toda a discussão de eficiência sobre o setor sucroenergético ainda é incipiente, como se verá na próxima seção e no Capítulo 4, quando se observa que grande parte dos estudos e análises sobre a eficiência do setor não chegam a dados conclusivos sobre o que efetivamente determina o melhor desempenho de uma usina.

Por esse motivo, um fator que é de difícil mensuração, mas o qual pode estar intrinsecamente relacionado com os resultados do setor se refere às capacidades organizacionais, uma vez que se trata de um setor heterogêneo.

Dosi (1988) e Nelson e Winter (2004) colocam que o conhecimento organizacional contribui para habilidade das organizações e desempenho e como estas características resultam para ações externas, como a criação de produtos, provisão de serviços e o desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços. As capacidades organizacionais estão relacionadas com o *know-how* que faz com que as organizações desempenhem esse tipo de atividade. Os autores enfatizam que o conhecimento organizacional é um fenômeno de importância central para o entendimento do mundo moderno.

De toda forma, como o Brasil é uma grande potência no setor sucroenergético e encontra-se quase que totalmente no paradigma competitivo e tecnológico, restam às usinas a capacidade em potencializar a produção e aumentar a rentabilidade. Assim sendo, determinar se uma empresa é eficiente ou ineficiente colabora para identificar os motivos do desempenho e contribuem para a definição de estratégias apropriadas para o setor (*apud* SALGADO JR. *et al*, 2009), muito embora os determinantes possam não ser tão evidentes como se parece.

2.2 Aplicações de Métodos de Eficiência em Usinas de Cana-de-Açúcar

Nesse contexto, avaliar a eficiência produtiva (técnica e de escala) assume relevância, contribuindo com informações fundamentais à gestão estratégica, tática e operacional das empresas do setor e, dentro desta perspectiva, cabe salientar, que não há muitos estudos sobre eficiência do setor sucroenergético, com a apresentação dos mesmos abaixo e um caso de estudo de eficiência do etanol de milho.

O estudo de Sesmero *et al* (2011) apresenta o modelo DEA aplicado às usinas de etanol que utilizam o milho como matéria-prima, ou seja, ele utiliza o modelo DEA para decompor a eficiência econômica das plantas em fontes tradicionais, como eficiência técnica e alocativa, e um novo componente chamado eficiência de mercado, o qual refere-se à capacidade das empresas em contratar preços favoráveis de milho e etanol em relação aos preços do mercado spot e as implicações disto para o desempenho econômico em geral.

Um apontamento realizado pelo estudo observa que as unidades que apresentam os maiores volumes de produção apresentam o melhor desempenho, devido ao fato delas assegurarem preços mais favoráveis através da melhoria no desempenho de mercado. Ademais, as unidades produtivas podem alcançar melhorias significativas no desempenho de mercado através da experiência e do *learning-by-doing*. Os resultados são consistentes com dois fatos: economias de escala podem não ser a única razão por trás do aumento do tamanho médio das plantas da indústria de etanol e o segundo é que deve haver incentivos para consolidação horizontal entre as plantas.

Cano e Tupy (2005) fizeram um estudo de avaliação da eficiência produtiva da agroindústria canavieira paulista, com o objetivo de estabelecer rankings de eficiência das firmas que compõem a agroindústria através da técnica DEA. O estudo procurou analisar, através dos dados de 78 empresas do Estado de São Paulo, o grau de heterogeneidade dos níveis de eficiência das firmas, como a concentração regional das firmas eficientes, a relação entre eficiência e escala produtiva e as possíveis causas para a ineficiência. O trabalho utilizou dados de volume de cana moída e número de empregados do setor administrativo e industrial como variáveis de insumo e produção de etanol e açúcar como variáveis de produto. A principal conclusão do trabalho é que as maiores fontes de ineficiência das firmas se deve aos fatores capacidade instalada e mão-de-obra, em que a capacidade instalada possivelmente n

Segundo Abarca (2003), o desenvolvimento tecnológico implementado na agroindústria canavieira da cana-de-açúcar na década de 1990 aconteceu através dos transbordamentos das tecnologias existentes em outros setores, ou seja, o processo de inovação observado foi um processo incremental e fragmentado, pois este não atingiu o sistema agroindustrial da cana de forma plena.

O desenvolvimento de tecnologias e projetos para a área industrial do setor sucroenergético concentra-se basicamente na Dedini²⁰, a qual produz máquinas e equipamentos e é responsável pela instalação completa de uma planta industrial em uma nova unidade.

Nos últimos anos observa-se a preocupação com a difusão da pesquisa e tecnologia desenvolvida e/ou adaptada pelo setor produtivo e a tecnologia desenvolvida por fornecedores de equipamentos, produtos e serviços, como a realização de feiras e simpósios para a divulgação das novidades do setor (ABARCA, 2003). Nesse âmbito entra o papel do CTBE, fomentando com tecnologia de ponto o setor sucroenergético, através do investimento estatal do Ministério da Ciência e Tecnologia e mesmo assim é muito pequeno perto do volume de investimentos realizados pelo setor nos EUA, o qual já se encontra em fase mais adiantada na obtenção de etanol de segunda geração.

A questão que está por trás no estudo da eficiência das usinas/destilarias de cana-de-açúcar vem a partir da importância da análise da produtividade do setor sucroenergético, a qual é um aspecto essencial para o crescimento da produção de etanol e demais subprodutos no longo prazo. Possivelmente esse trabalho poderá contribuir com a reflexão acerca dos caminhos das unidades nos últimos anos.

A importância do investimento em pesquisa e desenvolvimento para a sobrevivência no setor é de conhecimento amplo pelos profissionais do setor sucroenergético, entretanto, como se observou neste trabalho, a realização de investimentos pesados em inovação tecnológica não é realizado fortemente.

Rissardi Jr. e Shikida (2007) realizaram um estudo para analisar os principais condicionantes da evolução da agroindústria canavieira do Estado do Paraná após a desregulamentação sob o enfoque neo-schumpeteriano. Os resultados observados foram a

²⁰ Essa empresa detém 90% do mercado de fornecimento de plantas industriais para o setor sucroenergético (ABARCA, 2003).

razoável capacidade de adaptação às condições de livre concorrência, investindo em inovações tecnológicas de produtos e processos, mas que mesmo assim, observou-se a heterogeneidade tecnológica, em que algumas usinas se distanciaram das demais em função de adoção de estratégias tecnológicas ofensivas.

A conclusão do trabalho é muito interessante ao notar que a grande maioria das usinas neste Estado (76%) adquirem e constrem competências e habilidades do desenvolvimento de capacitações produtivas, tecnológicas e organizacionais através do *learning-by-interacting*, que ocorre através da interação com fornecedores de insumos, componentes e equipamentos, concorrentes, clientes, consultores, universidades, institutos de pesquisa, prestadores de serviços, agências e laboratórios governamentais.

Salgado Jr *et al* (2009) realizou um estudo sobre a relação entre o tamanho e a eficiência operacional de usinas de açúcar e álcool na região Nordeste do Estado de São Paulo. O estudo abrangeu vinte e seis unidades produtivas, quantificando o consumo dos principais recursos e a geração dos produtos, permitindo sua classificação em função do tamanho (capacidade de moagem). O trabalho criou um *ranking* de eficiência operacional através do uso da técnica de análise envoltória de dados (DEA).

Bruzoni Jr e Gonçalves (2011) realizaram um estudo da eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. O trabalho analisou dezessete usinas através da análise envoltória de dados (DEA), baseado em três insumos (estoques, capital imobilizado e salários) e um produto (faturamento bruto). Os resultados obtidos mostraram que apenas quatro das dezessete usinas obtiveram eficiência técnica máxima e, além disso, chegou à conclusão de que entre as ineficientes (treze usinas), a explicação é a ineficiência no uso de insumos.

2.3 Conclusões

O capítulo 2 procurou tatear a questão da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar e a importância do tema para a sobrevivência das mesmas no novo contexto de competitividade e busca por produtividade.

Como foi possível observar, ainda há poucos estudos sobre a eficiência do setor e os resultados sugerem que no geral as usinas não estão no seu potencial máximo, ou seja, elas

ainda têm um longo caminho a percorrer para obter o máximo de eficiência ao usar os recursos disponíveis da melhor forma possível.

Em suma, é razoável afirmar que as usinas do setor ainda parecem ser em sua grande maioria *followers* e até mesmo *laggards*, ou seja, possuem resistência em adotar as inovações, principalmente as unidades mais tradicionais. Esse quadro pode estar em transformação, com a entrada de novos grupos, principalmente os estrangeiros e de outros setores, o que traz uma nova dinâmica para o setor.

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS DADOS

3.1 Introdução

A análise de eficiência produtiva ou desempenho é uma medida tradicional e amplamente utilizada em diversos setores da economia para comparar a relação entre o uso de insumos e produtos obtidos para determinadas unidades produtivas. A análise pode ser realizada de diversos modos, sendo a taxa de produtividade, relação direta entre produtos e insumos, a medida mais comum e simples de utilização.

Esta medida trata-se de uma avaliação *ex-post*, a qual pode ser aplicada no nível micro das *Decision Making Units* (DMUs), Unidades Tomadoras de Decisão, que pode se referir a empresas privadas produtoras de bens, caso particular desse trabalho, além de outros tipos de empresas, como organizações não-lucrativas, escolas ou hospitais. O método também permite a análise interna de desempenho dos setores de uma única unidade produtiva (Coelli *et al.*, 1997)

Há diversos métodos de análise de desempenho, mas esse trabalho utilizará o método da Análise Envoltória de Dados (DEA) com o uso do Índice de Malmquist, pois trata-se de uma amostra com dados em painel, a qual deve ser analisada em diversos períodos do tempo.

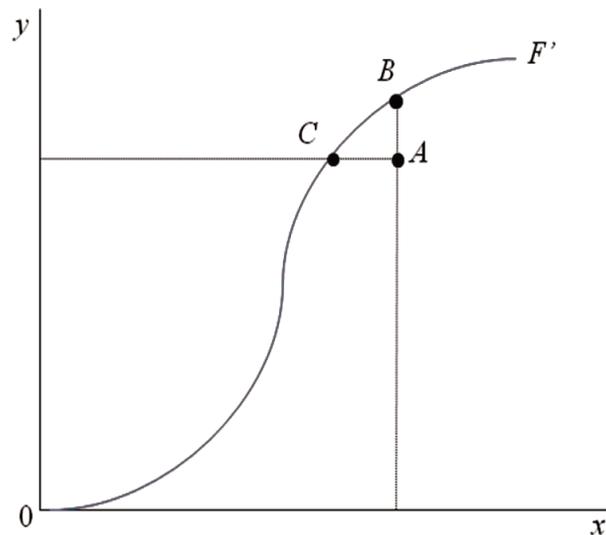
3.2 Conceitos e Definições

Para um melhor entendimento da metodologia utilizada no trabalho, essa seção começará com a definição de produtividade, a qual significa a taxa de produtos obtidos pelos insumos utilizados. Segundo Coelli *et al.* (1997), caso o problema envolva mais de um insumo, então o método de procedimento é a construção de um índice para obter uma medida de produtividade.

Por sua vez, o termo eficiência, apesar de ser usado como sinônimo para produtividade, é um conceito muito particular e distinto de produtividade. Para melhor entendimento da diferença será utilizado um exemplo ilustrativo. Considere uma função de produção no qual um insumo (x) é usado para produzir um produto (y). A linha da curva

OF' na Figura 3.1 representa a fronteira de produção, que pode ser usada para definir a relação entre insumo e produto, sendo assim a representação gráfica do produto máximo obtido para um dado nível de insumo. Assim sendo, a curva OF' reflete o estado atual de tecnologia na indústria, em que as empresas que estiverem sobre a fronteira de eficiência podem ser consideradas tecnicamente eficientes, e aquelas sob a curva não são tecnicamente eficientes.

Figura 3.1. Fronteiras de Produção e Eficiência Técnica



Fonte: Coelli *et al* (1997)

Na Figura 3.1 o ponto A representa uma unidade produtiva ineficiente, porque tecnicamente esta poderia aumentar o seu produto para o nível relacionado ao ponto B, sem necessitar de aumento no volume de insumos. Por sua vez, os pontos B e C representam pontos eficientes, para diferentes níveis de insumos.

Dentro da mesma Figura 3.1 é possível explicar economias de escala, que significa o movimento do ponto B para o ponto C, que apesar de se posicionarem sobre a mesma fronteira de eficiência, podem ser considerados distintos, pois o ponto C é o ponto máximo de produtividade, também chamado de ponto de escala ótima técnica. Portanto, uma unidade produtiva pode ser considerada tecnicamente eficiente e continuar apta para melhorar a produtividade através de economias de escala.

Outro conceito importante é de mudança tecnológica, o qual considera a análise

intertemporal, ou seja, comparam-se as produtividades ao longo do tempo considerando os avanços na tecnologia. A mudança de tecnologia pode deslocar a fronteira de produção ao longo do período analisado.

As alterações positivas ou negativas na produtividade de uma unidade produtiva entre dois períodos de tempo t e $t+1$ podem ser explicadas por melhorias na eficiência, mudança tecnológica ou exploração de economias de escala. Os ganhos de produtividade podem ser explicados exclusivamente por cada uma delas ou pelo conjunto das três componentes.

3.3 Análise Envoltória de Dados (DEA)

O método de Análise Envoltória de Dados (DEA) é um método relativamente recente e tem sido amplamente usado nos mais variados estudos sobre eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs), tendo sido notado que esse método tem fornecido informações mais precisas acerca das atividades, representando um avanço na análise de eficiência. (Cooper *et al.* 2004)

Este é um método que assume que nem todas as empresas são eficientes, havendo a estimativa de fronteiras de eficiências, em que a análise das firmas é relativa à fronteira, ou seja, a análise da eficiência das firmas é baseada na fronteira de eficiência. Esses métodos são Análise Envoltória de Dados (DEA) e Fronteiras Estocáticas, os quais envolvem programação matemática e métodos econométricos, respectivamente (Coelli *et al.*, 1997).

O método DEA pode ser aplicado em casos de múltiplos insumos e múltiplos produtos e tem como característica a vantagem de poder identificar as origens e quantificar a ineficiência em cada insumo e cada produto para cada parte da empresa e identificar os membros referência. O uso mais frequente do modelo DEA é para calcular a eficiência técnica das Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs). O método requer somente dados quantitativos dos insumos e produtos, além de identificar as DMUs *benchmarks* (Cooper *et al.* 2006 *apud* Mello 2006).

Segundo Coelli *et al.* (1997), a discussão de eficiência inicia-se com o trabalho de Farrell (1957), o qual a partir do trabalho de Debreu (1951) e Koopmans (1951), definiu uma medida simples de eficiência da firma que considerava múltiplos insumos. Farrell

(1957) contribuiu com a proposição acerca da composição da medida de eficiência, a qual se divide entre eficiência técnica, capacidade de produzir o máximo de produtos a partir de um dado grupo de produtos, e eficiência alocativa, a qual reflete a habilidade da firma em usar os insumos em ótimas proporções, dados seus respectivos preços e tecnologia de produção. Tais medidas combinadas fornecem uma medida total de eficiência econômica.

A mensuração da eficiência técnica baseia-se na determinação de níveis ótimos de insumos e produtos, em que os níveis de insumos e produtos observados são comparados a fim de obter uma razão de eficiência. Entretanto a determinação dos níveis ótimos era um problema que inviabiliza a mensuração da eficiência técnica, tendo sido resolvida a partir do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) em 1978, com a formulação da análise DEA, a qual gera fronteiras de produção com unidades tecnicamente eficientes, com níveis ótimos de produção e insumo (Mello, 2005)

O conjunto de referência é o conjunto das DMUs que se localizam na fronteira de eficiência e são denominados de *benchmarks* para cada DMU avaliada. Os pesos associados a cada DMU são calculados pelo modelo, em que cada uma possui um valor diferente. O objetivo desses pesos é minimizar a razão entre a soma ponderada dos insumos e a soma ponderada dos produtos. Os pesos são calculados de forma que a organização sob avaliação é colocada na melhor forma perante as outras unidades, no conjunto de dados. Os pesos gerados por DEA podem não representar a mesma importância que a administração possui, mesmo que subjetivamente, sobre determinada variável.

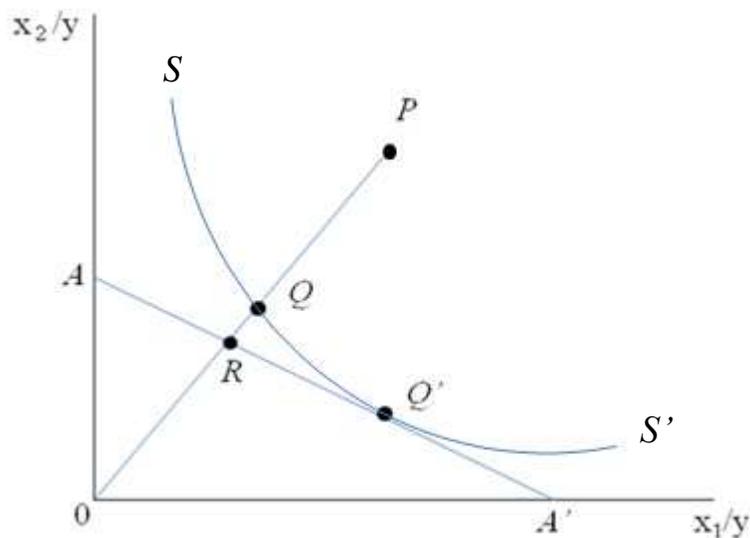
3.4 Conceitos de Medidas de Eficiência

Para a aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) os modelos utilizados são classificados de acordo com o tipo de superfície envoltória e a sua orientação a insumos ou produtos (Salgado Jr, *et al.*, 2009). A Eficiência Técnica (ET) é uma função a qual mede a fronteira de produção, em que esta pode ser medida pela orientação ao insumo, focada na redução do insumo, ou orientação ao produto, focada no aumento do produto.

3.4.1 Medida de Eficiência Insumo Orientada

A medida da eficiência técnica é possível através do conhecimento da unidade da isoquanta SS' (Figura 3.2) das firmas totalmente eficientes. Se uma firma utiliza uma dada quantidade de insumos (ponto P) para produzir uma unidade de produto (ponto Q), a ineficiência técnica da firma pode ser representada pela distância QP da firma em relação à fronteira de eficiência, a qual equivale a quantidade pela qual todos os insumos podem ser proporcionalmente reduzidos sem a redução do produto.

Figura 3.2. Eficiência Técnica



Fonte: Coelli *et al.* (1997)

A medida de ineficiência pode ser expressa em termos percentuais pela relação $\frac{QP}{OP}$, o qual representa a porcentagem pela qual todos os insumos precisam ser reduzidos para alcançar uma produção tecnicamente eficiente. A Eficiência Técnica (TE) da firma (i) é comumente medida pela relação,

$$TE_i = \frac{OQ}{OP} \quad (1)$$

que é igual a um menos QP/OP . Essa medida estará dentro do intervalo entre zero e um e, portanto, proverá um indicador do grau de ineficiência da firma. Em que um valor igual a um significa que a DMU é tecnicamente eficiente, em que o ponto Q é tecnicamente eficiente porque está situado sobre a isoquanta (fronteira de eficiência).

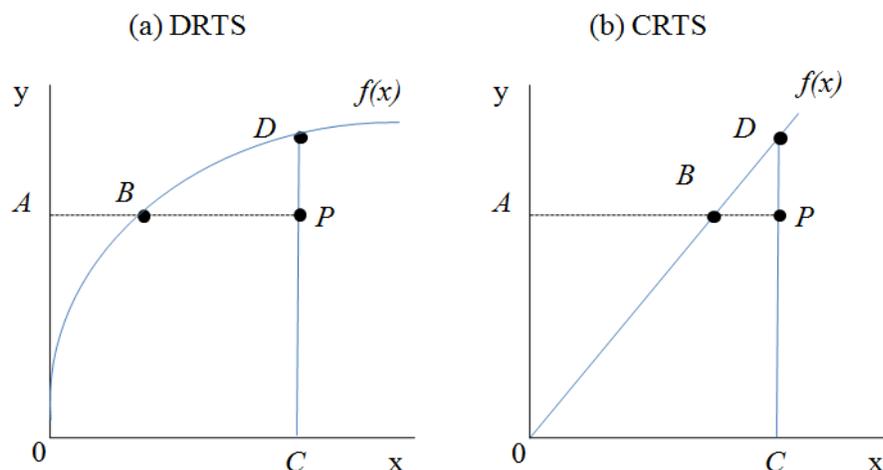
Em suma, a orientação ao insumo significa saber o quanto dos insumos utilizados pode ser proporcionalmente reduzido sem alterar a quantidade de produto final obtido. Em outras palavras, uma DMU é eficiente se, em sua escala de operação for a que melhor aproveita os insumos.

3.4.2 Medida de Eficiência Produto Orientada

A medida de eficiência produto orientada é o oposto da medida insumo orientada, em que agora a questão levantada se refere à quantidade de produto que pode ser proporcionalmente expandida sem alterar a quantidade de insumos utilizada.

Segundo Coelli *et al* (1997), a diferença essas duas medidas pode ser ilustrada usando um exemplo simples de um insumo (x) e um produto (y).

Figura 3.3. Medidas de Insumo e Produto – Orientadas e Retornos de Escala

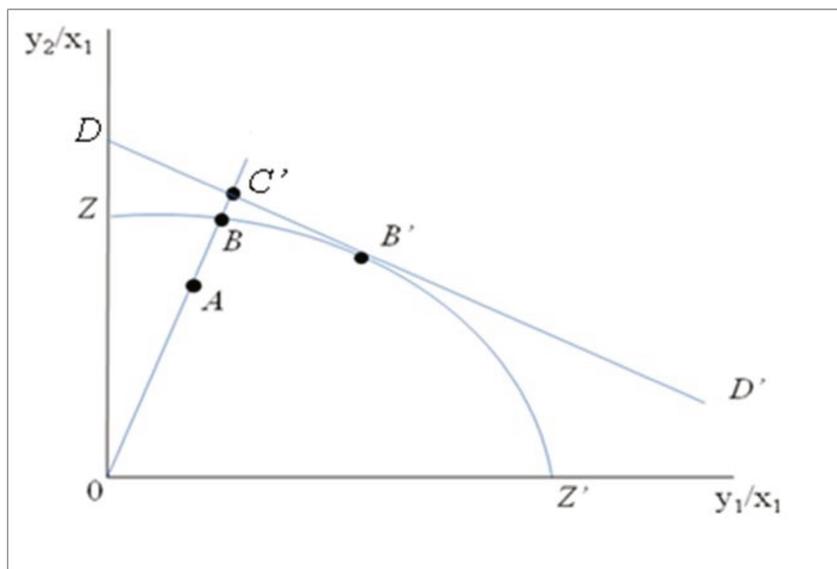


Fonte: Coelli *et al.* (1997)

A Figura 3.3 (a) representa os retornos decrescentes de escala tecnológica (DRTS), representada por $f(x)$, e uma firma ineficiente operando no ponto P, abaixo da fronteira de

eficiência. A medida insumo-orientada de eficiência técnica é igual à razão AB/AP , enquanto a medida produto-orientada de eficiência técnica é igual a CP/CD . Quando se tratar de retornos constantes de escala (CRTS), as medidas insumo-orientada e produto-orientada serão equivalentes (Figura 3.3 b).

Figura 3.4. Eficiência Técnica – Produto-Orientada



Fonte: Coelli *et al* (2003)

A Figura 3.4 apresenta um modelo em que a produção envolve dois produtos (y_1 e y_2) e um único insumo (x_1). A linha ZZ' é a curva das possibilidades de produção e o ponto A corresponde a uma unidade produtiva ineficiente, em que a distância AB representa ineficiência técnica, ou seja, é a quantidade pela qual os produtos podem aumentar sem a necessidade de um insumo extra.

Portanto, a medida de eficiência técnica produto-orientada é dada pela relação

$$TE_0 = \frac{0A}{0B} \quad (2)$$

Resumindo, no modelo insumo-orientado o método procura identificar a eficiência técnica como uma redução proporcional nos insumos utilizados com o nível de produtos mantido constante. E por sua vez, a medida produto-orientada considera o aumento

proporcional no nível de produto, com a manutenção do nível de insumos.

Segundo Coelli *et al* (2003), muitos trabalhos utilizam a medida de eficiência insumo-orientada porque grande parte das empresas têm regras a cumprir e, portanto, os insumos parecem ser as primeiras variáveis de decisão. Mas a escolha por tal medida não é uma regra, pois muitas empresas preferem obter um nível maior de produto dado um nível fixo de insumos, assim sendo, a orientação ao produto é mais apropriado.

Em suma, a escolha pela orientação ao insumo ou ao produto deve ser de acordo com quais quantidades de insumos ou produtos os tomadores de decisões possuem maior controle. Com isso, neste trabalho foi aplicada a medida de eficiência técnica orientada ao insumo, pois os recursos utilizados na produção são muito variáveis, o que leva à necessidade de melhor uso (eficiente) dos mesmos para aumentar o nível de competitividade das empresas.

3.5 Retornos Constantes de Escala (CRS) e Retornos Variáveis de Escala (VRS)

Há dois tipos de modelos para a análise DEA, conhecidos como “Retorno de Escala Constante” (CRS) e o modelo “Retorno de Escala Variável” ou (VRS). O modelo CRS foi o primeiro formulado por Charnes, Cooper e Rhodes, o qual ficou conhecido como modelo CCR. Esse modelo assumia três restrições a cerca da fronteira tecnológica: retornos constantes de escala (CRS), alta disponibilidade de insumos e produtos e convexidade das possíveis combinações de insumo-produto (Lovell, 1993 *apud* Mello, 2003). O modelo CCR realiza redução proporcional no insumo ou expansão no produto.

Já o modelo VRS foi realizado, em 1984, por Banker, Charnes e Cooper, que rendeu o nome BCC ao modelo. A diferença desse modelo em relação ao CCR refere-se ao relaxamento da restrição dos retornos constantes, os quais se tornaram retornos variáveis de escala. Assim, o VRS difere do modelo CCR basicamente pela adição da restrição da convexidade no problema de programação linear. Essa hipótese fornece a fronteira, a qual envelopa os dados mais severamente que a hipótese CRS (Lovell, 1993 *apud* Melo, 2003).

3.5.1 Retornos Constantes de Escala (CRS) ou (CCR)

Supõe-se a função de produção $y = f(x_1, x_2)$, em que há o aumento de todos os insumos na mesma proporção k , em que k é uma escala positiva. Considere a equação (3):

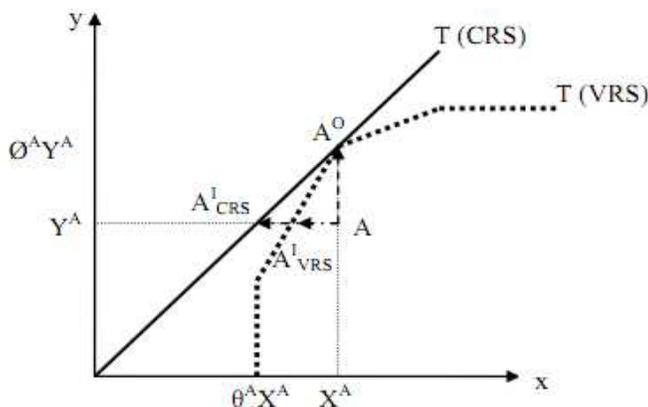
$$y = f(x_1, x_2) \quad (3)$$

então, retornos constantes de escala (CRS) ocorrem quando um aumento proporcional nos insumos resultam em um aumento proporcional no produto, podendo ser escrito como (4):

$$f(kx_1, kx_2) = kf(x_1, x_2) \quad (4)$$

Por consequência, a fronteira de produção sob a condição CRS é uma linha linear a partir da origem. Portanto, a análise resulta da eficiência técnica orientada ao insumo igual à eficiência técnica orientada ao produto. Na Figura 3.5, a firma A é tecnicamente ineficiente, pois está localizada abaixo da fronteira T. Esta produz a quantidade Y^A pela redução do uso do insumo a partir de A para A_{CRS}^1 imposto pela ineficiência no uso deste, ou pode expandir a quantidade de produto a partir de A para A^0 pelo uso da mesma quantidade de insumo X^A impondo a ineficiência do produto. A distância da redução de A - A_{CRS}^1 é igual a distância da expansão do produto de A - A^0 .

Figura 3.5. Retornos de Escala e Eficiência Técnica



Fonte: Coelli *et al.* (2008)

3.5.2 Retornos Variáveis de Escala (VRS) ou (BCC)

Os Retornos Variáveis de Escala (VRS) ocorrem quando um aumento proporcional em todos os insumos resulta em um aumento mais ou menos que proporcional no produto. Este pode ser dividido em Retornos Crescentes de Escala (IRS) e Retornos Decrescentes de Escala (DRS). O IRS ocorre quando um aumento proporcional em todos os insumos resulta em um aumento mais que proporcional no produto, enquanto o DRS ocorre quando o mesmo aumento resulta em um aumento em menor proporção no produto. (Coelli *et al.*, 1998).

$$IRS : f(kx_1, kx_2) > kf(x_1, x_2) \quad (5)$$

$$DRS : f(kx_1, kx_2) < kf(x_1, x_2) \quad (6)$$

Desta forma, a fronteira de produção sob a condição VRS é uma curva convexa a partir da origem. Neste caso, o resultado da eficiência técnica com orientação ao insumo não é igual à eficiência técnica orientada ao produto.

3.6 Índice Malmquist – Produtividade Total dos Fatores (PTF)

O índice de Malmquist foi inicialmente sugerido para análises de uso de insumos pelo seu autor (Malmquist, 1953), tendo sido posteriormente aplicado num contexto de produtividade por Caves *et al.* (1982), o que somado às idéias de Farrell (1957) sobre medidas de eficiência, levou ao índice de produtividade DEA-Malmquist, desenvolvido por Färe *et al.* (1992). Os primeiros trabalhos realizados por Aigner e Chu (1968) usaram métodos de programação linear aplicados à análise de dados em painel da área social e, posteriormente, medidas de crescimento da Produtividade Total dos Fatores (PTF) como a soma do componente de mudança de eficiência e mudança técnica (Coelli *et al.*, 1997)

O índice de Malmquist é definido pelo uso de funções de distância, as quais

permitem a descrição de múltiplos-insumos e múltiplos-produtos sem a necessidade de especificar a função objetivo, como minimização de custos ou maximização do lucro.

Ainda, esse índice permite a decomposição das mudanças de produtividade dentro da mudança no indicador de eficiência e mudança tecnológica, permitindo, dessa forma, conhecer a natureza da mudança de produtividade. (Melo Junior, 2005)

Esse índice mede a mudança na Produtividade Total dos Fatores (PTF) entre dois pontos pelo cálculo da taxa das distâncias de cada ponto relativo para uma tecnologia comum. Segundo Coelli *et al.* (1997), o índice de mudança na PTF entre o período s e o período t é dado pela fórmula:

$$m_o(y_s, x_s, y_t, x_t) = \left[\frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \times \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

onde a equação 7 representa a distância a partir do período t para o período s . Um valor de m_o maior que um (1) indica PTF positivo do período s para o período t , enquanto um valor menor que um (1) indica um declínio da PTF. A equação 7 é o exemplo geométrico dos dois índices de PTF do período s e do período t .

O índice pode ser escrito como segue:

$$m_o(y_s, x_s, y_t, x_t) = \frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \left[\frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (8)$$

onde a taxa localizada fora das chaves mede a mudança de eficiência técnica entre o período s e t . O restante do índice da equação 8 é uma medida de mudança técnica. Este é o significado geométrico da alteração na tecnologia entre os dois períodos, avaliado como x_t e x_s . Então os dois termos da equação 8 são:

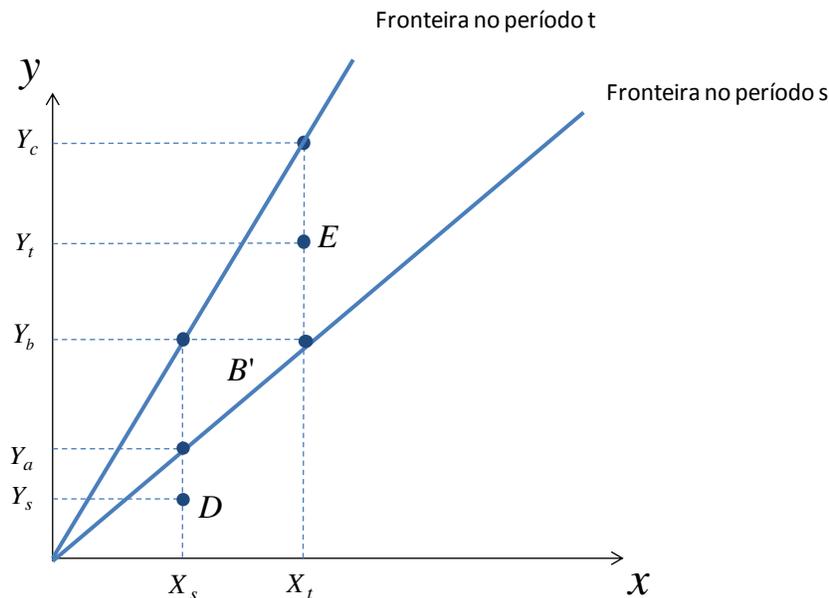
$$\text{Mudança de Eficiência} = \left[\frac{d_o^t(y_t, x_t)}{d_o^s(y_s, x_s)} \right] \quad (9)$$

e

$$\text{Mudança Técnica} = \left[\frac{d_o^s(y_t, x_t)}{d_o^t(y_t, x_t)} \times \frac{d_o^s(y_s, x_s)}{d_o^t(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

Esta decomposição é ilustrada na Figura 3.6, onde é exemplificado o modelo CRS/CCR envolvendo um insumo e um produto. As firmas D e E produzem nos pontos respectivos do gráfico nos períodos s e t . Em cada período a firma está operando abaixo da fronteira de eficiência. Portanto, há ineficiência técnica nos dois períodos.

Figura 3.6. Índice de Produtividade de Malmquist



Fonte: Coelli *et al* (1997)

Um ponto importante a ser enfatizado é que as propriedades dos retornos de escala são mais importantes para a medida da PTF. Quando são assumidos Retornos Variáveis de Escala (VRS) pode haver problemas, sendo então importante que o modelo CRS seja imposto a qualquer tecnologia que seja usada para estimar funções de distância para o cálculo de um índice PTF de Malmquist. Caso contrário, as medidas resultantes podem não refletir adequadamente os ganhos ou perdas da PTF resultante dos efeitos de escala.

Assim sendo, melhorias na produtividade estariam associadas a índices de Malmquist que excedam a unidade. A mesma leitura pode ser feita com cada componente

da PTF, em que se espera que o componente de eficiência técnica capte a difusão tecnológica e o processo de *catching-up*, enquanto o processo de mudança técnica capte as inovações. A mudança de eficiência técnica pode ser decomposta em eficiência de escala e eficiência técnica pura.

A metodologia utilizada no cálculo da variação da PTF e de sua decomposição baseia-se no índice de produtividade total de Malmquist. A PTF é decomposta em dois componentes: variação da eficiência técnica e variação tecnológica. Este procedimento de decomposição permite identificar e quantificar os fatores determinantes do desempenho da PTF ao longo do tempo: o componente que explica uma aproximação da fronteira de produção (variação da eficiência técnica) e aquele relativo ao deslocamento da própria fronteira de produção (variação tecnológica). Marinho (2007)

Färe *et al.* (1994) coloca que se o valor do índice de Malmquist for menor do que 1, isso denota redução ou deterioração no desempenho, e valores maiores do que 1 denotam melhor desempenho relativo. Essas medidas capturam desempenho relativo para a melhor prática na amostra, onde a melhor prática representa a fronteira.

O Índice de Malmquist avalia os índices de produtividade em diferentes períodos de tempo, decompondo-os em sub-índices que refletem a variação da eficiência técnica e mudanças tecnológicas. Essa decomposição do índice de Malmquist contribui para uma análise das alterações nos índices de produtividade, pois permite identificar se um aumento é fruto do progresso tecnológico ou da melhoria na eficiência técnica, ou ainda, dos dois simultaneamente.

A análise de eficiência realizada nesse trabalho utilizou o modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA), com o índice de Malmquist, com o programa Data Envelopment Analysis Program (DEAP), em sua versão 2.1, escrita por Tim Coelli. O software foi obtido diretamente do Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA)²¹, a partir do qual foi possível gerar a eficiência do modelo VRS (BCC), orientado ao insumo, para as 15 DMUs selecionadas.

²¹ <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/deap.htm>

3.7 Conclusões

O capítulo 3 apresentou o modelo DEA e o Índice de Malmquist, o qual será utilizado no Capítulo 4 para a análise dos dados de insumos (número de empregados na indústria e volume de cana-moída) e produtos (volume total produzido pela usina), para que se conheça as usinas que apresentaram ganhos de produtividade ao longo do período 2001-2008 e inferir estatisticamente os possíveis determinantes do melhor resultado.

O modelo avalia os índices de produtividade ao longo do tempo, decompondo-os em índices que captam variação da eficiência técnica e mudanças tecnológicas. A decomposição contribui para uma análise mais detalhada das alterações nos índices de produtividade, pois é possível averiguar se a variação é decorrente de alterações na fronteira tecnológica (inovações) ou melhoria na eficiência técnica ou de ambos simultaneamente.

CAPÍTULO 4: DADOS DA AMOSTRA E RESULTADOS

4.1 Fonte de dados e construção das variáveis.

O presente capítulo apresenta os dados da amostra, caracterizando as usinas, assim como os índices de Produtividade Total dos Fatores (PTF) de Malmquist e seus componentes, com a participação dos mesmos nos resultados obtidos. E, por fim, algumas inferências, procurando averiguar a existência de correlações entre o nível de produtividade médio alcançado no período e as variáveis como, o tempo de funcionamento da usina, tempo de consultoria, tamanho da usina, mix de produção e rendimento geral da destilaria.

Os dados primários foram fornecidos pela Consultoria Fermentec e pelas próprias usinas analisadas através da UNICA. A Consultoria Fermentec²² é uma empresa especializada em fornecer tecnologia em fermentação ao setor sucroenergético. Segundo Barros (2009), a empresa é uma das pioneiras na área de busca e transferência de tecnologia de fermentação alcoólica e de controle da produção de açúcar. A consultoria trabalha com mais de setenta empresas do setor, objetivando otimizar o rendimento industrial e contribuindo para a melhoria da qualidade do produto final.

A União dos Produtores de Açúcar (UNICA) é uma organização representativa do setor sucroenergético brasileiro, criada em 1997, após a desregulamentação do setor no Brasil. A UNICA representa 146 companhias em todo o Brasil, as quais abrangem mais de 50% da produção nacional de açúcar e etanol²³.

O período de análise compreende os anos entre 2001 e 2008²⁴, antes das mudanças ocorridas no controle de propriedade do setor, que segundo Macedo (2011), após a desregulamentação do setor nos anos 1990, o setor entrou na década seguinte com várias usinas descapitalizadas, devido à queda nos preços do açúcar e do etanol, fazendo com que grupos mais estruturados tivessem comprado as usinas endividadas e, com isso, provocado um aumento nas operações de fusões e aquisições no início dos anos 2000. As usinas que se

²² Localiza-se em Piracicaba/SP, com 34 anos de atuação.

²³ UNICA (2011)

²⁴ Os resultados obtidos na análise aparecem para o período de 2002-2008, pois trata-se de uma análise intertemporal.

mantiveram no mercado sofreram o acirramento da concorrência, levando à busca por melhorias nos processos produtivos.

A amostra original fornecida pela Consultoria Fermentec tinha um grupo de usinas e abrangência temporal maiores, entretanto, por haver lacunas nos dados originais, estes não puderam ser utilizados em sua totalidade, pois o modelo adotado não admite valores ausentes no conjunto de dados.

O grupo amostral compreende dezessete usinas e destilarias da região Centro-Sul, localizadas nos Estados de São Paulo (15), Goiás (1) e Paraná (1).

A informação sobre o número de empregados, cedida pela UNICA, resultou em uma análise relativamente distinta da efetuada pela consultoria, a qual considera eficiência produtiva apenas a entrada de açúcares²⁵ na usina e a saída dos produtos finais, açúcar e etanol.

O presente trabalho é um estudo exploratório da eficiência produtiva de um grupo de usinas da região Centro-Sul do Brasil, representando um grupo que promoveu melhorias no seu processo produtivo através da contratação dos serviços da Consultoria Fermentec. Desta forma, a amostra possui um viés de seleção, pois se trata de unidades produtivas que investiram na melhoria dos processos dentro da área industrial da usina.

Para a análise completa da eficiência produtiva industrial das usinas será necessário categorizar a análise em duas, com a análise descritiva estatística da amostra investigando a produção e a análise DEA (Análise Envoltória de Dados) através do índice de Malmquist.

Os resultados permitiram a separação das usinas da amostra em dois grupos distintos, as usinas com índice da PTF maior do que 1 e as usinas com índice da PTF menor do que 1. A partir dessa categorização foi possível analisar os determinantes de agrupamento das usinas, procurando também verificar a relação entre eficiência produtiva e diversas variáveis, como, tempo de consultoria, tamanho das usinas, mix de produção, tempo de operação das usinas, nível de ART, rendimento geral da destilaria e gestão do negócio.

O processo de amostragem é não aleatório, pois o universo estudado é naturalmente restrito, uma vez que as usinas foram escolhidas a partir dos clientes da Fermentec, ou seja, são unidades que procuraram melhorias nos últimos anos no seu processo de fermentação e

²⁵ Refere-se ao ART (açúcares redutores totais)

destilação. Esse ponto é importante, pois há limitações de inferência, mas não invalida os resultados da pesquisa, já que não se tem o intuito de generalizar os resultados.

A amostra do trabalho pode ser considerada um grupo de elite, uma vez que das 345 usinas da região Centro-Sul, menos de 100 usinas contrataram os serviços de consultoria da Fermentec no período analisado. Essa informação é importante na medida que a Fermentec é uma empresa privada referência em pesquisa na área industrial do setor sucroenergético. A maioria das usinas fazem acordos com Universidades, CTC e Embrapa (ultimamente) principalmente para a área agrícola, havendo uma lacuna de serviços de melhoria de eficiência da área industrial.

As variáveis utilizadas na aplicação do método DEA-Malmquist para o cálculo da eficiência relativa das DMUs são divididas em *inputs* (entradas/insumos) e *outputs* (saídas/produtos). Os *inputs* utilizados são a quantidade de cana moída ao longo dos anos e número de empregados na área industrial da usina. Os *outputs* foram a produção de açúcar e etanol total (anidro e hidratado), mas foram padronizados por meio da conversão da produção total de açúcar em álcool.

A metodologia do trabalho previa a utilização um número maior de variáveis, nos *inputs*, que explicassem melhor a eficiência da área industrial da usina. Previa-se a inclusão de alguma variável relacionada ao capital produtivo nas usinas da amostra, para que se captasse a variação da capacidade instalada e sua relação com a eficiência. Entretanto, esta informação não estava disponível, portanto, o trabalho focará na eficiência produtiva, ou seja, apenas capacidade de transformar *inputs* em *outputs* na área industrial da usina.

4.2 Análise Descritiva da Amostra

O grupo de usinas analisado nesse trabalho, apesar de ser pequeno em número de elementos, apresenta grande relevância perante o setor sucroenergético da região Centro-Sul do Brasil. O papel relevante se dá pela participação da amostra no total de cana-de-açúcar moída (em toneladas) pelo total de usinas da região, assim como pela considerável proporção em relação ao volume total de açúcar (em ton) e etanol (em mil L) produzidos pela mesma região.

Conforme já citado no primeiro capítulo deste trabalho, a região Centro-Sul, que inclui os Estados das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, possui 345 usinas²⁶, tornando a amostra uma proporção de apenas 4,92% do total de unidades. Em termos produtivos, a amostra ganha importância, pois representa 11,5% do total de cana-de-açúcar processada pelas usinas, assim como respondem por aproximadamente 10% dos produtos finais obtidos. Esse fato pode ser atribuído ao tamanho e importância das unidades selecionadas, pois se tratam de usinas de grande e médio porte.

A Tabela 4.1 apresenta os dados do volume de cana-de-açúcar processado anualmente, entre 2001 e 2008, pelo total de usinas da amostra e pela região Centro-Sul²⁷. A amostra é fixa, pois em todos os anos se refere às 17 usinas, enquanto os dados da região Centro-Sul são variáveis, uma vez que houve aumento no número de usinas, principalmente em direção ao Centro-Oeste, conforme já tratado no Capítulo 1.

Tabela 4.1. Processamento de cana-de-açúcar (em ton) - 2001 – 2008

Cana-de-Açúcar					
Ano	Amostra	Taxa de Crescimento Anual	Centro-Sul	Taxa de Crescimento Anual	Participação Amostra/Centro-Sul
2001	28.993.456,44	-	244.218.084,00	-	11,9%
2002	32.816.567,32	13,2%	270.406.693,00	10,7%	12,1%
2003	37.155.489,97	13,2%	299.120.591,00	10,6%	12,4%
2004	38.910.283,14	4,7%	328.697.362,49	9,9%	11,8%
2005	41.408.731,99	6,4%	337.714.418,00	2,7%	12,3%
2006	44.121.154,12	6,6%	372.285.061,00	10,2%	11,9%
2007	46.205.091,85	4,7%	431.113.603,00	15,8%	10,7%
2008	52.257.245,15	13,1%	504.962.891,00	17,1%	10,3%
Média	40.233.502,50	8,8%	348.564.837,94	11,0%	11,5%

Fonte: Elaboração Própria - UNICA e Fermentec

Esse fato pode explicar o motivo do volume de cana-de-açúcar moído pela amostra ter evoluído 72,46%, entre 2001 e 2008, ao passo que o volume processado de cana na região Centro-Sul apresentou um crescimento para o mesmo período de 106,76%.

Os dados de produção de etanol e açúcar (Tabela 4.2) também mostram uma participação da amostra de aproximadamente 10% em relação ao total produzido na região

²⁶ Total das unidades produtivas de açúcar e etanol, seja conjuntamente ou apenas cada um dos produtos, no ano de 2010.

Centro-Sul. A participação caiu relativamente ao longo dos anos devido ao aumento da produção total da região Centro-Sul, a qual foi marcada pela expansão da área cultivada²⁸ e instalação de usinas na região Centro-Oeste.

Tabela 4.2. Comparativo entre a produção de etanol e açúcar na região Centro-Sul e na amostra. 2001 – 2008.

Etanol					
Ano	Amostra	Taxa de Crescimento Anual	Centro-Sul	Taxa de Crescimento Anual	Participação Amostra/Centro-Sul
2001	1.225.605,78	-	10.176.290,00	-	12,0%
2002	1.354.537,30	10,5%	11.152.084,00	9,6%	12,1%
2003	1.629.155,48	20,3%	13.068.637,00	17,2%	12,5%
2004	1.603.166,11	-1,6%	13.591.355,00	4,0%	11,8%
2005	1.784.256,74	11,3%	14.352.542,00	5,6%	12,4%
2006	1.881.398,89	5,4%	16.006.345,00	11,5%	11,8%
2007	2.044.712,58	8,7%	20.333.466,20	27,0%	10,1%
2008	2.377.458,59	16,3%	25.101.963,00	23,5%	9,5%
Média	1.737.536,43	10,1%	15.472.835,28	14,1%	11,2%

Açúcar					
Ano	Amostra	Taxa de Crescimento Anual	Centro-Sul	Taxa de Crescimento Anual	Participação Amostra/Centro-Sul
2001	2.056.629,26	-	15.972.162,00	-	12,9%
2002	2.477.244,93	20,5%	18.778.055,00	17,6%	13,2%
2003	2.644.673,28	6,8%	20.420.477,00	8,7%	13,0%
2004	2.793.281,98	5,6%	22.085.132,00	8,2%	12,6%
2005	2.875.345,02	2,9%	22.084.810,00	0,0%	13,0%
2006	3.147.859,62	9,5%	25.784.133,00	16,8%	12,2%
2007	3.094.552,05	-1,7%	26.200.606,00	1,6%	11,8%
2008	3.149.597,34	1,8%	26.749.819,39	2,1%	11,8%
Média	2.779.897,93	6,5%	22.259.399,30	7,8%	12,5%

Fonte: Elaboração Própria - UNICA e Dados Próprios

Na Tabela 4.2 ainda é possível verificar que a produção de etanol cresceu 147% ao longo do período na região Centro-Sul, ao passo que a produção de açúcar foi ampliada em 67%. De tal modo, a produção de etanol do grupo analisado cresceu 84%, enquanto a produção de açúcar ampliou em 43%. Esse fato reflete a discussão já realizada previamente

²⁷ Considera os Estados de MG, ES, RJ, SP, SC, RS, MT, MS e GO. Fonte: UNICA (2011)

²⁸ Ver Capítulo 1 sobre a expansão da cultura da cana.

sobre a maior demanda por etanol nos mercados doméstico e internacional, o que tem refletido na construção de unidades produtivas (*greenfields*) dedicadas apenas à produção de etanol (destilarias), caso verificado no Centro Oeste.

Tabela 4.3. Dados de Produção e Empregados na Indústria – Amostra – 2001 – 2008

Ano	Cana Moída (T)	Álcool (mil L)	Açúcar (T)	Empregados
2001	28.993.456,44	1.225.605,78	2.056.629,26	4.549
2002	32.816.567,32	1.354.537,30	2.477.244,93	5.275
2003	37.155.489,97	1.629.155,48	2.644.673,28	5.559
2004	38.910.283,14	1.603.166,11	2.793.281,98	5.779
2005	41.408.731,99	1.784.256,74	2.875.345,02	5.922
2006	44.121.154,12	1.881.398,89	3.147.859,62	6.277
2007	46.205.091,85	2.044.712,58	3.094.552,05	6.667
2008	52.257.245,15	2.377.458,59	3.149.597,34	6.707

Fonte: Elaboração Própria – Dados primários

Seguindo a Tabela 4.3, o crescimento do volume moído foi de 72% para o período, o número de empregados nas unidades da amostra cresceu 47,4%, para o mesmo período, no conjunto total da amostra. Ainda com os dados da Tabela 4.3, é possível verificar que a quantidade de cana moída por trabalhador na indústria aumentou 17%, entre 2001 e 2008, partindo 6.373 toneladas/empregado, em 2001, para 7.455 toneladas/empregado, em 2008. Esse fato apresenta indicativos de que a produção industrial tornou-se mais eficiente na produtividade do trabalho, possivelmente devido a maiores e melhores investimentos nos processos produtivos, otimizando o uso da mão-de-obra.

Os dados detalhados das usinas pertencentes à amostra são apresentados na Tabela 4.4. Os dados estão apresentados pela média entre os anos 2001 e 2003, para não haver a identificação das usinas. Como é possível observar, a amostra agrega usinas de diversos tamanhos, seguindo a categorização utilizada pela UNICA (2009) *apud* Salgado Júnior, *et al* (2009), a qual classifica as usinas de acordo com a capacidade de moagem, sendo as de porte grande aquelas com capacidade superior a 2,5 milhões de toneladas por safra, as de porte médio aquelas com capacidade entre 1,0 a 2,5 milhões de toneladas por safra e, por fim, as de porte pequeno, aquelas com capacidade inferior a 1,0 milhão de toneladas por safra.

Os dados para o período de 2001 a 2003 mostram que somente as usina 15 e 16 eram unidades de pequeno porte, enquanto as unidades 3, 7, 8, 9, 10 e 11 já eram de grande porte e as nove unidades restantes eram de médio porte.

O número de empregados apresentou alta variação entre as usinas de portes semelhantes, assim como as relações entre cana moída/empregados, produção final/cana moída e produção final/empregados.

Tabela 4.4. Amostra pelo volume de cana moída, produção de etanol, empregados e produtividade parcial – Média dos anos 2001 - 2003

Usina	Cana Moída (t)	Etanol (Mil L)	Empregados	Cana moída/ empregado (t/emp)	Etanol/ Cana Moída (L/t)	Etanol (Mil L)/ Empregados
1	1.924.786	177.296	374	5.151	92,11	474
2	1.244.097	114.607	402	3.092	92,12	285
3	2.922.065	268.210	761	3.838	91,79	352
4	1.968.761	187.554	166	11.860	95,26	1.130
5	1.139.737	102.525	87	13.100	89,96	1.178
6	1.031.712	100.078	116	8.869	97,00	860
7	3.377.546	308.202	269	12.556	91,25	1.146
8	2.997.407	278.937	343	8.747	93,06	814
9	2.714.617	247.649	395	6.872	91,23	627
10	3.258.196	283.655	526	6.198	87,06	540
11	2.882.469	274.031	307	9.399	95,07	894
12	1.216.092	107.948	157	7.762	88,77	689
13	1.494.982	136.274	308	4.854	91,15	442
14	1.837.256	168.802	265	6.942	91,88	638
15	869.362	78.453	222	3.910	90,24	353
16	731.467	67.286	188	3.884	91,99	357
17	1.377.953	127.738	242	5.694	92,70	528
Total	32.988.505	3.029.244	5.128	122.730	-	-
Média	1.940.500	178.191	301,63	7.219,39	91,92	665
Desvio Padrão	900.733	82.090	164,36	3.149,26	2,38	294

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

No período (2001/03), a média do rendimento da produção de etanol por cana moída foi de 91,92 litros/tonelada, com baixa variabilidade entre as unidades. Por sua vez, a relação entre cana moída/empregado apresentou média de 7,2 milhões de toneladas/empregado, com alta variabilidade, assim como a relação produção final por

empregado, com média de 665 mil litros de etanol por empregado e alta variabilidade entre as usinas.

Os dados para o período de 2004 a 2006 mostram que somente a usina 16 continuou sendo de porte pequeno, enquanto as unidades 1 e 4 saíram da categoria média e se tornaram usinas de grande porte, totalizando no período 8 usinas de grande porte, 1 de porte pequeno e 8 de médio porte.

O número de empregados mais uma vez apresentou alta variação entre as usinas de portes semelhantes, assim como as relações entre cana moída/empregados, produção final/cana moída e produção final/empregados.

Tabela 4.5. Amostra pelo volume de cana moída, produção de etanol, empregados e produtividade parcial – Média dos anos 2004 – 2006

Usina	Cana Moída (t)	Etanol (Mil L)	Empregados	Cana moída/ empregado (t/emp)	Etanol/ Cana Moída (L/t)	Etanol (Mil L)/ Empregados
1	3.083.334	272.418	399	7.734	88,35	683
2	1.578.601	146.089	456	3.464	92,54	321
3	2.894.726	259.696	820	3.529	89,71	317
4	3.004.095	270.694	186	16.180	90,11	1.458
5	1.638.881	142.913	109	14.990	87,20	1.307
6	1.152.716	106.320	175	6.600	92,23	609
7	3.694.733	342.954	367	10.067	92,82	934
8	4.259.818	394.434	377	11.299	92,59	1.046
9	4.152.643	362.117	460	9.027	87,20	787
10	3.161.081	291.214	517	6.110	92,12	563
11	3.723.003	339.658	343	10.865	91,23	991
12	1.339.743	115.574	179	7.471	86,27	644
13	1.773.758	154.639	333	5.327	87,18	464
14	2.155.675	195.852	362	5.955	90,85	541
15	1.284.197	117.440	307	4.183	91,45	383
16	938.526	82.588	279	3.368	88,00	296
17	1.644.525	148.638	324	5.070	90,38	458
Total	41.480.056	3.743.239	5.993	131.239	-	-
Média	2.440.003	220.191	352,51	7.719,97	90,02	694
Desvio Padrão	1.115.891	102.043	163,68	3.883,00	2,23	348

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

No período (2004/06), a média entre produção de etanol e cana moída foi de 90,02 litros/tonelada, com baixa variabilidade entre as unidades. Por sua vez, a relação entre cana moída/empregado apresentou pequeno incremento na média, com produtividade de 7,7 mil toneladas/empregado, com alta variabilidade, assim como a relação produção de etanol por empregado, com média de 694 mil litros por empregado e alta variabilidade entre as usinas.

E, por fim, o período 2007/08, em que todas as usinas da amostra são de médio e grande porte. Importante ressaltar que o número de usinas de grande porte é maior do que as de médio porte, ou seja, as unidades tiveram ao longo da década grande aumento de escala.

O número de empregados mais uma vez apresentou alta variação entre as usinas de portes semelhantes, assim como as relações entre cana moída/empregados, produção final/cana moída e produção final/empregados.

Tabela 4.6 Amostra pelo volume de cana moída, produção final, empregados e produtividade parcial – Média dos anos 2007 – 2008

Usina	Cana Moída (t)	Etanol (Mil L)	Empregados	Cana moída/ empregado (t/emp)	Etanol/ Cana Moída (L/t)	Etanol (Mil L)/ Empregados
1	4.216.349	359.924	547	7.715	85,36	659
2	1.884.489	173.464	464	4.061	92,05	374
3	3.474.042	279.052	833	4.173	80,32	335
4	3.335.624	294.767	222	15.059	88,37	1.331
5	2.017.913	173.308	131	15.404	85,88	1.323
6	1.230.899	110.113	182	6.782	89,46	607
7	3.942.474	343.405	405	9.735	87,10	848
8	5.327.616	487.981	505	10.550	91,59	966
9	4.573.813	403.423	460	9.943	88,20	877
10	3.586.822	307.302	590	6.085	85,68	521
11	4.022.635	359.747	308	13.061	89,43	1.168
12	1.526.394	125.475	189	8.098	82,20	666
13	2.331.851	210.651	379	6.153	90,34	556
14	2.844.362	258.114	429	6.630	90,75	602
15	1.587.188	154.588	336	4.724	97,40	460
16	1.251.733	114.249	292	4.287	91,27	391
17	2.076.965	177.238	418	4.969	85,34	424
Total	49.231.169	4.332.801	6.687	137.427	-	-
Média	2.895.951	254.871	393,35	8.083,92	88,28	712
Desvio Padrão	1.267.160	111.806	174,10	3.689,73	4,04	323

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

No período (2007/08), a média entre produção final e cana moída foi de 88,28 litros/tonelada, com aumento na variabilidade entre as unidades. Por sua vez, a relação entre cana moída/empregado apresentou novamente pequeno incremento na média, com produtividade de 8 milhões de toneladas/empregado, com alta variabilidade, assim como a relação produção final por empregado, com média de 712 mil litros por empregado e alta variabilidade entre as usinas.

Em relação aos produtos finais obtidos pelas unidades da amostra, temos que a proporção entre os produtos, chamada de mix de produção, não se alterou substancialmente ao longo do período (Tabela 4.7). Na seção 4.7 será analisada a relação entre mix de produção e ganhos de eficiência produtiva.

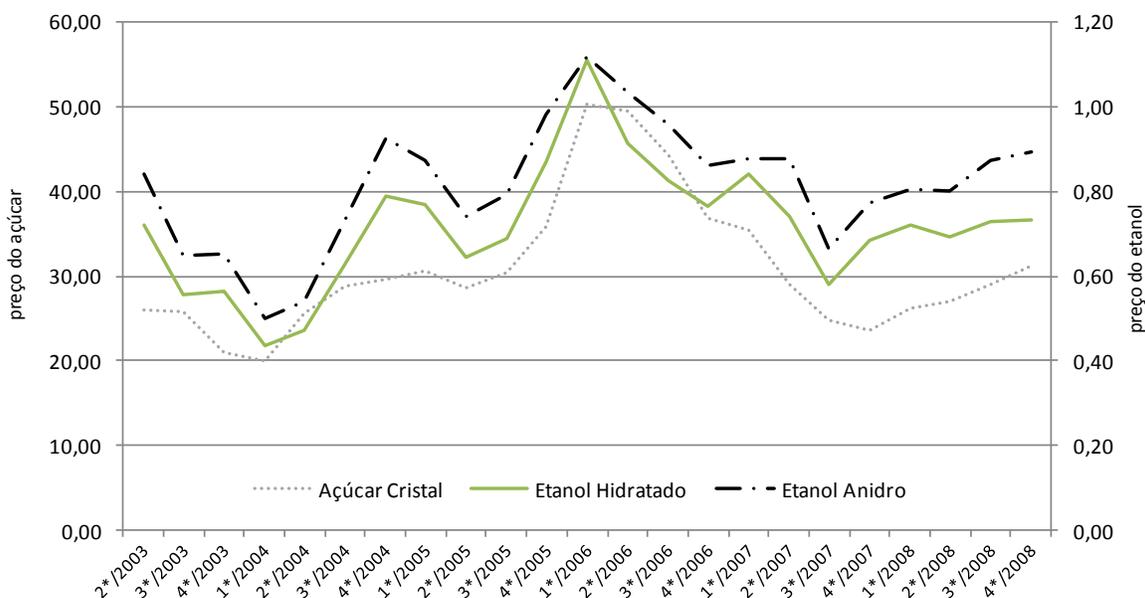
Tabela 4.7. Mix de Produção – Etanol – 2001-2008

Usina	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Média	Desvio Padrão
1	27,5%	28,1%	25,7%	27,6%	26,3%	27,7%	31,8%	40,0%	30,3%	4,68%
2	29,9%	29,7%	28,1%	28,3%	27,5%	24,9%	25,5%	29,7%	27,8%	1,89%
3	30,1%	28,3%	27,1%	27,8%	28,0%	27,2%	31,7%	42,0%	30,1%	4,98%
4	45,9%	44,6%	42,8%	39,8%	43,0%	42,4%	43,0%	44,9%	43,1%	1,90%
5	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,00%
6	44,9%	43,2%	45,5%	48,8%	52,9%	47,6%	48,1%	50,3%	47,7%	3,11%
7	61,4%	58,3%	61,7%	57,2%	60,8%	59,6%	62,2%	61,6%	60,3%	1,80%
8	46,8%	37,9%	43,8%	44,0%	45,4%	42,2%	44,9%	48,0%	44,4%	3,10%
9	43,7%	38,6%	40,8%	33,3%	48,2%	48,8%	49,5%	53,9%	46,1%	6,77%
10	39,8%	35,2%	43,8%	35,4%	36,4%	37,4%	48,1%	50,6%	41,0%	5,98%
11	53,6%	53,1%	62,0%	54,0%	61,2%	59,6%	57,2%	59,3%	152,9%	3,56%
12	47,9%	44,7%	53,9%	48,8%	55,3%	49,0%	50,4%	57,4%	51,9%	4,24%
13	41,5%	42,4%	48,6%	54,6%	50,1%	51,5%	57,0%	55,9%	78,6%	5,82%
14	59,9%	56,2%	63,5%	58,3%	55,6%	53,6%	56,6%	57,7%	92,2%	3,01%
15	48,2%	47,4%	45,1%	50,8%	63,1%	50,2%	54,2%	55,3%	51,1%	5,70%
16	64,3%	63,0%	68,5%	64,9%	56,2%	52,1%	60,1%	68,7%	62,1%	5,82%
17	32,4%	39,0%	39,6%	40,9%	38,0%	39,9%	39,4%	40,4%	38,9%	2,68%
Total	46,7%	44,6%	47,5%	45,8%	47,7%	46,8%	49,3%	52,6%	47,9%	

Fonte: Fermentec – Elaboração Própria

Como exemplo, a maior produtora da amostra (Usina 8), nos anos 2007/08, manteve a proporção média em cerca de 46% e 54% para etanol e açúcar, respectivamente. Em todas as unidades em que houve alteração na proporção, observa-se ampliação na produção de etanol em detrimento da produção de açúcar. A flexibilidade na produção é fato recorrente nas usinas com destilarias anexas, as quais operam o mix conforme as variações de preços dos dois produtos no mercado doméstico e internacional (NASTARI, 2010).

Gráfico 4.1. Preços Nominais do Açúcar Cristal e Etanol Hidratado e Anidro – Dados Trimestrais - 2003 - 2008



Fonte: CEPEA/ESALQ

*preço do açúcar - saco de 50 kg

*preço do etanol – litro

O mix de produção é uma resposta direta à oscilação de preços observada no mercado de açúcar e etanol, mas desde que a usina possua condições de alterar o mix sem prejudicar o funcionamento da usina.

4.3 Resultados da Aplicação do DEA-Malmquist

A presente seção apresentará e discutirá os resultados da análise e modelagem DEA-Malmquist, no modelo BCC orientado a *inputs*. Como já mencionado, o índice de Malmquist avalia os índices de produtividade total ao longo do tempo, decompondo-os em índices que captam variação da eficiência técnica e mudanças tecnológicas.

Tabela 4.8. Índice de Produtividade de Malmquist – 2001 - 2008

Usina	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	Média	DP
1	1,020	0,954	0,987	0,999	1,047	0,948	0,987	0,991	0,035
2	1,029	1,025	0,982	0,999	1,008	1,006	0,976	1,003	0,020
3	0,992	1,017	0,953	1,006	1,034	1,014	0,737	0,959	0,104
4	0,992	1,04	0,977	1,067	0,995	0,929	0,998	0,999	0,044
5	1,107	1,138	0,915	1,008	1,032	1,002	1,010	1,028	0,074
6	1,089	0,97	0,896	1,004	1,093	0,934	0,963	0,990	0,075
7	1,074	1,006	0,949	1,154	0,874	0,968	1,011	1,002	0,090
8	0,981	1,024	0,986	1,053	0,989	0,979	0,997	1,001	0,027
9	1,047	1,007	0,963	1,006	1,023	0,991	0,979	1,002	0,028
10	1,069	1,059	1,086	0,87	1,033	0,967	0,979	1,006	0,076
11	1,027	0,999	0,982	0,961	1,032	0,995	0,994	0,998	0,025
12	1,023	0,957	1,013	0,965	1,015	0,968	0,982	0,989	0,027
13	1,017	0,989	0,881	1,120	1,018	0,99	1,023	1,003	0,070
14	1,026	0,988	0,964	0,992	1,069	0,973	0,987	0,999	0,036
15	0,975	1,012	1,012	0,96	1,085	1,023	1,006	1,010	0,040
16	1,016	1,046	0,913	1,001	1,029	1,006	1,036	1,006	0,044
17	1,058	0,965	1,007	1,011	0,904	1,038	0,941	0,988	0,055
Média	1,031	1,011	0,967	1,008	1,015	0,984	0,974	0,998	0,024
DP	0,038	0,045	0,050	0,064	0,056	0,030	0,066	0,014	

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

A Tabela 4.8 apresenta os índices da produtividade total dos fatores para a amostra pelos pares de anos, com a média anual negativa de 0,2% e redução ao longo dos anos de 2001 a 2008. O desempenho das usinas começou bem em 2002, tendo apresentado queda em 2003/04, fato que é observado em quase todas as unidades analisadas. Assim como no ano de 2006/07, quando as usinas no geral vieram de uma boa situação em 2004 e 2005, apresentando queda no ano posterior.

A explicação para o desempenho da amostra ao longo do período é de difícil obtenção, mas analisando-se as Tabelas 4.9 e 4.10 adiante, é possível inferir que em entre 2003/04 houve deslocamento na fronteira de eficiência para cima, pelo valor maior do que 1 na componente mudança técnica (Tabela 4.9), ao passo que a componente eficiência técnica apresentou crescimento negativo (Tabela 4.10), ou seja, a maior parte das usinas em 2003/04 não conseguiram alcançar a fronteira, resultando em um valor médio final da PTF menor do que 1, uma vez que a PTF pelo Malmquist é uma média geométrica entre as duas componentes.

Importante considerar que a presente análise centra-se na análise entre safras, nas quais é possível haver inúmeras variações, sejam elas inerentes às condições climáticas, às condições do mercado em que competem ou ainda na qualidade da matéria-prima, que são afetadas de forma diferente em cada situação e que não são captadas pelo modelo.

Já em 2006/07 houve novamente redução da PTF, quando a fronteira de eficiência pode ter sofrido um deslocamento para baixo, resultando no *catching-up* das usinas, pois a componente apresentou crescimento positivo. Importante considerar que apesar do alcance da eficiência (Gráfico 4.2) por parte das usinas, essa fronteira encontrava-se em um nível baixo.

Outra possível inferência para a queda entre 2003 e 2004, pode ser o bom nível alcançado pela amostra em 2003, a qual havia ampliado a moagem de cana em 13,2%, com obtenção de uma produção final também por volta de 13% maior. Esse bom nível fez reduzir o índice da PTF no ano seguinte, pois o crescimento no volume moído foi de menos de 5%, com redução no volume de etanol produzido, fato que pode ser explicado pela oscilação de preços na safra (Gráfico 4.1).

Como o índice de produtividade total dos fatores com o Malmquist mede como a firma consegue combinar os seus recursos, no modelo analisado, como consegue combinar o uso do insumo cana-de-açúcar com o número de empregados na área industrial para obter um dado nível de produto. Portanto, a redução no volume de cana moída e a redução no produto final não implica a redução do número de empregados, pois eles são contratados permanentemente e a área industrial não possui controle totalmente eficaz sobre a produtividade da área agrícola para realizar um planejamento consistente²⁹.

Em 2007 observa-se uma queda semelhante, que possivelmente pode ser explicada pelo baixo crescimento no volume moído pela indústria, com menor volume produzido de açúcar em relação ao ano anterior, fato que pode ser novamente explicado pela queda de preço no açúcar cristal e etanol no ano de 2006.

O comportamento do índice apresentou variabilidade ao longo dos anos para o conjunto da amostra e para cada firma isoladamente, que pode ser explicado pelas flutuações naturais observadas em estudos que envolvem esse método, pois o método DEA é muito sensível às mudanças nos níveis de uso de insumos e níveis de uso de produtos avaliados ano a ano.

²⁹ As usinas ainda estão em estágio inicial no planejamento de safra pela falta de instrumentos e tecnologias amplamente testadas e disseminadas.

A decomposição do índice de Malmquist entre mudança técnica e eficiência técnica permite verificar qual componente contribuiu mais e qual contribuiu menos para o resultado final da PTF, como mostram as Tabelas 4.9 e 4.10.

Tabela 4.9. Componente Mudança Técnica – 2002 - 2008

Usina	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	Média
1	1,047	0,965	1,025	1,082	0,915	0,967	1,009	1,000
2	1,047	0,965	1,032	1,045	0,933	0,998	0,998	1,002
3	1,047	0,965	1,032	1,045	0,933	0,995	1,000	1,002
4	0,998	1,034	0,977	1,067	0,995	0,929	0,998	0,999
5	1,042	1,135	0,948	1,025	1,017	0,965	1,010	1,019
6	1,047	0,970	0,992	1,062	0,933	0,963	1,018	0,997
7	1,026	1,051	0,968	1,084	0,928	0,973	0,997	1,003
8	1,047	0,965	0,971	1,059	0,972	0,973	0,997	0,997
9	1,047	0,965	0,978	1,102	0,922	0,974	0,997	0,996
10	1,047	0,965	1,032	1,051	0,933	0,967	1,024	1,002
11	1,038	0,975	0,968	1,071	0,955	0,969	0,992	0,994
12	1,047	0,965	0,999	1,081	0,923	0,969	1,005	0,997
13	1,047	0,965	1,032	1,045	0,933	0,979	1,014	1,001
14	1,047	0,965	1,023	1,048	0,933	0,966	1,020	0,999
15	1,047	0,965	1,032	1,045	0,933	0,995	1,006	1,003
16	1,047	0,965	1,032	1,045	0,933	0,996	1,002	1,002
17	1,047	0,965	1,032	1,045	0,933	0,979	1,012	1,001
Média	1,042	0,984	1,004	1,059	0,942	0,974	1,006	1,001

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

Tabela 4.10. Componente Eficiência Técnica – 2002 - 2008

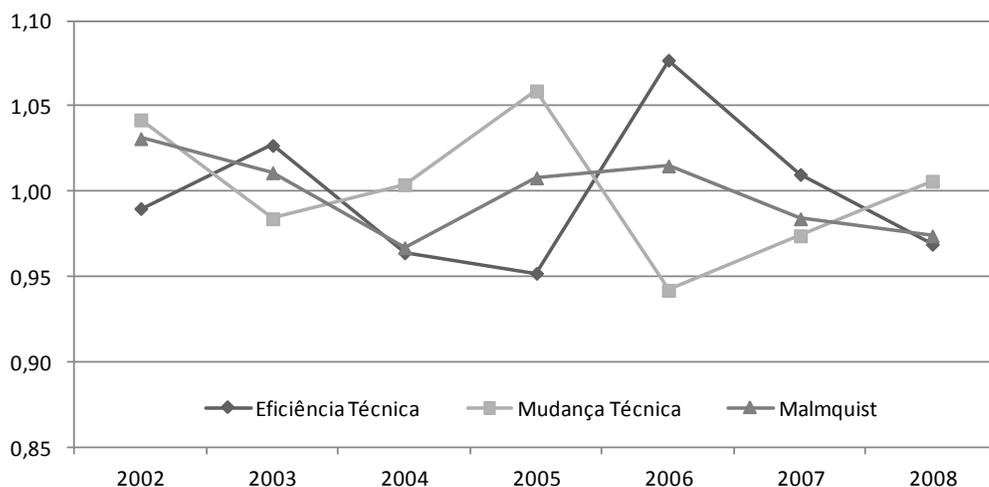
Usina	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	Média
1	0,975	0,988	0,963	0,923	1,145	0,980	0,978	0,991
2	0,983	1,062	0,951	0,956	1,080	1,008	0,978	1,001
3	0,948	1,054	0,924	0,962	1,108	1,019	0,737	0,958
4	0,994	1,006	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5	1,062	1,003	0,965	0,983	1,015	1,038	1,000	1,009
6	1,040	1,000	0,903	0,945	1,171	0,970	0,946	0,993
7	1,047	0,958	0,981	1,065	0,942	0,995	1,013	0,999
8	0,937	1,061	1,015	0,994	1,018	1,007	1,000	1,004
9	1,000	1,043	0,985	0,913	1,109	1,018	0,981	1,005
10	1,021	1,097	1,052	0,827	1,107	0,999	0,955	1,004
11	0,989	1,024	1,015	0,898	1,081	1,026	1,002	1,004
12	0,978	0,992	1,014	0,893	1,100	0,999	0,977	0,992
13	0,972	1,025	0,853	1,071	1,091	1,012	1,008	1,002
14	0,980	1,024	0,942	0,947	1,146	1,007	0,968	1,000
15	0,932	1,049	0,980	0,918	1,163	1,028	1,000	1,007
16	0,971	1,084	0,885	0,958	1,103	1,009	1,034	1,004
17	1,011	1,000	0,976	0,967	0,969	1,060	0,930	0,987
Média	0,990	1,027	0,964	0,952	1,077	1,010	0,969	0,998

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

Por sua vez, a Tabela 4.10 apresenta a componente eficiência técnica, a qual também pode ser chamada de *catch-up index*, a qual mede quão próximo da fronteira de eficiência se encontra a firma. Em termos geométricos, a eficiência técnica significa a distância da firma em relação à fronteira de produção, em outras palavras, indica o resultado das boas práticas realizadas pelas usinas, ou seja, a variação positiva nessa componente indica que a usina apresentou boas práticas. Assim sendo, na análise do conjunto das usinas o valor positivo significa que estas estão convergindo para um processo tecnológico semelhante ao das usinas da fronteira de eficiência, ou seja, as usinas apresentam *catching-up*.

A componente mudança técnica reflete a capacidade de modernização, em que a melhora nesse índice indica um deslocamento para cima da fronteira de eficiência (produto médio máximo), assim como a piora indica uma contração na fronteira de eficiência.

Gráfico 4.2. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Amostra



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

O Gráfico 4.2 apresenta o índice de produtividade de Malmquist para o conjunto da amostra e a participação dos sub-índices eficiência técnica e mudança técnica. É possível observar que o índice de Malmquist não apresentou elevada variabilidade ao longo dos anos, oscilando muito próximo do valor 1 em todos o período.

A participação das componentes pode ser melhor visualizada no Gráfico 4.2, em que no ano de 2006/07 houve a queda na fronteira de eficiência, resultando na convergência

das usinas em eficiência, porém, como trata-se de uma média geométrica entre os dois índices, o valor final resultou menor do que 1 em 2007.

A Tabela 4.11 apresenta o resultado da produtividade total dos fatores para cada usina na média do período de 2001 – 2008. Entre as usinas analisadas, o melhor desempenho, em termos de crescimento médio da PTF, foi registrado para a usina 5 com 2,8% de crescimento médio anual do índice da PTF, enquanto o pior, com um crescimento médio anual negativo de 4,1%, foi a usina 3. O detalhamento das firmas será realizado mais adiante.

Tabela 4.11. Produtividade Total dos Fatores – Média – 2001 – 2008

Usina	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
1	0,991	1,000	0,994	0,997	0,991
2	1,001	1,002	0,998	1,004	1,003
3	0,958	1,002	0,958	1,000	0,959
4	1,000	0,999	1,000	1,000	0,999
5	1,009	1,019	1,000	1,009	1,028
6	0,993	0,997	1,000	0,993	0,990
7	0,999	1,003	0,993	1,006	1,002
8	1,004	0,997	1,000	1,004	1,001
9	1,005	0,996	1,004	1,001	1,002
10	1,004	1,002	1,005	0,999	1,006
11	1,004	0,994	1,000	1,004	0,998
12	0,992	0,997	0,999	0,992	0,989
13	1,002	1,001	1,001	1,001	1,003
14	1,000	0,999	1,003	0,997	0,999
15	1,007	1,003	1,000	1,007	1,010
16	1,004	1,002	1,002	1,002	1,006
17	0,987	1,001	0,986	1,000	0,988
Média	0,998	1,001	0,997	1,001	0,998
Máximo	1,009	1,019	1,000	1,009	1,028
Mínimo	0,958	1,002	0,958	1,000	0,959
Desvio Padrão	0,012	0,005	0,011	0,005	0,014

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração própria

Observa-se que apesar da média do período ter sido negativa, a maior parte das usinas apresentou crescimento positivo da PTF, tendo sido nove usinas com PTF maior do que 1 e oito usinas com PTF menor do que 1. Observando a participação dos componentes eficiência técnica e mudança técnica, observa-se que a maior participação se deu pela componente eficiência, ou seja, o que se observou no período foi a predominância do

catching-up em relação a fronteira de eficiência do período, em vez de constantes e substantivos deslocamentos da fronteira.

4.4 Grupo das Usinas com Ganho de Eficiência Produtiva (PTF ≥ 1)

4.4.1 Usina 5

Entre o grupo de usinas analisadas, observa-se que a usina cinco (5) apresentou o melhor desempenho para o período, com um crescimento médio da produtividade total dos fatores de 2,8%. A decomposição da produtividade mostra que a maior contribuição foi do fator mudança técnica, com 1,8%.

Tabela 4.12. Produtividade Total dos Fatores – Usina 5 – 2002 – 2008

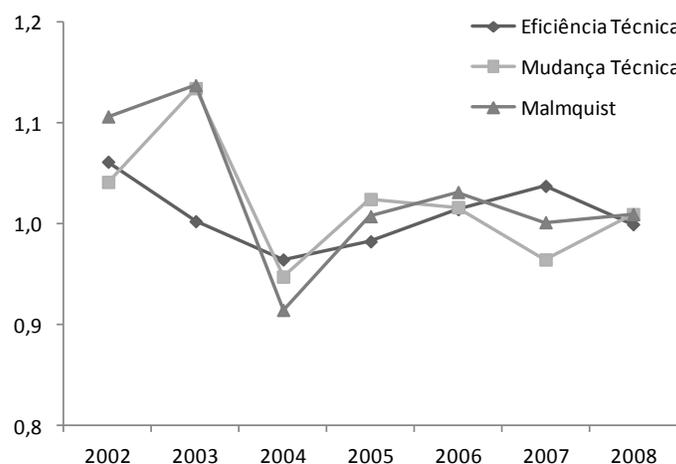
Usina 5	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	1,062	1,042	1,000	1,062	1,107
2003	1,003	1,135	1,000	1,003	1,138
2004	0,965	0,948	1,000	0,965	0,915
2005	0,983	1,025	1,000	0,983	1,008
2006	1,015	1,017	1,000	1,015	1,032
2007	1,038	0,965	1,000	1,038	1,002
2008	1,000	1,010	1,000	1,000	1,010
Média	1,009	1,019	1,000	1,009	1,028
Desvio Padrão	0,033	0,061	0,000	0,033	0,074

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

O índice de Malmquist (PTF) mostra que ao longo do período essa usina não apresentou decréscimo substancial na produtividade, apresentando apenas no ano de 2004 uma queda brusca, a qual ocorreu em praticamente todas as usinas da amostra. É possível inferir que essa usina é uma das responsáveis pelo deslocamento da fronteira, em que esse é explicado em grande maneira pela eficiência de escala (Tabela 4.12).

O Gráfico 4.3 apresenta os dados do índice de Malmquist e a variação das componentes, sendo possível visualizar que a eficiência técnica não apresentou grandes oscilações, pois como essa usina é de fronteira, automaticamente ela estará em menor distância da fronteira de eficiência.

Gráfico 4.3. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 5



Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração própria

A usina 5 é uma unidade de um grupo tradicional no setor sucroenergético no Estado de São Paulo. A unidade pode ser considerada uma jovem usina, com pouco mais que 15 anos de idade, porém o grupo possui experiência no setor desde o início dos anos 1930. A usina, assim como as demais unidades possuem um bom nível de inovação, sendo considerada referência no setor.

Tabela 4.13. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 5

Usina 5	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	12.651	1.171	92,59
2003	17.063	1.497	87,70
2004	15.099	1.304	86,33
2005	15.612	1.338	85,68
2006	14.340	1.282	89,43
2007	14.207	1.274	89,70
2008	16.620	1.372	82,57
Média	15.085	1.320	87,72
Desvio Padrão	1.516	100	3,24

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A Tabela 4.13 apresenta as relações parciais dos insumos e produto utilizados na análise, com o índice de cana moída por empregados na primeira coluna, produção total por empregados na segunda coluna e produção total por cana moída na terceira coluna.

A Tabela 4.13 elucida melhor a situação da usina, a qual em média moeu 15.085 toneladas por empregado. Relacionando com as Tabela 4.4, 4.5, 4.6 da seção descritiva verifica-se que essa usina possui a maior média em quase todo o período, assim como para a relação produção total por empregados, que também obteve valor máximo. Já para a relação produção total por cana moída, essa usina não obteve o valor máximo, ficando abaixo de 90 litros/tonelada de cana moída. Uma possível explicação deve-se ao baixo nível de ART dessa usina, média de 151 kg no período, em relação à média do setor, que é de 159 kg por tonelada³⁰.

Em relação às tecnologias existentes, a usina colhe cerca de 80% da cana com máquinas, assim como o grupo como um todo já realiza plantio mecânico em 85% da lavoura. A usina, assim como todo o grupo, sempre procura realizar melhorias no processo produtivo nos setores agrícola e industrial, visando não somente aos ganhos de eficiência e produtividade, como também melhorias que tornem a usina ambientalmente mais sustentável.

4.4.2 Usina 15

Tabela 4.14. Produtividade Total dos Fatores – Usina 15 – 2002 – 2008

Usina 15	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,932	1,047	0,945	0,985	0,975
2003	1,049	0,965	0,988	1,061	1,012
2004	0,980	1,032	1,058	0,927	1,012
2005	0,918	1,045	0,948	0,968	0,960
2006	1,163	0,933	1,046	1,112	1,085
2007	1,028	0,995	1,020	1,008	1,023
2008	1,000	1,006	1,000	1,000	1,006
Média	1,007	1,003	1,000	1,007	1,010
Desvio Padrão	0,082	0,043	0,044	0,061	0,040

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

³⁰ CGEE (2009)

A Tabela 4.14 apresenta os dados para a usina 15, que obteve um crescimento médio anual positivo da ordem de 1%, sendo os índices de eficiência técnica e eficiência de escala o fator determinante do desempenho. Essa firma é um caso interessante, pois trata-se de uma usina criada na época do Proálcool, ou seja, teve acesso aos recursos do programa, o que possibilitou a montagem de uma unidade mais moderna em relação às concorrentes do setor.

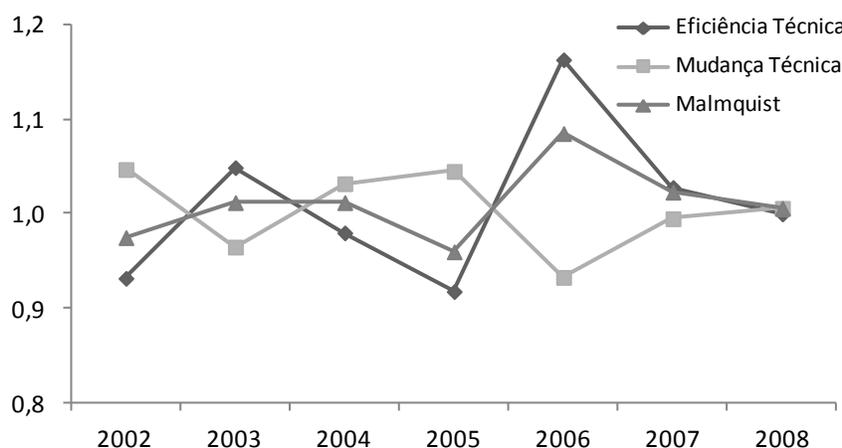
Tabela 4.15. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 15

Usina 15	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	3.656	326	89,17
2003	4.251	384	90,28
2004	4.107	375	91,34
2005	4.102	358	87,28
2006	4.333	412	95,14
2007	3.580	349	97,38
2008	6.204	491	79,07
Média	4.319	385	89,95
Desvio Padrão	879	54	5,92

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A usina declara publicamente que investiu em cogeração em 2006, com foco na redução dos custos, aumento da competitividade e melhoria na sustentabilidade da organização. Muito embora essa atividade em específico não tenha impactos na análise DEA-Malmquist realizada nesse trabalho, é possível concluir que a usina promove investimentos em novas tecnologias. Essa usina investiu durante a década analisada em sistemas de alto desempenho para o preparo e moagem de cana. A usina ampliou sua planta industrial em 2002, o que levou à triplicação da capacidade de moagem e produção de açúcar e etanol entre 2002 e 2008.

Gráfico 4.4. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 15



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

4.4.3 Usina 16

A Tabela 4.16 apresenta os dados da usina 16, a qual obteve um crescimento médio anual de 0,6%, sendo essa usina a terceira maior em produtividade total dos fatores, em que mais da metade do qual é dado pela melhoria na eficiência. A usina 16 possui uma das maiores taxas de eficiência técnica, podendo ser considerada como uma das usinas da fronteira de eficiência.

Tabela 4.16. Produtividade Total dos Fatores – Usina 16 – 2002 - 2008

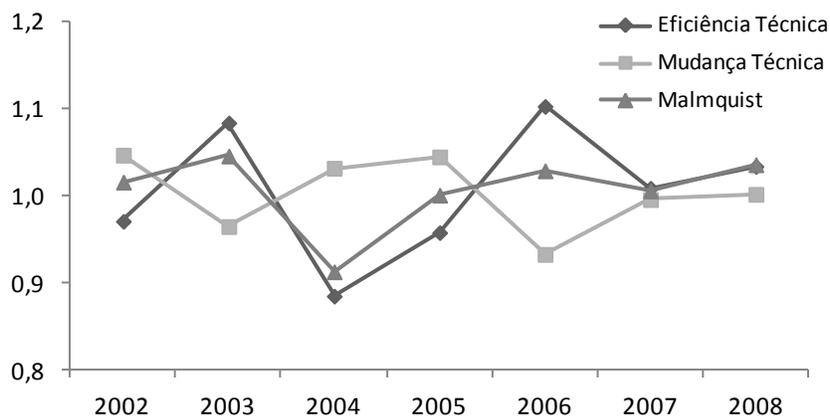
Usina 16	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,971	1,047	1,014	0,958	1,016
2003	1,084	0,965	1,000	1,084	1,046
2004	0,885	1,032	1,000	0,885	0,913
2005	0,958	1,045	1,000	0,958	1,001
2006	1,103	0,933	1,000	1,103	1,029
2007	1,009	0,996	1,000	1,009	1,006
2008	1,034	1,002	1,000	1,034	1,036
Média	1,004	1,002	1,002	1,002	1,006
Desvio Padrão	0,076	0,043	0,005	0,077	0,044

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração própria

A usina 16 é uma unidade que foi criada também na época do Proálcool, ou seja, pode ser considerada beneficiária das boas condições financeiras e tecnológicas do período.

Em relação à capacidade de moagem, desde a safra 2006/07 ela pode ser considerada uma usina de porte médio, moendo atualmente cerca de 1,3 milhões de toneladas cana por safra.

Gráfico 4.5. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 16



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

O ano de 2007 marca também uma mudança no comando dessa usina, que passou a pertencer a um forte grupo que atua em diversos setores, como petroquímica, construção civil, entre outros, caracterizando essa usina como uma *brownfield*. A compra da usina 16 marca a entrada desse grupo no setor sucroenergético, que já conta com nove unidades em diversos estados da região Centro-Sul, como uma estratégia de negócio em busca de alternativas para uma futura substituição da petroquímica, embora esse grupo já esteja no mercado com o plástico verde, feito a base de etanol e produzido pela petroquímica. Essa estratégia faz parte da sinergia entre as empresas do grupo, em que todo o conhecimento na petroquímica, considerado mais complexo, está sendo utilizado para a construção de um padrão tecnológico avançado para as usinas do grupo.

Tabela 4.17. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 16

Usina 16	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	3.742	340	90,94
2003	3.905	372	95,15
2004	3.135	272	86,90
2005	3.216	280	87,00
2006	3.698	331	89,56
2007	4.004	359	89,79
2008	4.562	422	92,54
Média	3.752	340	90,27
Desvio Padrão	486	52	2,95

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Essa usina possivelmente caminha em direção a ser responsável pela mudança da fronteira tecnológica, uma vez que o grupo realiza investimentos pesados em tecnologia de ponta e possui uma estratégia muito clara e focada, tendo finalizado na última safra 2010/11 a primeira fase de expansão do grupo, que focou na parte industrial com a ampliação da capacidade instalada. O segundo passo agora, segundo o presidente do grupo, é o investimento na expansão da oferta de cana-de-açúcar.

4.4.4 Usina 10

A Tabela 4.18 apresenta os dados da usina 10, com um crescimento anual médio positivo de 0,6% da PTF, devido principalmente à componente eficiência técnica, ou seja, o crescimento da produtividade total dos fatores dessa usina não se deveu à inovações tecnológicas, mas sim à eficiência, através da convergência das boas práticas em direção às mais eficientes.

Tabela 4.18. Produtividade Total dos Fatores – Usina 10 – 2002 – 2008

Usina 10	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	1,021	1,047	1,038	0,983	1,069
2003	1,097	0,965	1,074	1,022	1,059
2004	1,052	1,032	1,020	1,031	1,086
2005	0,827	1,051	0,838	0,988	0,870
2006	1,107	0,933	1,136	0,975	1,033
2007	0,999	0,967	0,970	1,030	0,967
2008	0,955	1,024	0,988	0,967	0,979
Média	1,004	1,002	1,005	0,999	1,006
Desvio Padrão	0,096	0,047	0,094	0,027	0,076

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A usina 10 é uma unidade que foi construída na década de 1940 no Estado de São Paulo, sendo considerada uma usina de grande porte, moendo aproximadamente 3,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra. A Tabela 4.19 mostra os dados detalhados para as variáveis utilizadas no método da PTF, em que se observa no período analisado o crescimento da quantidade de cana moída pelo número de empregados, com destaque para o ano de 2005, no qual houve um incremento de quase 10% em relação a 2004 no volume de cana moída.

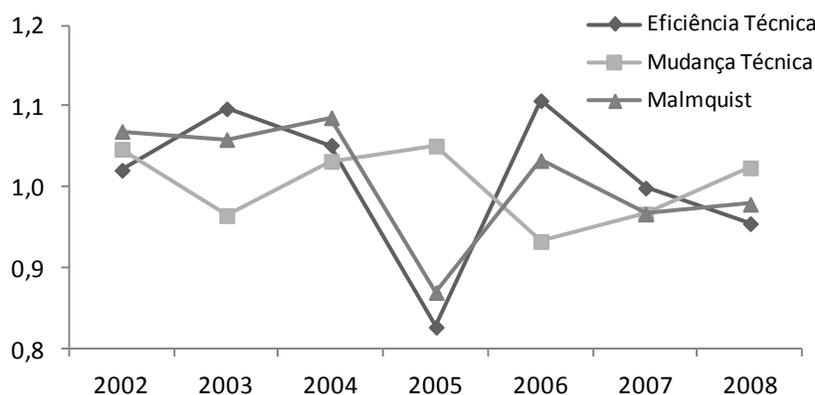
Tabela 4.19. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 10

Usina 10	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	5.236	456	87,17
2003	5.900	545	92,33
2004	5.970	599	100,30
2005	6.391	554	86,76
2006	5.982	536	89,65
2007	6.083	527	86,61
2008	6.086	516	84,75
Média	5.950	533	89,65
Desvio Padrão	352	43	5,30

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Interessante notar que analisando o banco de dados, observa-se que essa usina apresentou grande variabilidade no volume de cana moída ao longo do período, assim como no número de empregados na área industrial. Essa usina apresentou razoável oscilação também para o mix de produção entre 2002 e 2008. Entretanto, o nível de produto final apresentou crescimento positivo em todos os anos, com exceção de 2005, o que possivelmente assegurou o nível de eficiência apontado no modelo DEA-Malmquist, uma vez que a oscilação no volume de cana moída trata-se de algum problema na área agrícola da usina ou com os fornecedores de cana. Já o bom nível de produtos finais, etanol e açúcar, configura um bom uso dos recursos industriais, fato que pode ser melhor analisado ao observar-se o histórico dessa usina, que não apresentou variações no volume de cana moída nos últimos 25 anos, entretanto sua produção de açúcar cresceu fortemente.

Gráfico 4.6. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 10



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Uma conclusão possível é que essa usina apenas aproveitou nos anos 2000 a boa posição alcançada nos anos anteriores, não realizando nenhuma grande inovação, que a colocasse numa condição de alteração da fronteira tecnológica, por outro lado, trata-se de uma usina que se mantém na fronteira, porém estava enfrentando dificuldades financeiras, situação que poderia ser sanada pela formação de uma *joint venture* entre o grupo controlador da usina 10 com um gigante do setor agroindustrial.

4.4.5 Usina 8

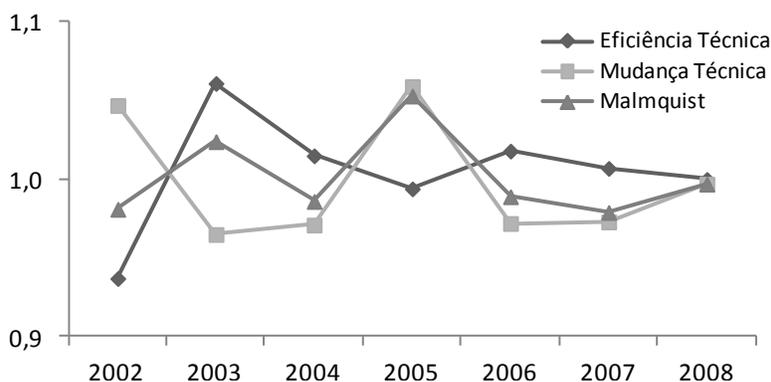
A Tabela 4.20 apresenta os dados da usina 8, a qual é considerada uma unidade muito produtiva e referência em eficiência no setor. A usina 8 apresentou crescimento médio positivo da PTF em 0,1% ao ano, com maior participação da eficiência técnica, ao passo que a componente mudança técnica apresentou crescimento negativo em quase todo o período.

Tabela 4.20. Produtividade Total dos Fatores – Usina 8 – 2002 – 2008

Usina 8	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,937	1,047	0,968	0,969	0,981
2003	1,061	0,965	1,035	1,025	1,024
2004	1,015	0,971	1,001	1,014	0,986
2005	0,994	1,059	1,000	0,994	1,053
2006	1,018	0,972	1,000	1,018	0,989
2007	1,007	0,973	1,000	1,007	0,979
2008	1,000	0,997	1,000	1,000	0,997
Média	1,004	0,997	1,000	1,004	1,001
Desvio Padrão	0,037	0,039	0,019	0,019	0,027

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Gráfico 4.7. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 8



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A usina 8 trata-se de uma unidade com 31 anos, ou seja, também foi criado no embalo do Proálcool, sendo uma usina que pertence a um grupo tradicional do setor

agrícola, entretanto, não é focado apenas no negócio da cana. É uma usina que cresceu fortemente ao longo do período, com uma moagem média em 2008 de cerca de 6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

O grupo é diversificado com origem na sojicultura, passando pela pecuária e pelo negócio de sementes. Essa informação é interessante, pois ao mesmo tempo em que não se trata de um grupo que investe em setores diversos da economia, ao mesmo tempo não se configura como um grupo tradicional usineiro.

Tabela 4.21. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 8

Usina 8	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	8.938	820	91,74
2003	8.885	835	93,94
2004	10.347	945	91,31
2005	12.475	1.158	92,79
2006	11.095	1.037	93,47
2007	9.122	848	92,96
2008	11.944	1.082	90,58
Média	10.401	961	92,40
Desvio Padrão	1.486	134	1,22

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Os dados da Tabela 4.21 mostram a capacidade de produção total por cana moída, a qual é considerada muito boa para o padrão do setor e também se manteve estável ao longo do período. É uma usina que manteve o mix de produção em torno de 45% e 55%, para o etanol e açúcar, respectivamente. Os outros dois índices também apresentaram-se altos para essa usina, confirmando seu potencial de aproveitar muito bem os recursos produtivos, fato que assegura sua boa saúde financeira e a mantém forte no setor, tendo sido premiada frequentemente por renomadas empresas de consultoria do setor sucroenergético pela sua alta eficiência nos processos produtivos e pela produção e aproveitamento da matéria-prima.

Os dados das demais usinas com produtividade total dos fatores maior do que 1, que são as usinas 2, 13, 7 e 9 estão apresentados nos anexos. Com exceção da usina 7, as outras

três tiveram o crescimento da PTF apoiado na componente eficiência técnica. A usina 7 trata-se de uma unidade muito tradicional do setor, de um grupo forte e inovador, o qual é o mesmo grupo da usina 5, a qual apresentou o maior índice da amostra. Esse fato é importante, pois ressalta que o grupo atua em conjunto, padronizando as tecnologias dentre as unidades. Embora a usina 7 seja uma unidade com aproximadamente 80 anos de existência, ela ainda consegue ser inovadora, o que pode ser explicado mais uma vez pelo *learning-by-doing*.

4.5 Grupos das Usinas com Perdas de Eficiência (PTF < 1)

4.5.1 Usina 3

Observando o outro extremo dos resultados da análise DEA-Malmquist, tem-se que a usina com a pior média para a produtividade total dos fatores, foi a usina 3, com um crescimento anual médio negativo de 4,1% (Tabela 4.22). Importante observar que a componente eficiência técnica foi baixa, ou seja, a usina não conseguiu realizar na média do período a convergência em relação à fronteira de eficiência.

Tabela 4.22. Produtividade Total dos Fatores – Usina 3 – 2002 - 2008

Usina 3	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,948	1,047	0,970	0,978	0,992
2003	1,054	0,965	1,034	1,020	1,017
2004	0,924	1,032	0,907	1,019	0,953
2005	0,962	1,045	0,978	0,985	1,006
2006	1,108	0,933	1,122	0,987	1,034
2007	1,019	0,995	1,015	1,004	1,014
2008	0,737	1,000	0,732	1,007	0,737
Média	0,958	1,002	0,958	1,000	0,959
Desvio Padrão	0,119	0,043	0,122	0,017	0,104

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A usina 3 foi construída no período do Proálcool no Estado do Paraná, considerada de grande porte com capacidade de moagem de cerca de 3,5 mi de toneladas de cana-de-açúcar por safra. O nível de ART durante o período analisado pode ser considerado bom,

oscilando entre 15,61 e 16,80, o que configura uma boa margem de açúcares redutores totais que entraram na área industrial para serem convertidos em etanol e açúcar.

Observando a Tabela 4.23 com as relações entre cana moída/empregados, observa-se que o valor em todo o período pode ser considerado baixo, mas isso deve-se ao alto número de empregados na área industrial da usina. Por sua vez, a produção total pelo número de empregados também apresentou um valor não muito satisfatório, mais uma vez em função do alto número de empregados, fato que é comprovado pelo bom valor atingido na relação produção de etanol por cana moída.

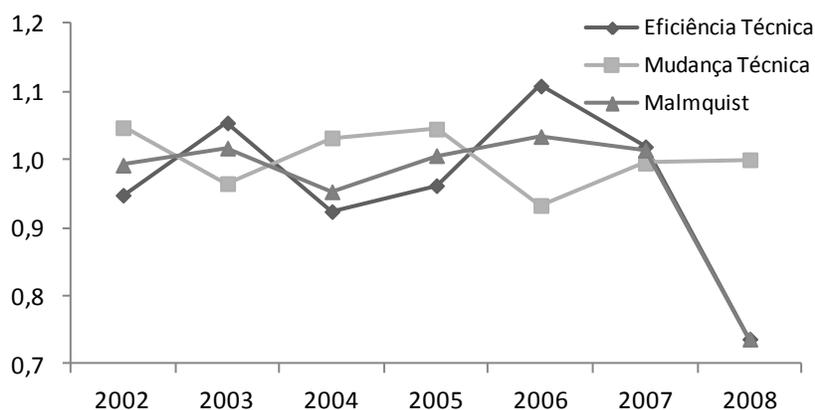
Tabela 4.23. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 3

Usina 3	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	3.576	325	90,98
2003	4.019	372	92,57
2004	3.585	316	88,24
2005	3.227	286	88,78
2006	3.771	346	91,81
2007	4.109	381	92,76
2008	4.237	289	68,28
Média	3.789,23	331	87,63
Desvio Padrão	356	37	8,71

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

Assim sendo, essa usina 3 apresentou decréscimo na produtividade total dos fatores devido ao grande número de empregados na área industrial e também por algum problema verificado no ano de 2008, em que a produção final despencou, havendo uma alteração no mix de produção, que tradicionalmente era de 70% para a produção de açúcar e 30% para a produção de etanol. Não se sabe se a alteração no mix evidenciou uma falha na capacidade de adaptação da usina, ou se alguma falha no sistema de produção que levou a um suposto novo mix de produção.

Gráfico 4.8. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 3



Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

4.5.2 Usina 17

A Tabela 4.24 apresenta os dados da usina 17, com crescimento médio anual negativo de 1,2%. A Tabela 10 mostra os dados um pouco mais detalhados, em que a relação de cana moída pelo número de empregados ao longo do período pode ser considerada boa, tendo sido de 5.153 toneladas por funcionário em média, ao passo que a produção total pelo número de empregados também pode ser considerada boa.

Tabela 4.24. Produtividade Total dos Fatores – Usina 17 – 2002 - 2008

Usina 17	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	1,011	1,047	1,014	0,997	1,058
2003	1,000	0,965	0,993	1,008	0,965
2004	0,976	1,032	1,027	0,950	1,007
2005	0,967	1,045	0,987	0,980	1,011
2006	0,969	0,933	0,912	1,063	0,904
2007	1,060	0,979	1,046	1,013	1,038
2008	0,930	1,012	0,932	0,997	0,941
Média	0,987	1,001	0,986	1,000	0,988
Desvio Padrão	0,041	0,044	0,049	0,034	0,055

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

A produção total por volume de cana moída oscilou bastante entre 2002 e 2008, fato explicado pelos incrementos no volume de cana para moagem em alguns anos e a não produção final correspondente, ou seja, a usina não conseguia aumentar a produção final pelo simples aumento na matéria-prima. É uma usina que em comparação a outras de porte similar, possui um quadro de funcionários grande, o que faz a alta sensibilidade da análise DEA captar como um forte indicador de ineficiência.

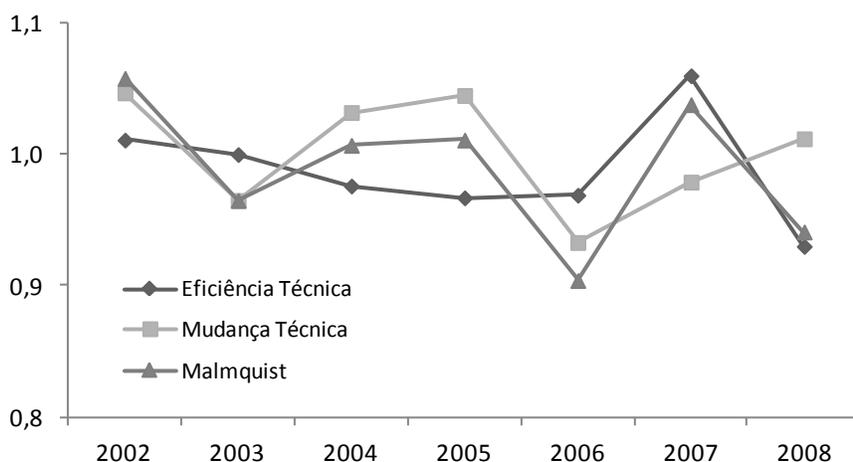
Tabela 4.25. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 17

Usina 17	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	5.763	551	95,59
2003	5.137	474	92,27
2004	5.201	483	92,91
2005	5.132	482	93,97
2006	4.909	417	84,97
2007	4.874	430	88,21
2008	5.052	419	82,91
Média	5.153	465	90,12
Desvio Padrão	295	48	4,82

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A usina 17 está localizada no Estado de Goiás e possui uma trajetória em busca da diversificação. Primeiramente foi inaugurada a destilaria em 1983, a partir dos incentivos do Proálcool. Com o passar dos anos, a unidade foi investindo na fabricação de levedura, bagaço hidrolisado, torta de filtro, confinamento bovino e já em 1990 eles compram um tubo gerador para produzir energia elétrica para uso interno. Em 1993 os proprietários mudam a razão social da empresa e diversificam a linha de produção da usina, fabricando açúcar cristal além do etanol.

Gráfico 4.9. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 17



Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

4.5.3 Usina 12

A Tabela 4.26 apresenta os dados da usina 12, que obteve crescimento médio anual negativo de 1,1%. Possivelmente, o decréscimo pode ser atribuído à reduzida relação entre produção final e volume de matéria-prima, além do fato desta ter oscilado para menos na maioria do período.

Tabela 4.26. Produtividade Total dos Fatores – Usina 12 – 2002 – 2008

Usina 12	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,978	1,047	0,966	1,013	1,023
2003	0,992	0,965	0,989	1,003	0,957
2004	1,014	0,999	1,103	0,920	1,013
2005	0,893	1,081	0,943	0,947	0,965
2006	1,100	0,923	0,997	1,103	1,015
2007	0,999	0,969	0,998	1,001	0,968
2008	0,977	1,005	1,007	0,970	0,982
Média	0,992	0,997	0,999	0,992	0,989
Desvio Padrão	0,061	0,053	0,050	0,059	0,027

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

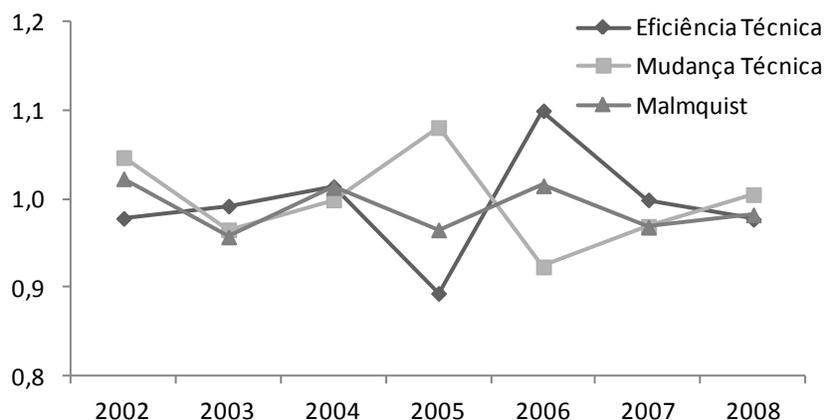
Tabela 4.27. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 12

Usina 12	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	7.991	725	90,72
2003	7.407	643	86,85
2004	7.328	645	88,05
2005	7.423	630	84,89
2006	7.658	659	86,05
2007	7.951	661	83,10
2008	8.236	670	81,39
Média	7.713	662	85,86
Desvio Padrão	350	31	3,11

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Esta usina 12 é uma unidade da década de 1920, ou seja, é quase centenária, o que possivelmente pode ter influenciado no desempenho obtido na análise deste estudo. Trata-se de uma usina de porte médio para pequeno, com volume de moagem médio no período de cerca de 1,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Entretanto, ao comparar-se os resultados às outras unidades da amostra com capacidade de moagem semelhante, observa-se que esta usina obteve ao longo do período uma quantidade de produto final aquém das demais.

Gráfico 4.10. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 12



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Por outro lado, não se pode deixar de observar que se trata de uma usina que emprega um número de funcionários maior do que uma usina de porte similar. Em relação ao mix de produção, é uma usina que apresentou oscilação durante a década analisada, ou seja, sua produção variava conforme os preços.

Em suma, possivelmente esses podem ser os determinantes gerais da baixa produtividade alcançada por essa usina, uma vez que os aspectos técnicos sugerem uma usina em condições razoáveis, como o ART, que oscilou entre 14,71 e 16,02 no período.

4.5.4 Usina 1

A usina 1 apresentou crescimento médio anual negativo de 0,9% no índice da PTF. Observando os dados da Tabela 4.28, observa-se que a usina apresentou uma boa relação média entre volume de cana moída e número de empregados com 6.922 toneladas por empregado, tendo apresentado elevação ao longo dos anos. A produção total por número de empregados também foi satisfatória, com relativo crescimento no período.

Tabela 4.28. Produtividade Total dos Fatores – Usina 1 – 2002 – 2008

Usina 1	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,975	1,047	1,006	0,968	1,020
2003	0,988	0,965	0,966	1,022	0,954
2004	0,963	1,025	0,966	0,996	0,987
2005	0,923	1,082	0,922	1,001	0,999
2006	1,145	0,915	1,155	0,991	1,047
2007	0,980	0,967	0,961	1,020	0,948
2008	0,978	1,009	0,995	0,983	0,987
Média	0,991	1,000	0,994	0,997	0,991
Desvio Padrão	0,070	0,057	0,075	0,019	0,035

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A produção final por volume de cana moída não apresentou um valor muito significativo, tendo sido igual a 88,63 litros/tonelada de média anual. Trata-se de uma usina de grande porte com aproximadamente 30 anos, ou seja, também foi criada a partir dos incentivos governamentais do Proálcool. Trata-se de uma usina que nasceu de um grupo

tradicional do setor usineiro, sendo este grupo de referência no setor, o qual é o proprietário das usinas 5 e 7 desta amostra.

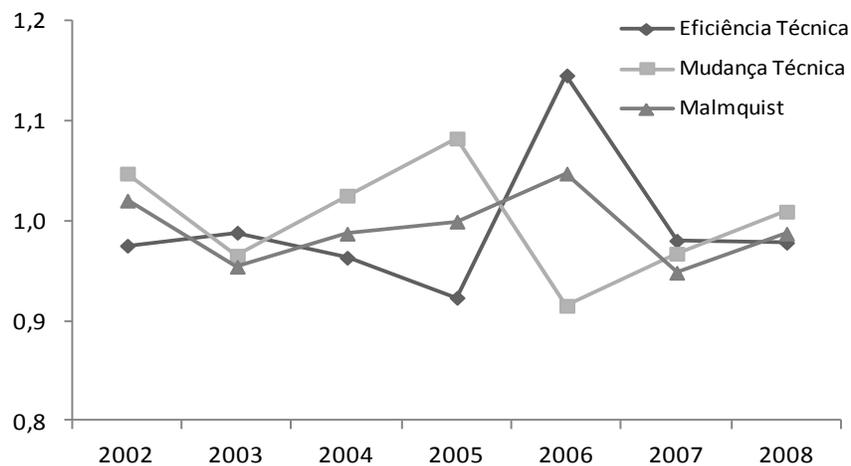
Tabela 4.29. Relações parciais entre insumos e produto – Usina 1

Usina 1	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	4.928	465	94,35
2003	4.905	441	89,97
2004	6.495	573	88,19
2005	8.737	754	86,25
2006	8.012	726	90,65
2007	6.985	605	86,67
2008	8.395	708	84,35
Média	6.922	610	88,63
Desvio Padrão	1.575	126	3,33

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

A gestão é familiar, a qual procura diversificar, porém sempre centrado na produção de cana-de-açúcar e seus produtos. Como está localizada na mesorregião de Ribeirão Preto, que é uma região tradicional de cultivo de soja, essa usina realiza rotação de culturas com a soja no período de reforma do canavial, o que confere economias de escopo à atividade, além de melhorar a eficiência na área agrícola da usina.

Gráfico 4.11. Eficiência Técnica, Mudança Técnica e Malmquist – Usina 1



Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

Os dados para as usinas que apresentaram decréscimo na produtividade total dos fatores no período evidencia que a maioria teve um baixo valor na componente eficiência técnica, mostrando que de fato as usinas não conseguiram realizar o *catching-up* com a fronteira de eficiência. Os valores apresentados nas quatro unidades acima mostram que a componente eficiência técnica apresentou uma participação menor do que a componente mudança técnica, já que apresentou um valor baixo na média do período para as quatro usinas.

Em suma, essas quatro usinas com PTF menor do que 1 tiveram um peso quase insignificante para a alteração da fronteira de eficiência e tiveram baixa capacidade de se adequarem ao padrão do período dado pelo conjunto da amostra, ao apresentarem um baixo valor na componente eficiência técnica.

4.6 Variável Tempo de Consultoria – Eficiência Produtiva

Conforme já foi explicitado anteriormente, a amostra analisada no presente trabalho deriva das análises preliminares de eficiência pela Consultoria Fermentec. O trabalho realizado pela consultoria pressupõe um maior rendimento das usinas conforme o tempo de adesão aos serviços da mesma.

Segundo Barros (2009), quanto maior o tempo de consultoria nas usinas, maior é o rendimento da destilaria. A partir dos dados fornecidos pela Fermentec, observa-se que as usinas que possuíam de 1 a 4 anos de consultoria até a safra 2001/02, apresentaram um rendimento médio da destilaria próximo a 88%, enquanto as usinas que possuíam de 5 a 9 anos de consultoria tiveram um rendimento acima de 89% e as usinas com mais de 10 anos de consultoria, rendimentos próximos a 90%.

Mas a própria autora faz uma ressalva, pois verifica-se heterogeneidade, em que ela afirma que as unidades que contrataram a consultoria nos últimos dez anos já iniciaram suas atividades com uma tecnologia em estágio mais avançado, levando a um valor inicial dos rendimentos maior do que as usinas mais antigas. Esse fato provoca ganhos menos expressivos no rendimento da unidade.

Tabela 4.30. Relação entre a PTF e o Tempo de Consultoria (t = anos de consultoria)

Categorização	Usina	Idade	PTF	Tempo de Consultoria (t = anos)
Grupo de Usinas com Ganhos de Eficiência (PTF ≥ 1)	5	16	1,028	t ≤ 10
	15	32	1,010	10 < t < 20
	10	67	1,006	t ≤ 10
	16	33	1,006	t ≥ 20
	2	15	1,003	t ≤ 10
	13	31	1,003	t ≥ 20
	7	80	1,002	t ≥ 20
	9	29	1,002	t ≥ 20
Grupo de Usinas com Perdas de Eficiência (PTF < 1)	8	31	1,001	10 < t < 20
	4	26	0,999	10 < t < 20
	14	38	0,999	t ≥ 20
	11	59	0,998	t ≤ 10
	1	28	0,991	10 < t < 20
	6	13	0,990	t ≤ 10
	12	90	0,989	t ≤ 10
	17	18	0,988	t ≥ 20
3	33	0,959	10 < t < 20	

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

A Tabela 4.30 apresenta a relação entre os ganhos de eficiência do modelo e o tempo de consultoria. Entre as usinas que apresentaram ganhos de eficiência maior do que 1 observa-se a preponderância das usinas com mais de 20 anos de consultoria, com menor participação das usinas menos de 20 anos de consultoria. Já as unidades que apresentaram perdas de eficiência, há a preponderância do tempo de consultoria menor do que 10 anos e entre 10 e 20 anos.

Cabe realizar uma ressalva, pois duas unidades que apresentaram ganhos de eficiência, as usinas 5 e 2, são unidades com 16 e 15 anos de atividades, ou seja, essas duas usinas naturalmente não poderiam ter mais do que 20 anos de consultoria. E no grupo das usinas que apresentaram perdas de eficiência, a usina 17, com 18 anos de atividades apresenta o tempo de consultoria maior do que 20 pelo fato que em 1992 essa usina deixou de ser uma destilaria e diversificou a produção, mudando inclusive a razão social.

Assim sendo, o trabalho de Barros (2009) e a Tabela 4.30 mostram que o trabalho da consultoria foi eficaz para ampliar o rendimento geral da destilaria e notadamente, quanto maior o tempo que a usina permanece com a consultoria, maiores serão seus ganhos de eficiência (Barros, 2009). Mas não se pode ignorar que as usinas mais novas como a

usina 5 e a usina 2 também podem apresentar bons rendimentos mesmo sendo usinas novas, mas que nasceram em uma época em que a tecnologia do setor estava mais sólida e de mais fácil adoção.

4.7 Variável Mix de Produção – Eficiência Produtiva

A Tabela 4.31 apresenta os dados de *mix* de produção do etanol entre 2001 e 2008. Primeiramente, importante considerar que a usina 5, a qual apresentou o melhor índice de PTF no período produz apenas etanol.

Analisando a variabilidade do *mix* de etanol e açúcar no período, pela comparação das usinas que apresentaram ganhos de eficiência em relação as que não apresentaram ganhos de eficiência no período nota-se que o primeiro grupo, composto pelas usinas: 5, 15, 10, 16, 2, 13, 7, 9 e 8, com exceção da usina 5 que não possui *mix* e das usinas 2, 7 e 8, observa-se que as demais apresentaram uma variabilidade maior do que as usinas do grupo que não apresentou ganhos de eficiência maior do que 1.

Tabela 4.31. Mix de Produção – Etanol - 2001- 2008

Usina	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Média	Desvio Padrão
1	27,5%	28,1%	25,7%	27,6%	26,3%	27,7%	31,8%	40,0%	30,3%	4,68%
2	29,9%	29,7%	28,1%	28,3%	27,5%	24,9%	25,5%	29,7%	27,8%	1,89%
3	30,1%	28,3%	27,1%	27,8%	28,0%	27,2%	31,7%	42,0%	30,1%	4,98%
4	45,9%	44,6%	42,8%	39,8%	43,0%	42,4%	43,0%	44,9%	43,1%	1,90%
5	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,00%
6	44,9%	43,2%	45,5%	48,8%	52,9%	47,6%	48,1%	50,3%	47,7%	3,11%
7	61,4%	58,3%	61,7%	57,2%	60,8%	59,6%	62,2%	61,6%	60,3%	1,80%
8	46,8%	37,9%	43,8%	44,0%	45,4%	42,2%	44,9%	48,0%	44,4%	3,10%
9	43,7%	38,6%	40,8%	33,3%	48,2%	48,8%	49,5%	53,9%	46,1%	6,77%
10	39,8%	35,2%	43,8%	35,4%	36,4%	37,4%	48,1%	50,6%	41,0%	5,98%
11	53,6%	53,1%	62,0%	54,0%	61,2%	59,6%	57,2%	59,3%	152,9%	3,56%
12	47,9%	44,7%	53,9%	48,8%	55,3%	49,0%	50,4%	57,4%	51,9%	4,24%
13	41,5%	42,4%	48,6%	54,6%	50,1%	51,5%	57,0%	55,9%	78,6%	5,82%
14	59,9%	56,2%	63,5%	58,3%	55,6%	53,6%	56,6%	57,7%	92,2%	3,01%
15	48,2%	47,4%	45,1%	50,8%	63,1%	50,2%	54,2%	55,3%	51,1%	5,70%
16	64,3%	63,0%	68,5%	64,9%	56,2%	52,1%	60,1%	68,7%	62,1%	5,82%
17	32,4%	39,0%	39,6%	40,9%	38,0%	39,9%	39,4%	40,4%	38,9%	2,68%
Total	46,7%	44,6%	47,5%	45,8%	47,7%	46,8%	49,3%	52,6%	47,9%	

As usinas do último grupo apresentaram baixa variabilidade, conforme se nota na Tabela 4.31. Esse fato relacionado com os ganhos ou perdas de eficiência permite concluir que as unidades que possuem maiores ganhos de eficiência observou-se uma maior

capacidade de ajuste às oscilações de preços, ou seja, as usinas mais eficientes desta amostra também são usinas que sempre estão em busca da maior rentabilidade, tornando-se um ciclo, pois maior rentabilidade traz maiores possibilidades de investimentos em melhorias nos processos.

4.8 Variável Nível de ART – Eficiência Produtiva

O nível de ART, que significa a quantidade de açúcares totais recuperáveis, ou seja, a quantidade de açúcares contidos na cana-de-açúcar, que poderá ser convertido em açúcar e etanol na área industrial da usina. Portanto, grandes quantidades de cana não significam necessariamente grande volume de produto final, pois a cana precisa conter uma dada quantidade de ART³¹ para ser convertida.

Tabela 4.32. Nível de ART – Amostra – 2002 - 2008

Usina	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Média	DP
1	17,16	15,87	15,61	15,49	15,88	15,43	15,41	15,84	0,62
2	16,78	16,61	16,51	16,04	15,96	16,08	15,71	16,24	0,39
3	16,80	16,84	16,03	15,84	16,02	16,05	15,61	16,17	0,47
4	16,48	15,92	15,13	15,00	15,74	15,08	14,85	15,46	0,60
5	16,14	15,30	14,96	14,78	15,25	15,37	14,65	15,21	0,49
6	16,80	16,21	15,07	15,06	15,87	15,39	15,20	15,66	0,66
7	16,25	15,61	15,06	14,82	15,44	14,95	15,06	15,31	0,50
8	16,04	16,21	15,71	15,91	16,04	16,05	16,11	16,01	0,16
9	16,48	16,47	15,39	15,75	15,80	15,79	15,33	15,86	0,46
10	15,62	16,11	15,30	15,23	15,54	15,78	15,00	15,51	0,37
11	16,76	16,52	16,09	15,84	16,16	15,84	15,82	16,15	0,37
12	16,02	15,50	15,48	15,23	15,59	15,12	14,71	15,38	0,41
13	16,69	16,31	15,68	15,84	16,37	16,24	-	16,19	0,37
14	16,82	16,49	15,95	15,93	16,56	16,00	-	16,29	0,38
15	15,87	15,80	16,02	15,33	16,14	16,27	15,52	15,85	0,33
16	-	17,43	-	-	16,04	16,10	-	16,52	0,79
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-

A Tabela 4.32 apresenta o nível de ART das usinas no período 2002 a 2008, com a média e o desvio padrão do período. A média da amostra oscilou entre 15,21 e 16,29, o que significa que a amostra possui um bom valor médio de ART, ou seja, a cana que chega até a indústria apresentou boa eficiência na área agrícola, devido às condições edafoclimáticas e

³¹ Uma usina padrão eficiente possui um nível de ART médio de 15,9% por tonelada de cana-de-açúcar (CGEE, 2009).

tratos culturais. Interessante notar que a variabilidade aumenta conforme o ART médio diminui, isto não é uma regra, mas no geral observou-se esse comportamento.

Entre as usinas que obtiveram ganhos de eficiência no período (5, 15, 10, 16, 2, 13, 7, 9 e 8) observa-se que a usina 5, que apresentou a melhor PTF da amostra não teve o melhor nível de ART no período, assim como a usina 7. É possível inferir que essa informação reforça a capacidade produtiva de boas usinas, as quais conseguem ser eficientes mesmo não possuindo o melhor nível de ART.

4.9 Variável Tamanho da Usina – Eficiência Produtiva

Essa seção apresentará uma análise entre os ganhos de eficiência produtiva e o tamanho das usinas, dado pelo volume de cana moída. A hipótese assumida é que as usinas de maior porte tendem a possuir maior eficiência devido aos ganhos de escala.

Sesmero *et al* (2011) argumenta que duas características podem ser associadas com a melhoria da eficiência de mercado das unidades produtivas: tamanho e experiência. Os resultados são consistentes com o fato que como a firma acumula experiência, elas podem melhorar suas habilidades para contratar preços favoráveis. Os resultados são consistentes com a hipótese que as maiores plantas podem ser mais aptas para barganhar melhores preços relativos. Se for verdade, então as maiores plantas podem superar os menores competidores, principalmente pelos preços mais favoráveis.

Salgado Jr *et al* (2009) realizou um estudo em que analisa a relação entre eficiência operacional e porte das usinas, para a região Nordeste do Estado de São Paulo. O trabalho concluiu que não há relação entre o porte e eficiência operacional, pois segundo essa premissa de pesquisa, as usinas de maior porte tenderiam a possuir maior eficiência operacional, em função dos ganhos de escala, fato que não foi observado em todas as unidades do trabalho citado.

No presente trabalho essa relação será realizada para as 17 usinas da amostra e a eficiência operacional das mesmas, a partir do volume de cana moída e a classificação em termos de produtividade total dos fatores, por meio do modelo DEA-Malmquist.

A Tabela 4.33 apresenta o ranking das usinas por volume de cana moída (média do período (2001/08), sendo uma *proxy* do tamanho das usinas, comparando aos resultados obtidos para a eficiência produtiva.

Tabela 4.33. Relação entre a PTF Média e Tamanho das Usinas

Categorização	Usinas ordenadas pela capacidade de moagem	Produtividade Total dos Fatores - PTF	Ranking - PTF
Grupo de Usinas de Grande Porte	5.327.616,07	1,001	8
	4.573.812,91	1,002	9
	4.216.349,14	0,991	1
	4.022.635,41	0,998	11
	3.942.473,93	1,002	7
	3.586.822,36	1,006	10
	3.474.042,00	0,959	3
	3.335.623,68	0,999	4
	2.844.361,50	0,999	14
Grupos de Usinas de Médio Porte	2.331.851,39	1,003	13
	2.076.964,53	0,988	17
	2.017.913,37	1,028	5
	1.884.488,53	1,003	2
	1.587.188,00	1,010	15
	1.526.393,76	0,989	12
	1.251.733,00	1,006	16
	1.230.898,95	0,990	6

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

Observando-se a Tabela 4.33, é possível categorizar a amostra das usinas selecionadas em dois grupos distintos: usinas de grande porte e usinas de médio porte. No primeiro grupo, encontram-se as usinas que apresentaram ganhos de eficiência, US 8, US 9, US 10, e também as que apresentaram perdas de eficiência, US 1, US 11, US 7, US 3, US 4 e US 14. Por sua vez, no grupo de usinas de médio porte, tem as usinas com ganhos de eficiência positivo US 13, US 5, US 2, US 15 e US 16, e as com perdas de eficiência US 17, US 12, US 6.

Essa análise sugere que o tamanho da usina pode não representar necessariamente ganhos ou perdas de eficiência. Seria bom saber a eficiência média dos grupos, para assumir que as usinas de grande porte podem até apresentar a maior eficiência média, mas por sua vez, nem todas as usinas pertencentes a esse grupo podem ser consideradas eficientes.

4.10 Variável Idade da Usina – Eficiência Produtiva

Essa seção apresentará uma análise entre a eficiência produtiva, obtida a partir dos

resultados da análise DEA-Malmquist, e o tempo de operação (idade) das usinas da amostra. O objetivo é testar a hipótese de que usinas jovens são mais eficientes.

A Tabela 4.34 apresenta os dados e sintetiza os resultados, em que as usinas estão categorizadas em dois grupos distintos pela modelagem: usinas que apresentaram ganhos positivos de eficiência e usinas que apresentaram ganhos negativos de eficiência.

Tabela 4.34. Relação da PTF e Idade das Usinas

Categorização	Usinas	PTF	Idade
Grupo de Usinas com Ganhos de Eficiência (PTF ≥ 1)	5	1,028	16
	15	1,010	32
	10	1,006	67
	16	1,006	33
	2	1,003	15
	13	1,003	31
	7	1,002	80
	9	1,002	29
	8	1,001	31
Grupos de Usinas Ineficientes	4	0,999	26
	14	0,999	38
	11	0,998	59
	1	0,991	28
	6	0,990	13
	12	0,989	90
	17	0,988	18
	3	0,959	33

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

No grupo de usinas eficientes encontram-se usinas com tempo de operação bem distinto, com usinas novas e modernas, como US 2 e US 5, que possuem 15 e 16 anos de operações, respectivamente, assim como encontram-se usinas mais antigas, como a US 10 e US 7, com 67 e 80 anos de atuação. Além disso, as demais usinas do grupo das eficientes possuem entre 29 e 33 anos, US 9, US 8, US 13, US 15 e US 16. A faixa etária preponderante, entre 29 e 33 anos, pode ser considerada como semi-nova, considerando que se trata de um setor antigo, em que grande parte das unidades foi criada no início do século passado.

É importante notar que a faixa etária predominante refere-se às usinas que foram criadas após o PROÁLCOOL, ou seja, foram empresas que obtiveram acesso a

financiamentos e recursos.

Por sua vez, no grupo de usinas ineficientes não é possível observar também uma relação entre eficiência produtiva e tempo de operações, pois há usinas novas, como a US 6 e US 17, com 13 e 18 anos, assim como usinas antigas, como a US 11 e US 12, com 67 e 80 anos de atuação, respectivamente. As demais usinas foram criadas após o lançamento do PROÁLCOOL, US 4, US 1 e US 3. A única exceção é a US 14, que foi criada alguns anos antes do lançamento do programa.

A questão que permeia a relação entre eficiência e tempo de operação da usina pode ser analisada sob dois ângulos distintos. Primeiramente, usina, assim como qualquer empresa, podem apresentar um bom nível de eficiência mesmo que possua poucos anos de operações, o que poderia ser explicado pela modernidade dos equipamentos e processos. Ao mesmo tempo, poucos anos de operações pode significar que a usina se encontra na fase inicial do processo de aprendizado, ou seja, o *learning* está intimamente relacionado com a idade da mesma.

Não é possível estabelecer uma relação positiva e generalizada entre eficiência produtiva e idade das usinas, pois uma usina antiga pode apresentar um bom nível de eficiência por motivos diversos, principalmente aqueles relacionados com a gestão do negócio, em que apesar da idade, há forte investimento na melhoria de processos e equipamentos, o que mantém o nível de eficiência alcançado no passado.

Amorim ainda salienta que uma usina possui um tempo para obter máxima eficiência, em que após esse tempo, a usina é capaz de manter essa eficiência através de investimentos, ou simplesmente começa a regredir, por conta da obsolescência e dispersão em relação à eficiência técnica.

Assim sendo, é possível presumir que não há relação direta entre eficiência produtiva e tempo de operações, pois há outras variáveis que interferem nessa relação, como investimentos realizados pelas empresas e a forma de gestão.

CONCLUSÕES

Primeiramente, é necessário considerar que a amostra analisada neste trabalho é composta por um grupo de usinas que procuraram os serviços de uma consultoria referência no setor sucroenergético como provedora de boas soluções e melhorias na eficiência dos processos produtivos. Assim sendo, a amostra já pode ter nascido viesada por usinas mais eficientes que as que não procuraram os serviços da consultoria Fermentec, ou pelo menos, usinas que estavam em busca de melhorias, o que não significa necessariamente a sua obtenção.

A análise de cada usina em particular trouxe a sensação que a amostra congregou empresas em boas condições produtivas, entretanto, percebeu-se que quase nenhuma apresentou ganhos de produtividade ao longo do período devido à componente mudança técnica, ou seja, através de inovações tecnológicas. O que se percebeu na amostra das 17 usinas, foi que a maioria que obteve um índice maior do que 1 na produtividade total dos fatores, através do índice de Malmquist, o obteve em função de melhorias com as boas práticas, ou seja, as usinas fizeram o *catching-up* em relação às mais eficientes.

Essa análise converge com a ideia de mudança de paradigma que resultou em um ambiente muito heterogêneo no que diz respeito às práticas de gestão e aos resultados obtidos pelas firmas que compõem o setor. Além da heterogeneidade produtiva, observa-se também existência de empresas tecnologicamente atrasadas, com baixa eficiência, coexistindo com empresas mais eficientes, que optaram pelo maior desenvolvimento de suas técnicas de gestão e tecnologia produtiva, formando um universo de maior heterogeneidade sob esse aspecto (SHIKIDA, NEVES e REZENDE, 2002).

Assim sendo, é possível caracterizar a amostra como composta em sua maioria por *followers*, ou seja, as usinas não criam e adotam inovações radicais, elas apenas seguem um movimento conjunto em direção a tecnologias já testadas no mercado e de comprovada eficiência por outras usinas.

Assim sendo, a análise dos grupos das usinas com o índice de produtividade maior do que 1, ou seja, as usinas mais eficientes da amostra revela que a maior contribuição para esse crescimento foi a eficiência técnica seguida da eficiência de escala, ou seja, o que fez a produtividade desse grupo manter taxas positivas de crescimento ao longo do período foi

principalmente a eficiência obtida pelas usinas, ou seja, a convergência em busca das melhores práticas pelas usinas localizadas na fronteira de eficiência.

A componente mudança tecnológica foi preponderante na usina 5, a qual apresentou o melhor índice da amostra, o que significa que essa realizou inovações que a possibilitou deslocar a fronteira tecnológica. Outras usinas também tiveram relativa participação dessa componente, porém em menor medida, o que corrobora o trabalho de Shikida *et al.* (2006), o qual analisou as capacidades tecnológicas do setor e concluiu que a agroindústria canavieira é sabidamente amparada de boa qualidade técnica e de baixos custos, entretanto, apresenta domínio apenas das tecnologias básicas e intermediárias, deixando a desejar nas capacidades tecnológicas avançadas.

Os dados para as usinas que apresentaram decréscimo na produtividade total dos fatores no período evidencia que a maioria teve um baixo valor na componente eficiência técnica, mostrando que de fato as usinas não conseguiram realizar o *catching-up* com a fronteira de eficiência. A componente eficiência técnica foi menor que a componente mudança técnica para as quatro usinas desse grupo.

Em suma, essas quatro usinas com PTF menor do que 1 tiveram um peso quase insignificante para a alteração da fronteira de eficiência e tiveram baixa capacidade de se adequarem ao padrão do período deste grupo de usinas, ao apresentarem um baixo valor na componente eficiência técnica.

Em relação às relações entre ganhos de eficiência e as variáveis tamanho da usina, idade da usina, tempo de consultoria, nível de ART e *mix* de produção revelam novamente a falta de homogeneidade no setor, em que usinas antigas e também as modernas podem apresentar ganhos de eficiência, assim como usinas maiores e menores. Para as demais relações, como tempo de consultoria e *mix* de produção foi possível observar um comportamento mais padronizado, em que a procura e a contratação dos serviços de fato revelaram um melhor *catch-up* das usinas, assim como usinas que possuem boas condições para alternarem o *mix* de produção também vão ao encontro das usinas que conseguiram os melhores ganhos de eficiência no período. E, por fim, a relação ART e eficiência apesar de não apontar que os melhores níveis de ART são obtidos pelas usinas mais eficientes, o estudo permitiu inferir que as usinas mais eficientes conseguem administrar na fase industrial essa pequena defasagem de eficiência oriunda da área agrícola.

Em suma, as usinas da amostra comprovaram que as unidades ainda são muito mais seguidoras de algumas usinas que promovem e/ou adotam primeiro as inovações tecnológicas. E também reafirmou a existência de heterogeneidade no setor, em que tamanho, idade, nível de ART, *mix* de produção, não apresentam forte correlação com os ganhos de eficiência obtidos, o que possivelmente revela que a eficiência no setor está atrelada à capacidade de gestão produtiva e bom uso dos recursos existentes.

BIBLIOGRAFIA

ABARCA, C. D. (2003) Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil. Agroindústria da Cana-de-Açúcar – Estratégia, Organizações e Tecnologia. COPPE/UFRJ.

ANP (2011). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro.

ARAÚJO, M., GOES, T. (2009) Energias alternativas fortalecem a matriz energética. Revista de Política Agrícola. N.4. Out./Nov./Dez.

BASTOS, V. D. (2007) Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias. Alcoolquímica. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n° 25, p. 5 – 38.

BARROS, M. B. (2009) Análise dos ganhos econômicos da eficiência industrial: Estudo de caso com empresas consultadas pela Fermentec. ESALQ/USP. Piracicaba. (Relatório de Pesquisa)

BELIK, W., RAMOS, P., VIAN, C. E. (1998) Mudanças institucionais e seus impactos nas estratégias dos capitais no complexo agroindustrial canavieiro no Centro-Sul do Brasil. Anais do XXXVI Encontro Nacional da Sober. Poços de Caldas, Agosto.

BNDES (2008) Bioetanol de cana-de-açúcar. Energia para o Desenvolvimento Sustentável. Coordenação BNDES E CGEE. 1ª edição. Rio de Janeiro.

BNDES (2010). Informe Setorial: O Setor Sucroalcooleiro em 2009. Área Industrial. N°17.

BRAUNBECK, O. A., CORTEZ, L. A. B. (2009) O cultivo da cana-de-açúcar e o uso de resíduos. In: O uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. pp. 215-246.

BONELLI, R., FONSECA, R. Ganhos de produtividade e de eficiência: novos resultados para a economia brasileira. Rio de Janeiro: IPEA, 1998. 43p. (Texto para discussão; 557)

BRUZONI JR., A. C., GONÇALVES, R. M. (2011) Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. 11º Congresso USP de Controladoria e Contabilidade. USP, São Paulo.

CANO, A. (2004) Eficiência Produtiva da Agroindústria Canavieira Paulista: avaliação de eficiência produtiva, elaboração de rankings de eficiência através de metodologia DEA e análise dos escores de eficiência obtidos. Centro Universitário de Araraquara. (Tese de mestrado)

CANO, A., TUPY, O. (2005) 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.

CASTRO, S. S., ABDALA, K., SILVA, A. A., BÔRGES, V. M. S. (2010) A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. Boletim Goiano de Geografia. V.30, n.1, pp.171-191.

CEPEA/ESALQ (2011). Agromensal. Informações de Mercado. Mês de referência: Março.

CGEE. (2009) *Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, 536 p.

COELLI, T. J. (1996) *A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis program*. Armidale, Austrália: University of New England. 1996. 49p. CEPA Working Papers.

COELLI, T.J., RAO, D.S.P., BATTESE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Boston: Kluwer Academic, 1998. 275 p.

CONAB (2008) *Acompanhamento da safra brasileira*. Cana-de-açúcar. Safra 2008. Terceiro Levantamento. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília.

CONTI, J. B. (2005) Considerações sobre as mudanças climáticas globais. Revista do Departamento de Geografia, 16. Pp 70 -75.

CRUZ, C. H. B. (2010) Bionergia da cana-de-açúcar no Brasil: Sustentabilidade, Redução de Emissões e Segurança Energética. In: CORTEZ, L. A. B. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher.

CTBE (2011). www.ctbe.com.br

DOSI, G. (1984) Technical change and industrial transformation. St. Martin's Press (New York)

LIMA, D. L. (2010) Estrutura e expansão da agroindústria canavieira no sudoeste goiano: impactos no uso do solo e na estrutura fundiária a partir de 1990. IE/UNICAMP (Tese de doutorado)

DURÃES, F. O. M. (2009) A oportunidade do ordenamento territorial e governança para a cana-de-açúcar no Brasil. Revista de Política Agrícola, N. 4, Out./Nov./Dez. pp.113-115.

ESCOBAR, J. C. (2009) Biofuels: Environment, technology and food security. Renewable and Sustainable Energy Reviews., V.13, pp. 1275-1287.

FAO (2006) World agriculture: towards 2030/2050. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups. Interim Report. Global Perspective Studies Unit. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Itália.

FAOSTAT (2011) www.faostat.com

FARRELL, M. J. (1957) *The Measurement of Productive Efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 120. N° 3, pp. 253-290.

FAUST, A. (2010) Os novos usineiros. Estudo EXAME – Etanol. Pp. 13-15.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M. e ZHANG, Z. (1994) *Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries*. The American Economic Review; 84, 1; pg 66-83.

FAVAS NEVES (2010)

FERNANDES, A. C. (2001) *Cálculos na Agroindústria de Cana-de-Açúcar*. Sociedade dos Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil. Piracicaba.

FIGUEIRA, S. R. (2005) Os programas de álcool como combustível nos EUA, no Japão e na União Européia e as possibilidades de exportação do Brasil. ESALQ/USP. Piracicaba.

FONSECA, M. G., SILVEIRA, J. M., COSTA, C. M., ROSÁRIO, F. J., NEVES, R. E. (2007) A dinâmica agroindustrial e tecnológica da agroindústria sob a ótica de sistemas de inovação: grãos e cana-de-açúcar. Workshop BRICS

FURTADO, C. (1961) *Formação Econômica do Brasil*. Editora Fundo de Cultura. 4 edição.

GIARDINI, A. (2007) Novas Fronteiras Agrícolas da Cana. Com Ciência. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. LABJOR

GOES, T., MARRA, R., ARAÚJO, M., ALVES, E., SOUZA, M. O. (2011) *Sugarcane in Brazil: Current technologic stage and perspectives*. Revista de Política Agrícola. Ano XX – Nº1 – Jan./Fev./Mar.

GONÇALVES, J. A. (2010) A distante revolução da celulose. Estudo EXAME – Etanol. Pp. 16-19.

IBGE (2011) www.ibge.gov.br

IGREJA, A. C. M. *et al* (2008) Fatores locacional e tecnológico na competição cana versus pecuária para as regiões geográficas brasileiras. Revista de Economia Agrícola, São Paulo, v. 55, n.2, p.89-103.

HASHIMOTO, A., HANEDA, S. (2008) Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry. *Research Policy* 37. pp. 1829-1836.

HERZOG, A. L. (2010) A hora da verdade para o etanol. Estudo EXAME – Etanol. Pp. 4-9.

_____ (2010a) Como a tecnologia transforma o canavial. Estudo EXAME – Etanol. Pp. 20-22.

IPEA (2010). Biocombustíveis no Brasil: etanol e biodiesel. Comunicados do IPEA. N°53. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro.

MACÊDO, F. S. (2011) A reestruturação do setor sucroenergético no Brasil: uma análise do período entre 2005 e 2011. EESP/FGV.

MACEDO, I. C., CORTEZ, L. A. (2009) O processamento industrial da cana-de-açúcar no Brasil. In: O uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. pp. 247-268.

MALERBA, F. (2006) *Innovation and the dynamics and evolution of industries: Progress and challenges*. International Journal of Industrial Organization. 25. pp. 675-699.

MAPA. www.agricultura.gov.br. Site visitado em outubro de 2011.

MASIERO, G., LOPES, H. (2008) Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. Revista Brasileira de Política Internacional. 51 (2). pp.60-79.

MELLO, E. P. G. (2003) *Produtividade total dos fatores, mudança técnica, eficiência técnica e eficiência de escala na indústria brasileira, 1996-2000*. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. Faculdade de Ciências Econômicas/UFMG(Tese de mestrado)

MELO JÚNIOR, A. M. (2005) *Índice de Malmquist aplicado na avaliação de Produtividade de Soja da Região de Guarapuava*. Setor de Ciências Exatas e Tecnologia/UFPR. (Tese de mestrado)

MIGLINO, M. A. P. (2003) Inovação: o local importa? Um ensaio sobre os nexos entre inovação e espaço segundo contemporâneos selecionados. DPCT/UNICAMP. (Dissertação de Mestrado)

MORAES, M. A. F. D. (2000) A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil. Americana: Caminho Editorial.

MORAES, M. A. F. D. (2002) Desregulamentação da agroindústria canavieira: novas formas de atuação e desafios do setor privado. In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (orgs).

Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios. São Paulo: Atlas, 2002. Cap. 1, p.17 – 42.

NASTARI, P. M. (2010) *A indústria também é flex*. Revista Agroanalysis N° X. pp. 38-39.

NEVES, M. F. Mapeamento e Quantificação do Setor Sucroenergético (2008) VERSÃO PRELIMINAR. Markestrat/USP Centro de Pesquisa e Projetos de Marketing e Estratégia

NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. (2010) Estratégias para a cana no Brasil. Um negócio classe mundial. 1.ed – 3. Reimpr. São Paulo: Atlas.

PERRIN, R.K., FRETES, N.F., SESMERO, J.P. Efficiency in Midwest US corn ethanol plants: A plant survey. Energy Policy. Department of Agricultural Economics, University of Nebraska, Lincoln, USA.

PIACENTE, F. J. (2010) Inovação e trajetórias tecnológicas: o caso dos dois sistemas para extração de sacarose no Brasil. Universidade Estadual de Campinas (Tese de doutorado)

PRADA, S. M., GUEKEZIAN, M., ENCARNACIÓN, M. (1998) Metodologia analítica para determinação de sulfato em vinhoto. Revista Química Nova, 21 (3). IQ-USP

RAMOS, P. (2002) Heterogeneidade e integração produtiva na evolução crescente da agroindústria canavieira do Centro-Sul (1985 – 2000). In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (orgs). Agroindústria Canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios. São Paulo: Atlas, 2002. Cap. 11, p.241 - 262.

RAMOS, H. R., SAES, M. S., BRAGA, M. B. (2007) The institutional and organizational environment and the competitiveness of the alcohol agro industry in Brazil. VI International PENSA Conference. “Sustainable Agri-food and Bioenergy Chains/Networks Economics and Management”. FEA/USP – Ribeirão Preto.

RIBEIRO, N. V., FERREIRA, L. G., FERREIRA, N. C. (2009) Expansão da cana-de-açúcar no bioma cerrado: uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasil. INPE. Pp. 4287-4293.

RISSARDI JR., D. J., SHIKIDA, P. F. A. (2007) A agroindústria canaveira do Paraná pós-desregulamentação: uma abordagem neo-schumpeteriana. RER, Rio de Janeiro, vol. 45, n° 02, p. 445-473.

SCHUTTE, G. R., BARROS, P. S. (2010) A geopolítica do etanol. IPEA. N.1.

SESMERO, J.P., PERRIK, R.K., FULGINITI, L.E. (2011) Economic and Marketing Efficiency Among Corn Ethanol Plants. Australian Agricultural and Resource Economics Society>2011 Conference (55th), February 8-11, Melbourne, Australia

SHIKIDA, P. F. A. (1997) A evolução diferenciada da agroindústria canaveira no Brasil de 1975 a 1995. ESALQ/USP. Piracicaba. (Tese de doutorado)

SHIKIDA, P. F. A. ; MARTINS, J. P. ; SOUZA, E. C. (2005) Matriz de capacidades tecnológicas da agroindústria canaveira do Paraná. In: XLIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural - SOBER, Ribeirão Preto (SP).

SHIKIDA, P. F. A.; NEVES, M. F., REZENDE, R. A. (2002) Notas sobre dinâmica tecnológica e agroindústria canaveira no Brasil. In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (orgs). Agroindústria Canaveira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios. São Paulo: Atlas, 2002. Cap. 1, p.17 – 42.

SHIKIDA, P. F. A. ; AZEVEDO, P. F. ; VIAN, C. E. F. . (2011) Desafios da agroindústria canaveira no Brasil pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas. Revista de Economia e Sociologia Rural (Impresso), v. 49, p. 599-628.

SILVA, W. F., AGUIAR, D. A., RUDORFF, B. F. T., SUGAWARA, L. M., AULICINO, T. L. I. N. (2009) Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safras 2005/2006 a 2008/2009. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Pp. 467-474

SUZIGAN, W. (2000) Indústria brasileira: origem e desenvolvimento. Nova edição. São Paulo: Hucitec, Ed. Da Unicamp. Economia & Planejamento; 40. Série: “Teses e Pesquisas”; 24.

SZMRECSÁNYI, T. (1979). O Planejamento da Agroindústria Canaveira do Brasil (1930 - 1975), São Paulo, Editora Hucitec.

TORQUATO, S.A. (2006) Cana-de-açúcar para indústria: o quanto vai precisar crescer. Análises e Indicadores do Agronegócio. Instituto de Economia Agrícola. Vol.1. N.10.

VEIGA FILHO (2000)

UNICA (2011) www.unica.com.br

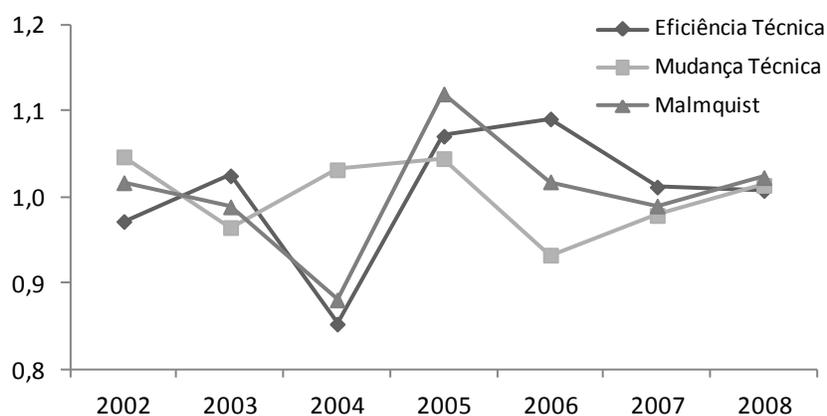
VIAN, C. E. F., LIMA, R. A. S. (2005) Estudo de impacto económico para o complexo agroindustrial canavieiro: Introdução e agenda de pesquisa. XLIII Congresso da Sober. “Instituições, Eficiência, Gestão e Contratos no Sistema Agroindustrial”. Ribeirão Preto.

ANEXO – PTF USINAS

USINA 13

Usina 13	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,972	1,047	0,984	0,987	1,017
2003	1,025	0,965	1,005	1,019	0,989
2004	0,853	1,032	0,910	0,938	0,881
2005	1,071	1,045	1,070	1,001	1,120
2006	1,091	0,933	1,039	1,049	1,018
2007	1,012	0,979	0,994	1,018	0,990
2008	1,008	1,014	1,014	0,995	1,023
Média	1,002	1,001	1,001	1,001	1,003
Desvio Padrão	0,078	0,044	0,050	0,034	0,070

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria

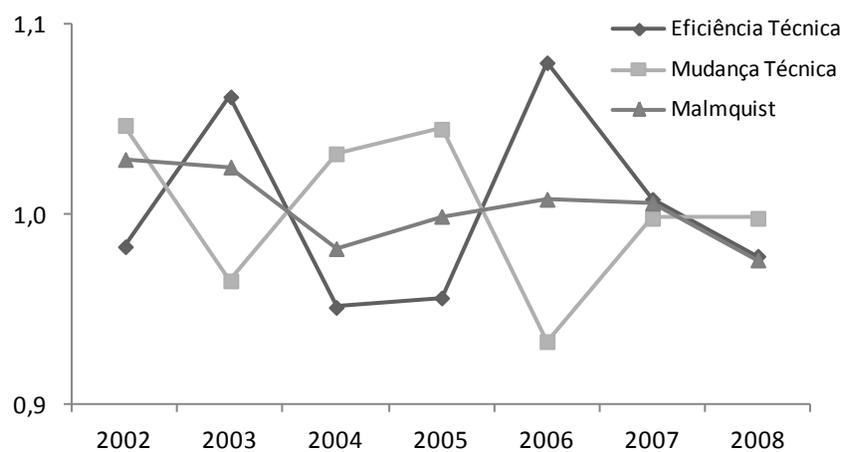
Usina 13	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	5.186	477	91,93
2003	5.039	458	90,94
2004	5.613	450	80,11
2005	5.851	525	89,71
2006	4.687	428	91,29
2007	5.209	469	90,09
2008	7.163	648	90,53
Média	5.535	494	89,23
Desvio Padrão	811	75	4,09

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 2

Usina 2	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,983	1,047	0,955	1,029	1,029
2003	1,062	0,965	1,069	0,994	1,025
2004	0,951	1,032	1,000	0,951	0,982
2005	0,956	1,045	0,977	0,978	0,999
2006	1,080	0,933	1,016	1,062	1,008
2007	1,008	0,998	1,000	1,009	1,006
2008	0,978	0,998	0,972	1,007	0,976
Média	1,001	1,002	0,998	1,004	1,003
Desvio Padrão	0,051	0,043	0,037	0,036	0,020

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

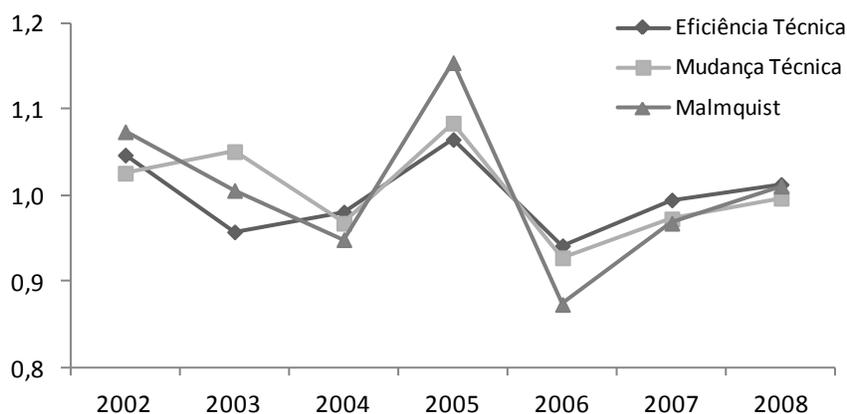
Usina 2	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	2.812,17	258,10	91,78
2003	3.625,72	341,04	94,06
2004	3.205,96	296,05	92,34
2005	3.410,97	314,69	92,26
2006	3.766,13	350,10	92,96
2007	3.796,85	354,98	93,49
2008	4.324,81	392,63	90,79
Média	3563,23	329,66	92,53
Desvio Padrão	482,11	44,02	1,09

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 7

Usina 7	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	1,047	1,026	1,000	1,047	1,074
2003	0,958	1,051	1,000	0,958	1,006
2004	0,981	0,968	0,948	1,034	0,949
2005	1,065	1,084	1,055	1,009	1,154
2006	0,942	0,928	0,951	0,991	0,874
2007	0,995	0,973	0,987	1,008	0,968
2008	1,013	0,997	1,014	1,000	1,011
Média	0,999	1,003	0,993	1,006	1,002
Desvio Padrão	0,045	0,054	0,037	0,029	0,090

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

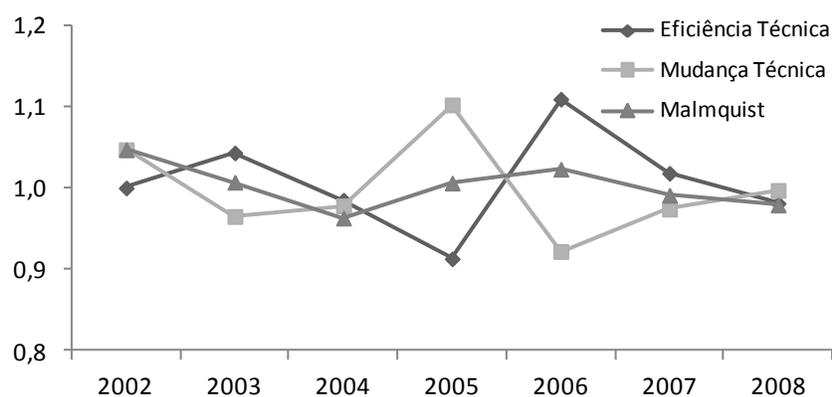
Usina 7	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	12.712	1.179	92,76
2003	13.753	1.229	89,34
2004	11.090	962	86,74
2005	8.837	927	104,85
2006	10.305	918	89,09
2007	9.553	829	86,79
2008	9.917	867	87,41
Média	10.881	987	91,00
Desvio Padrão	1.772	155	6,46

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 9

Usina 9	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	1,000	1,047	1,035	0,966	1,047
2003	1,043	0,965	1,046	0,997	1,007
2004	0,985	0,978	1,000	0,985	0,963
2005	0,913	1,102	0,903	1,011	1,006
2006	1,109	0,922	1,068	1,038	1,023
2007	1,018	0,974	1,006	1,011	0,991
2008	0,981	0,997	0,980	1,001	0,979
Média	1,005	0,996	1,004	1,001	1,002
Desvio Padrão	0,060	0,059	0,054	0,023	0,028

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

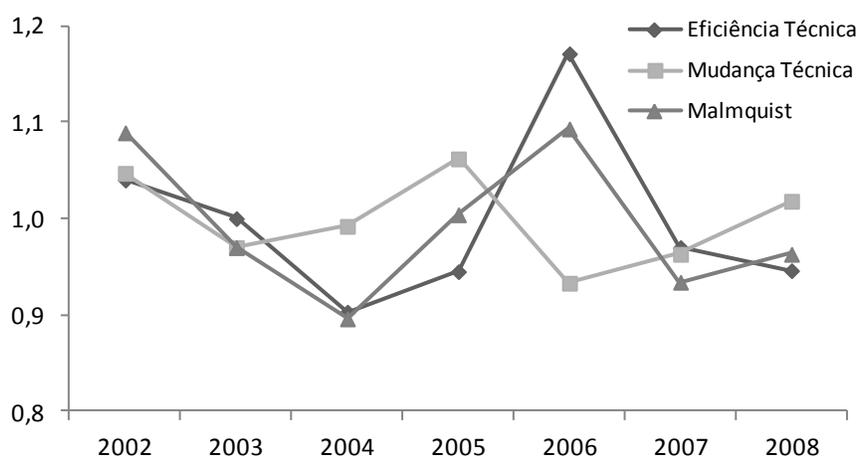
Usina 9	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	6.585	606	91,98
2003	8.773	812	92,62
2004	8.499	693	81,51
2005	9.001	804	89,32
2006	9.583	865	90,27
2007	9.867	880	89,22
2008	10.019	874	87,20
Média	8904	791	88,87
Desvio Padrão	1169	104	3,72

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 6

Usina 6	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	1,040	1,047	1,000	1,040	1,089
2003	1,000	0,970	1,000	1,000	0,970
2004	0,903	0,992	1,000	0,903	0,896
2005	0,945	1,062	1,000	0,945	1,004
2006	1,171	0,933	1,000	1,171	1,093
2007	0,970	0,963	1,000	0,970	0,934
2008	0,946	1,018	1,000	0,946	0,963
Média	0,993	0,997	1,000	0,993	0,990
Desvio Padrão	0,089	0,047	0,000	0,089	0,075

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

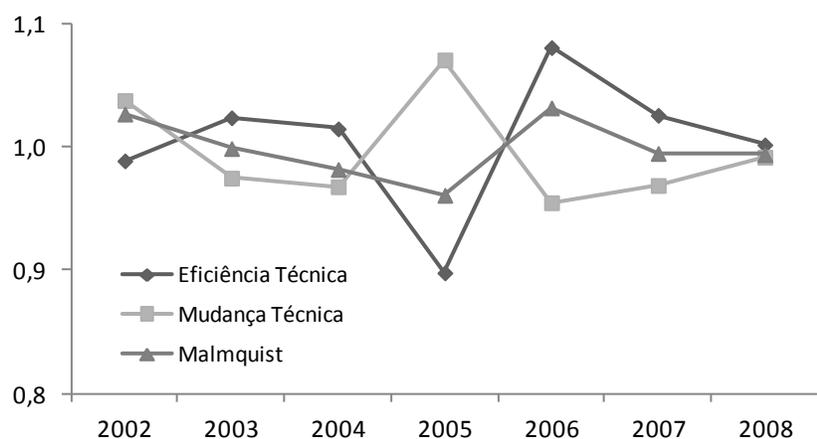
Usina 6	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	9.103	917	100,69
2003	9.419	915	97,18
2004	6.539	584	89,25
2005	6.594	590	89,52
2006	6.666	652	97,84
2007	6.589	602	91,43
2008	6.974	611	87,60
Média	7412	696	93,36
Desvio Padrão	1274	152	5,11

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 11

Usina 11	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,989	1,038	1,000	0,989	1,027
2003	1,024	0,975	1,000	1,024	0,999
2004	1,015	0,968	1,000	1,015	0,982
2005	0,898	1,071	0,900	0,997	0,961
2006	1,081	0,955	1,083	0,998	1,032
2007	1,026	0,969	1,025	1,001	0,995
2008	1,002	0,992	0,999	1,003	0,994
Média	1,004	0,994	1,000	1,004	0,998
Desvio Padrão	0,055	0,043	0,054	0,012	0,025

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

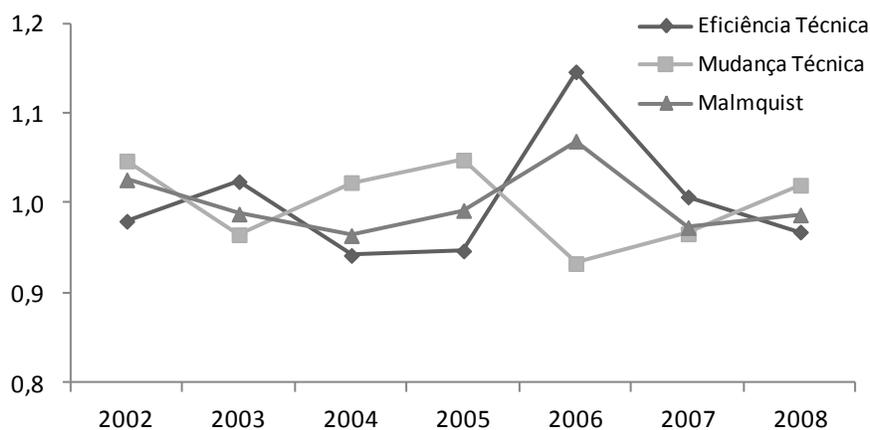
Usina 11	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	9.480	908	95,78
2003	9.424	902	95,75
2004	10.896	1008	92,55
2005	10.199	919	90,11
2006	11.542	1051	91,08
2007	12.557	1131	90,08
2008	13.602	1208	88,79
Média	11.100	1018	92,02
Desvio Padrão	1.574	119	2,80

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 14

Usina 14	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,980	1,047	1,014	0,967	1,026
2003	1,024	0,965	0,998	1,026	0,988
2004	0,942	1,023	0,970	0,971	0,964
2005	0,947	1,048	0,957	0,989	0,992
2006	1,146	0,933	1,124	1,019	1,069
2007	1,007	0,966	0,978	1,029	0,973
2008	0,968	1,020	0,988	0,979	0,987
Média	1,000	0,999	1,003	0,997	0,999
Desvio Padrão	0,070	0,045	0,056	0,027	0,036

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

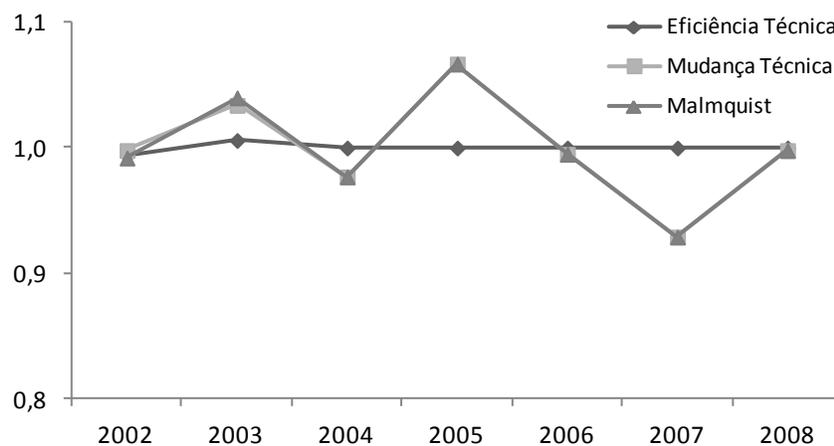
Usina 14	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	7.353	684	92,96
2003	6.617	608	91,85
2004	5.674	507	89,30
2005	6.148	543	88,39
2006	6.044	571	94,49
2007	6.303	579	91,80
2008	6.934	623	89,86
Média	6.439	588	91,23
Desvio Padrão	571	57	2,16

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

USINA 4

Usina 4	Eficiência Técnica	Mudança Técnica	Eficiência Técnica Pura	Eficiência de Escala	PTF
2002	0,994	0,998	1,000	0,994	0,992
2003	1,006	1,034	1,000	1,006	1,04
2004	1,000	0,977	1,000	1,000	0,977
2005	1,000	1,067	1,000	1,000	1,067
2006	1,000	0,995	1,000	1,000	0,995
2007	1,000	0,929	1,000	1,000	0,929
2008	1,000	0,998	1,000	1,000	0,998
Média	1,000	0,999	1,000	1,000	0,999
Desvio Padrão	0,003	0,043	0,000	0,003	0,044

Fonte: Fermentec e ÚNICA – Elaboração Própria



Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria

Usina 4	Cana moída/ empregados (t/emp)	Produção Etanol/ empregados (l/emp)	Produção Etanol/ Cana moída (l/t)
2002	10.406	1.006	96,64
2003	13.638	1.276	93,54
2004	15.264	1.365	89,40
2005	17.317	1.532	88,44
2006	15.967	1.475	92,39
2007	14.885	1.326	89,06
2008	15.226	1.336	87,72
Média	14.672	1.331	91,03
Desvio Padrão	2.185	169	3,26

Fonte: Fermentec e UNICA – Elaboração Própria