UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE
RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

ALEXANDRE DE CASTRO MOURA DUARTE

Proposta de boas práticas de operação que colaborem para a eficiência técnica das
usinas de açúcar e etanol

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE PEREIRA SALGADO JUNIOR

RIBEIRÃO PRETO

2017

Prof. Dr. Marco Antônio Zago
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Dante Pinheiro Martinelli
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Marcio Mattos Borges de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

ALEXANDRE DE CASTRO MOURA DUARTE

Proposta de boas práticas de operação que colaborem para a eficiência técnica das
usinas de açúcar e etanol

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Administração de
Organizações da Faculdade de
Economia, Administração e
Contabilidade de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em Ciências.

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE PEREIRA SALGADO JUNIOR

RIBEIRÃO PRETO

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica

Duarte, Alexandre de Castro Moura

Proposta de boas práticas de operação que colaborem para o aumento da eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol.
. Ribeirão Preto, 2017. 197 f.: il.; 30 cm

Projeto de Tese de Doutorado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Geração de Valor.

Orientador: Salgado Junior, Alexandre Pereira

1. Boas práticas de operação. 2. *DEA*. 3. Eficiência na produção de açúcar e etanol. 4. Gestão da produção

A família é o meu alicerce e porto seguro.
Dedico este trabalho à minha família,
à minha companheira, Paula Duarte, a meus filhos, Nathalia e João Pedro,
a meus pais, Francisco Duarte e Mariza Duarte, a meus irmãos,
Francisco José, André Luis, Tatiana e Hugo,
pelo amor que nos une, pelo apoio e pelo incentivo
em todos os momentos de minha vida.

Agradecimentos

Ao amigo, orientador e Prof. Dr. Alexandre Pereira Salgado Junior, pelo apoio, amizade, orientação, cobrança e confiança nestes muitos anos em que trabalhamos juntos no Ensino Superior.

Aos professores da FEARP-USP, pelos ensinamentos e contribuições.

À empresa Fermentec, representada pelo Sr. Henrique Amorim e a toda sua equipe, pelo apoio em todas as etapas do trabalho.

A todos os amigos do GREFIC (Eduardo Regalo, Jonas Ferreira, Ornella Pacífico, Daniela Scatolin, Rafael Povedano, Marco Antônio Alves, Matheus Marcusso, Eduardo Falsarella, Felipe Soriano, Yago Marinzeck, Adriel Branco, Fábio Carlucci, Alexandre Melo, João Eduardo Ragazzi, Maurílio Benitte, Romualdo Gama, Ricardo Donegá, Stella Vannucci Lemos, Fernanda Almeida Antunes, Rafaela Melani, Fábio Vogleaar Carlucci e Felipe Foresto), meu muito obrigado pelas trocas de conhecimento, apoio, dedicação, esforço e principalmente pelo trabalho em equipe, pois juntos somos mais fortes!!!

À FUNPECRP e a toda equipe pelo apoio em todas as horas.

À Universidade de São Paulo (USP) e ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da FEA-RP, pela estrutura e oportunidade.

A todos que participaram da pesquisa durante a realização do estudo de caso e das entrevistas.

“É imoral pretender que uma coisa desejada se realize magicamente,
simplesmente porque a desejamos. Só é moral o desejo
acompanhado da severa vontade de prover os meios
da sua execução.”

José Ortega y Gasset

RESUMO

Duarte, A. C. M. Proposta de boas práticas de operação que colaborem para a eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol. 2017. xx f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEA-RP), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2017.

A cadeia produtiva do setor sucroenergético é de grande importância para o desenvolvimento do país, chegando a representar quase 2% do PIB. Uma importante contribuição do setor sucroenergético para a economia brasileira atual é relativa à produção de energia renovável. Na matriz energética primária do Brasil, a energia renovável participa com uma importante parcela de 46,9% comparado com 6,1% que os países participantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) consomem, e ainda, é maior que a parcela de energia renovável consumida no mundo (13,2%). Do total de 46,9% da energia consumida brasileira, 18,8% é derivada da cana-de-açúcar, seguida por 13,9% de energia hidrelétrica e 10,2% de carvão. O aumento da eficiência técnica é um relevante fator para a competitividade do setor e, apesar de o Brasil ocupar uma posição de destaque na produção de bioenergia, as usinas de açúcar e etanol vêm enfrentando uma grave crise, culminando com uma retração da produção e o fechamento de diversas plantas industriais. A eficiência técnica industrial é o principal indicador de desempenho de uma usina de açúcar e etanol, podendo ser traduzida como a porcentagem dos açúcares da cana que são recuperados e transformados em açúcar, etanol e outros produtos. Desta forma, dada a crise atual do setor, do aumento da concorrência e da otimização da produtividade, as unidades produtivas necessitam aumentar sua eficiência em relação ao uso de insumos. Com o intuito de contribuir para a melhoria da eficiência e competitividades das usinas de açúcar e etanol, definiu-se como objetivo geral desta tese a proposta de boas práticas de operação que colaborem para o aumento eficiência técnica das usinas. Para tanto, os procedimentos metodológicos utilizados envolveram uma abordagem quantitativa e qualitativa. Na primeira etapa, foi utilizada a técnica Análise Envoltória de Dados (*DEA*), em conjunto com a análise de quintil e regressão multilinear truncada, para que fosse possível realizar uma análise das informações oriundas da base de dados utilizada e fornecida por uma empresa da região de Piracicaba. Em um segundo momento, foi realizado um estudo de caso em uma usina tida como eficiente na região de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, e uma entrevista com dois especialistas em processos de produção de açúcar e etanol visando entender o porquê de determinadas usinas serem mais eficientes do que outras. Por fim, as informações advindas de ambas as etapas foram cruzadas e analisadas, chegando-se à proposta de boas práticas operacionais, que provavelmente podem gerar aumento da eficiência técnica e, conseqüentemente, ganhos de competitividade às usinas de açúcar e etanol.

Palavras-chave: 1. Boas práticas operacionais. 2. Eficiência técnica. 3. Gestão industrial. 4. Usinas de açúcar e etanol. 5. *DEA*.

ABSTRACT

Duarte, A. C. M. **Proposal of good operating practices that contribute to the technical efficiency of sugar cane and ethanol mills.** 2017. xx f. Doctoral Thesis – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEA-RP), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, 2017.

The productive chain of the sugar-energy sector is of great importance to the development of the country, reaching almost 2% of PIB. An important contribution of the sugar-energy sector to the current Brazilian economy is relative to the production of renewable energy. In Brazil's primary energy matrix, renewable energy accounts for an important 46.9% share compared to 6.1% that the OCDE countries consume, and is even larger than the share of renewable energy consumed in the world (13.2%). Of the 46.9% of Brazilian energy consumed, 18.8% is derived from sugarcane, followed by 13.9% hydroelectric power and 10.2% coal. The increase in technical efficiency is a relevant factor for the competitiveness of the sector and, although Brazil occupies a prominent position in the production of bioenergy, the sugar and ethanol mills have been facing a crisis culminating with a retraction of the production and the closing of several industrial plants. Industrial technical efficiency is the main performance indicator of a sugar and ethanol plant, and can be translated as the percentage of cane sugar that is recovered and processed into sugar, ethanol and other products. Thus, given the current crisis of the sector, increased competition and optimization of productivity, productive units need to increase their efficiency in relation to the use of inputs. In order to contribute to the improvement of the efficiency and competitiveness of the sugar and ethanol plants, the general objective of this thesis was to propose a good operating practice that will contribute to increase the technical efficiency of the plants. To that end, the methodological procedures used involved a quantitative and qualitative approach. In the first step, the Data Envelopment Analysis (DEA) technique was used, together with the quintile analysis and truncated multilinear regression, so that it was possible to perform an analysis of the information from the database used and provided by a company in the region of Piracicaba. In a second moment, a case study was carried out at a mill considered efficient in the region of Ribeirão Preto, state of São Paulo, and an interview with two experts on sugar and ethanol production processes aimed at understanding why certain plants are more efficient than others. Finally, the information from both stages was cross-referenced and analyzed, leading to the proposal of good operational practices, which are likely to increase technical efficiency and consequently increase competitiveness in the sugar and ethanol plants.

Keywords: 1. Good operational practices. 2. Technical efficiency. 3. Industrial management. 4. Sugar Cane and ethanol mills. 5. DEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Função de Produção: produtividade e eficiência.....	41
Figura 2 - Farrell – conceito de eficiência.....	46
Figura 3 - Deseconomia de escala.....	47
Figura 4 - Economia de escala.....	47
Figura 5 - Diferentes medidas de eficiência técnica em uma seção da função produção	49
Figura 6 - Diferentes medidas de eficiência técnica na fronteira de eficiência	49
Figura 7 - Modelo <i>DEA</i> de conversão de <i>inputs</i> em <i>outputs</i>	56
Figura 8 - Processo de Produção de Açúcar e Etanol.....	63
Figura 9 - Caldos produzidos na moenda.....	66
Figura 10 - Tandem e terno de Moenda.....	71
Figura 11 - Processo de embebição.....	71
Figura 12 - Processo de tratamento do caldo.....	75
Figura 13 - Pontos de coleta de informações do processo produtivo.....	82
Figura 14 - Triangulação metodológica	86
Figura 15 - Estrutura lógica da abordagem quantitativa	88
Figura 16 - Modelo <i>DEA</i> BCC orientação <i>output</i> fonte.....	93
Figura 17 - <i>DEA</i> segundo estágio com regressão truncada.....	96
Figura 18 - Método do estudo de caso.....	101
Figura 19 - Fases da análise de conteúdo	103
Figura 20 - Etapas da abordagem qualitativa.....	103
Figura 21 - Procedimentos metodológicos: abordagem quantitativa e qualitativa	105
Figura 22 - Proposta de Boas Práticas.....	107
Figura 23 - Variáveis de processo.....	114
Figura 24 - Abordagens utilizadas.....	123
Figura 25 - Organograma do setor industrial.....	125
Figura 26 - Etapas do processo de pesquisa	150

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção de etanol no Brasil.....	31
Gráfico 2 - Evolução do endividamento, fusões e aquisições do setor sucroenergético.....	33
Gráfico 3 - Rendimento da produção de etanol e de ATR durante a expansão e a atual crise (2002-2013) - (Em l/ha e kg/ha)	37
Gráfico 4 - Gráfico da fronteira de eficiência	108
Gráfico 5 - Histograma dos escores <i>DEA BCC Bootstrap</i> das usinas de açúcar e etanol	111
Gráfico 6 - Perdas determinadas.....	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de eficiência.....	43
Quadro 2 - Trabalhos publicados: eficiência de usinas de açúcar e etanol.....	50
Quadro 3 - Diferenças entre as categorias paramétrica e não paramétrica	55
Quadro 4 - Processo Contínuo x Batelada	61
Quadro 5 - Classificação das perdas de açúcares no processo industrial	84
Quadro 6 - Abordagem qualitativa x quantitativa.....	87
Quadro 7 - Variáveis do modelo teórico da tese	94
Quadro 8 - Procedimentos metodológicos	104
Quadro 9 - Variáveis da regressão.....	113
Quadro 10 - Variáveis resultantes da regressão	115
Quadro 11 - Tempo de entrega	129
Quadro 12 - Extração Total de ART (%).....	131
Quadro 13 - Perda Total de ART na Torta de Filtro (%)	133
Quadro 14 - Levedo (%)	134
Quadro 15 - Bastonetes no vinho bruto x 10^5 / ml	135
Quadro 16 - Bastonetes no vinho bruto x 10^5 ml	137
Quadro 17 - Balanço de ART	137
Quadro 18 - Boas Práticas relacionadas as variáveis Tempo de entrega e Extração de ART do caldo.....	141
Quadro 19 - Boas Práticas relacionada a variável Perda de ART na torta de filtro (%)	142
Quadro 20 - Boas Práticas relacionada às variáveis Levedo (%) e Bastonetes no vinho bruto (x 10^5 / ml)	145
Quadro 21 - Boas Práticas relacionada às variáveis perda de álcool na vinhaça (%) Perda de Álcool na Flegmaça (%)	146
Quadro 22 - Boas práticas.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Licenciamento de veículos novos por tipo de combustível.....	31
Tabela 2 - Principais perdas de ART no processo produtivo (%)	83
Tabela 3 - Estatística descritiva: <i>input e outputs</i>	94
Tabela 4 - Escores médios obtidos pela análise de eficiência	109
Tabela 5 - Perda de Oportunidade – cálculo das folgas relativas à fronteira de eficiência	110
Tabela 6 - Teste de normalidade KS para as usinas de açúcar e etanol	111
Tabela 7 - Eficiência por período.....	112
Tabela 8 - Resultados da regressão truncada.....	113
Tabela 9 - Dados da variável Tempo de Entrega	116
Tabela 10 - Dados da variável Extração ART do Caldo (%).....	117
Tabela 11 - Dados da variável Perda de ART na Torta de Filtro (%)	117
Tabela 12 - Dados da variável levedo (%).....	118
Tabela 13 - Dados da variável bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / ml)	119
Tabela 14 - Dados da variável perda de álcool na vinhaça (%)	120
Tabela 15 - Dados da variável perda de álcool na flegmaça (%)	120
Tabela 16 - Comparação <i>ranking</i> Modelo <i>DEA</i> x Modelo <i>RTC</i>	121
Tabela 17 - Estimativa de perdas de açúcar e etanol	138

LISTA DE ABREVIACES

APICS	<i>American Production and Inventory Control Society</i>
AR	Açúcares Redutores
ART	Açúcares Redutores Totais
ATR	Açúcares Totais Recuperáveis
BCC	Banker; Charnes; Cooper
CCR	Charnes; Cooper; Rhodes
CONSECANA	Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e álcool do Estado de São Paulo
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
DEA	Data <i>envelopment analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Units</i>
KS	Kolmogorov-Smirnov
OCDE	Organizao para a Cooperao e Desenvolvimento Econmico
PIB	Produto Interno Bruto
Proálcool	Programa Nacional do lcool
SAPCANA	Sistema de Acompanhamento da Produo Canavieira
SFA	<i>Stochastic Frontier Approach</i>
STAB	Sociedade dos Técnicos Acareiros e Alcooleiros do Estado De São Paulo
TFA	<i>Thick Frontier Approach</i>
VRS	<i>Variable Returns To Scale</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 Relevância do tema	29
1.2 Problematização e objetivos da pesquisa	34
1.3 Justificativa	36
1.4 Contribuição original da tese	38
2 REFERENCIAL TEÓRICO	39
2.1 Eficiência, eficácia e produtividade	39
2.1.1 Eficiência nas usinas de açúcar e etanol	49
2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)	53
2.3 Processo de produção – tipologia das indústrias de açúcar e etanol	59
2.3.1 Processo industrial de produção de açúcar e etanol	62
2.3.2 Avaliação do desempenho do processo de produção de açúcar e etanol	79
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	85
3.1 Delineamento da pesquisa	85
3.2 Etapa quantitativa	90
3.3 Etapa qualitativa	99
3.3.1 Protocolo do estudo de caso	101
3.3.2 Técnicas de análise dos dados qualitativos	102
3.4 Resumo dos procedimentos metodológicos	104
4 RESULTADOS	107
4.1 Resultados da etapa quantitativa	107
4.2 Resultados da etapa qualitativa	123
4.2.1 Estudo de caso da DMU 52 e entrevista com especialistas	125
5 CONCLUSÃO	149
5.1 Limitações da pesquisa	151
5.2 Recomendação para trabalhos futuros	151
REFERÊNCIAS	153
APÊNDICE 1 – PONTOS DE CONTROLE DO PROCESSO	165
APÊNDICE 2 – ESTUDO DE CASO - PROTOCOLO DE PESQUISA	167
APÊNDICE 3 – INSTRUMENTO DE PESQUISA	169
APÊNDICE 4 – DADOS DE 33 USINAS PESQUISADAS – SAFRAS 2010 A 2015	171

APÊNDICE 5 – CÁLCULO DA INEFICIÊNCIA RELATIVA DE CADA USINA – SAFRAS 2010 A 2015.....	191
APÊNDICE 6 – COMPARAÇÃO <i>RANKING DEA</i> x <i>RTC</i>	195

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo introduzir o tema de pesquisa para a compreensão e entendimento do mesmo. Ele foi dividido em quatro seções, sendo: (1) contextualização do tema abordado; (2) problematização de pesquisa e objetivos; (3) justificativa da pesquisa; e (4) contribuição da tese.

1.1 Relevância do tema

O Brasil ocupa atualmente uma posição de destaque tecnológico e produtivo em relação à produção de biocombustíveis, contribuindo para a emergente economia de baixo carbono e da crescente demanda mundial por fontes alternativas e renováveis de energia, principalmente com a industrialização da cultura da cana-de-açúcar (GILIO, 2015).

Desde o século XVI até a presente data, a indústria da cana tem sido um importante componente do crescimento da economia brasileira. O primeiro produto agrícola brasileiro exportado para a Europa em larga escala foi o açúcar, sendo este um importante veículo de integração do país no comércio internacional. Atualmente, o Brasil é considerado o maior produtor de cana e açúcar do mundo, e o segundo maior produtor de etanol, perdendo apenas para os Estados Unidos da América.

Para Martinelli *et. al.* (2011), a produção de açúcar e etanol no país é considerada um fator-chave na estratégia de desenvolvimento rural e energético. Na mesma linha de pensamento, Bragato *et. al.* (2008) afirmam que o setor sucroenergético tem uma grande contribuição ao desenvolvimento do país, tanto do ponto de vista social quanto do ponto de vista econômico.

O setor sucroenergético brasileiro é bastante amplo, compreendendo a totalidade das atividades agrícolas e industriais responsáveis pela produção de bioenergia, açúcar, bioetanol e derivados decorrentes, basicamente, da industrialização da cana-de-açúcar. O setor pode ser considerado uma estratégia sustentável de desenvolvimento econômico e social, que apresenta resultados comprovados de redução de pobreza e da miséria, colaborando para o desenvolvimento das regiões onde se instalou (NASTARI, 2012).

Outra importante contribuição do setor sucroenergético para a economia brasileira atual é referente à produção de energia renovável. Na matriz energética

primária do Brasil, a energia renovável participa com uma importante parcela de 46,9% comparada com 6,1% que os países participantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) consomem, e ainda, é maior que a parcela de energia renovável consumida no mundo (13,2%). Do total de 46,9% da energia consumida brasileira, 18,8% é derivada da cana-de-açúcar, seguida por 13,9% de energia hidrelétrica e 10,2% de carvão (KHATIWADA *et. al.*, 2012).

Conforme observado em Neves *et. al.* (2016), a cadeia produtiva do setor de açúcar e etanol é de grande importância para o desenvolvimento do país, chegando a representar quase 2% do PIB, gerando na safra de 2014/2015, cerca de 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos (MORAES; BACCHI, 2015).

O Brasil possui um grande número de usinas de açúcar e etanol. Segundo o Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SAPCANA, 2017), em julho de 2016, o país possuía um total de 374 usinas de açúcar e etanol instaladas, sendo 16 produtoras somente de açúcar, 123 somente de etanol e 235 de produção mista.

Nos últimos 20 anos, a produção brasileira no setor teve um grande crescimento devido ao aumento da demanda de açúcar e etanol, crescimento este comparado ao apresentado nos anos de 1980 a partir da implantação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Este programa foi instituído em 1975 visando gerar uma alternativa de combustível ao crescente preço do petróleo, terminando em 1999 devido, principalmente, à liberalização dos preços dos combustíveis, ao aumento da eficiência e ao ganho de competitividade das usinas de açúcar e etanol (XAVIER, 2014).

A partir do ano de 2003, tem início um segundo ciclo de crescimento do setor sucroenergético do Brasil, dado principalmente pela entrada do carro *flex-fuel*, que permitiu que o consumidor optasse pelo uso da gasolina ou do etanol, ou pela mistura de ambos, refletindo em um aumento crescente das vendas desse tipo de veículo, conforme pode ser visto na Tabela 1, que mostra o emplacamento de carros movidos somente à gasolina e dos carros *flex-fuel*. Shikida (1998) e Moraes e Bacchi (2015) dividem o crescimento do setor em três fases: adormecido (1996-2002), Revolução *flex* (2003-2008) e Incerteza/estagnação (2009-2013), que podem ser vistas no Gráfico 1, que mostra o crescimento da produção de etanol no Brasil.

Gráfico 1 - Produção de etanol no Brasil

Fonte: UNICA (2017).

Tabela 1 - Licenciamento de veículos novos por tipo de combustível

Para o ano de 2017 valores atualizados até o mês 06

ANO	ELÉTRICO	ETANOL	FLEX	GASOLINA	TOTAL
2003		0.000	48.178	1.152.463	1.200.641
2004		0.000	328.379	1.077.945	1.406.324
2005		32.357	812.104	697.004	1.541.465
2006		1.863	1.430.334	316.561	1.748.758
2007		107	2.003.090	245.660	2.248.857
2008		84	2.329.247	217.021	2.546.352
2009		70	2.652.298	221.709	2.874.077
2010		50	2.876.173	280.704	3.156.927
2011		51	2.848.071	376.998	3.225.120
2012	117	52	3.162.874	273.913	3.436.956
2013	491	0	3.169.111	189.112	3.358.714
2014	855	0	2.940.508	184.840	3.126.203
2015	845	0	2.194.020	136.059	2.330.924
2016	1.091	0	1.750.750	80.493	1.832.334
2017	1.184	0	881.523	31.720	914.427

Nota: ciclo Otto não inclui veículos movidos a diesel.

Fonte: UNICA (2017).

Esse crescimento perdurou até o ano de 2008 e fez com que a atividade canavieira se expandisse para regiões não tradicionais, o que auxiliou o desenvolvimento econômico e social dessas respectivas regiões.

A partir de 2008, o setor sucroenergético começa a enfrentar dificuldades e desafios conjunturais para seu crescimento e consequente ganho de competitividade. Desde a crise financeira mundial em 2008, o setor tem convivido com baixo nível de investimentos, o que, juntamente com baixos níveis de rentabilidade, tem apresentado uma fase de incerteza e estagnação, culminando com uma retração da produção nas últimas safras, inclusive com o fechamento de várias plantas industriais (XAVIER, 2012).

A crise do setor é explicada e estudada na literatura por diversos autores, como Manoel *et. al.* (2016), Santos (2016), Neves *et. al.* (2016), Moraes e Bacchi (2015), Nastacy (2014), Xavier (2014), Nascimento (2014) e Xavier (2012), Milanez *et. al.* (2012) e Torquato; Bini (2009). Os motivos dessa crise podem ser divididos em financeiros, agronômicos, mercado e gestão.

Conforme os autores citados, do ponto de vista financeiro, os problemas iniciaram com a crise mundial de 2008, com a falta de crédito, com a queda no preço dos ativos e com o aumento de fusões e aquisições. Como consequência, obteve-se aumento da concentração do setor, aumento dos custos de produção e alto endividamento das usinas, o que pode ser visto no gráfico 2.

Gráfico 2 - Evolução do endividamento, fusões e aquisições do setor sucroenergético

Fonte: Santos (2016).

Do ponto de vista de mercado, pode-se citar a oscilação dos preços do açúcar e etanol, a política nacional de preços de combustível e o percentual de etanol na gasolina como sendo os principais fatores; já do ponto de vista agrônomo, tem-se os problemas climáticos, a necessidade de renovação dos canaviais e a mecanização da colheita, o que fomenta a compactação do solo e a diminuição da produtividade na produção de etanol.

Os problemas de gestão podem ser vistos em estudo de mapeamento da cadeia produtiva do setor sucroenergético por Neves e Trombini (2014), que classificaram os problemas do setor como sendo de ordem pública e privada. Segundo os autores, os principais problemas de ordem privada, ligados à área industrial, são:

- o apego ao tradicionalismo, dificultando a absorção de novas tecnologias;
- baixa governança nas relações entre o setor industrial e os produtores integrados com vistas ao alcance de vantagens em custo, qualidade e agilidade;
- falta de comprometimento e alta rotatividade anual de trabalhadores, elevado custo de mão de obra;
- baixo nível de compartilhamento de ativos produtivos e dificuldade na redução de custos com a otimização deles;

- produtividade suscetível às variações climáticas, que vêm se mostrando menos favoráveis;
- baixo compartilhamento entre as usinas de informações relativas às boas práticas de gestão;
- uso de métodos padronizados que desconsidera diferenças regionais entre usinas de um mesmo grupo, reduzindo a eficiência da operação;
- desperdícios com gastos em transporte por falta de integração entre as usinas, que oneram o custo da matéria-prima pelas longas distâncias transportadas;
- gestão deficiente da informação gerada no setor produtivo;
- pouca flexibilidade para direcionar a fabricação do produto que apresentar melhor rentabilidade na safra;
- aumento dos custos de manutenção e da capacidade de produção ociosa.

Em virtude desses problemas e da complexidade da cadeia produtiva do setor sucroenergético, torna-se importante aprofundar estudos a jusante ou a montante da indústria, principalmente ligados a temas como mudanças na regulação, tributação, expansão do uso da eletricidade produzida pela biomassa, bem como o aumento de ganhos de eficiência na indústria e agricultura, significando ganhos de competitividade para todo o setor.

Como se pode observar, existem diversos desafios para que o setor sucroenergético brasileiro volte a ser competitivo. Ademais, em períodos de crise, como a que o setor enfrenta agora, existe a escassez de recursos financeiros. Portanto, saber onde investir para melhorar a eficiência é determinante para a sobrevivência e competitividade das usinas de açúcar e etanol.

1.2 Problemática e objetivos da pesquisa

Apesar de a crise do setor, iniciada em 2008, ainda apresentar reflexos, é pertinente considerar a necessidade atual de ganhos de produtividade das áreas agrícolas e industrial, o que implica um aumento da competitividade do etanol e do açúcar brasileiro. Conforme observa Moraes e Bacchi (2015), o aumento da produção de etanol por hectare de cana plantada pode ser essencial para a manutenção e

sustentabilidade dos programas de substituição de combustíveis fósseis por renováveis. Outrossim, conforme o referido autor, o comportamento das unidades de produção de açúcar e etanol tem sido diferente na crise pelo qual o setor está passando. Estudos mostram que uma grande quantidade de usinas tem superado ou convivido com os problemas setoriais mantendo-se viáveis ao menos, a médio prazo, e esse fato mostra que existem atrasos a serem saneados de várias ordens.

Sob o ponto de vista da produção industrial, pode-se afirmar que existe uma variação da eficiência e da produtividade entre as usinas de açúcar e etanol. Alega-se, ainda, que a busca da compreensão dos motivos dessas diferenças pode colaborar para o aumento da competitividade do setor e para a consequente melhoria de performance técnica e econômica.

Para se conhecer o comportamento e a eficiência do processo produtivo de uma usina de açúcar e etanol, foram analisados 168 pontos de controle do processo produtivo. Trata-se de uma questão complexa, pois, para manter o processo sob controle, é feita, diariamente, uma grande quantidade de análises laboratoriais nas diversas etapas da produção. Tais investigações resultam em dados como volumes, temperaturas e massas que, apesar de serem suscetíveis a erros de medição, precisam ser analisados sob a ótica de uma perspectiva sistêmica.

Em razão dessa complexidade, faz-se necessário um estudo aprofundado para identificar as usinas mais e menos eficientes de uma determinada amostra, entender seus processos e pontos de controles da operação, relacionando estes fatores com a eficiência técnica e identificando as boas práticas operacionais que possam contribuir para um incremento da eficiência técnica.

Para a realização desta tese, buscou-se estudar os dados de produção de 33 usinas de açúcar e etanol e as 168 variáveis de processo a fim de responder ao seguinte problema de pesquisa: Quais as boas práticas de operação que podem colaborar para a eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol?

A busca de respostas para essa pergunta de pesquisa fez com que se optasse por uma abordagem mista de pesquisa, utilizando-se a técnica de triangulação, por meio da análise dos dados teóricos, empíricos quantitativos e qualitativos.

Na fase quantitativa, foi utilizada a técnica *Data Envelopment Analysis (DEA)*, desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e apresentada como uma ferramenta para medir a eficiência e a produtividade das unidades de tomada de decisão. A técnica foi utilizada para criar um *ranking* de eficiência das usinas

pesquisadas e, posteriormente, verificar, por intermédio de análise de regressão truncada, a relação entre as variáveis de processo e a eficiência operacional.

Como a fase quantitativa não explica o porquê das diferenças de eficiência, foi realizada uma pesquisa qualitativa, que teve como objetivo “abrir a caixa preta” do processo. Para isso, foi realizado um estudo de caso em uma usina mais eficiente e foi feita uma entrevista com dois especialistas em processo de produção de açúcar e etanol, a fim de compreender os processos produtivos relacionados às variáveis de processo encontradas na fase quantitativa. Deste modo, buscou-se identificar, na fase qualitativa, quais as boas práticas operacionais que podem explicar as diferenças de performance entre as usinas.

Assim, **o objetivo desta tese é o de propor boas práticas de operação que colaborem para a eficiência de usinas de açúcar e etanol.** Para tal, foram estabelecidos quatro objetivos específicos, a saber:

- Definir o conceito de eficiência para as usinas de açúcar e etanol;
- Criar um *ranking* de eficiência entre as usinas pesquisadas nas safras 2010/2011 a 2014/2015;
- Identificar as variáveis de processo que mais influenciam a eficiência das usinas;
- Realizar estudo de caso em usina eficiente e uma entrevista com dois especialistas em processos de produção de açúcar e etanol para compreender, em profundidade, os processos produtivos envolvidos.

1.3 Justificativa

A eficiência industrial é o principal indicador de desempenho de uma usina de açúcar e etanol. Ela pode ser traduzida como sendo a porcentagem dos açúcares da cana que são recuperados e transformados em açúcar, etanol e em outros produtos (FERNANDES, 2011).

Para Torquato, Martins e Ramos (2009), as unidades produtivas do setor sucroenergético precisam incrementar sua eficiência em relação ao uso dos insumos empregados, dado o crescente aumento da concorrência e da otimização da produtividade como fatores essenciais à sobrevivência.

Segundo Santos (2016), a eficiência industrial também reflete a queda de produtividade do setor agrícola, possuindo como indicador mais importante a

transformação do ATR em produtos finais, como etanol e açúcar. Além disso, existem diferenças de eficiência entre as usinas de açúcar e etanol; há plantas industriais que produzem em média 5,5 mil litros de etanol/ha, enquanto outras produzem 9 mil l/ha de etanol.

O gráfico 3 ilustra a queda do rendimento da produção de ATR e a consequente queda da produção de etanol.

Para Salgado Junior, Bonacim e Pacagnella Junior (2009), a determinação da eficiência ou ineficiência de uma organização e a identificação dos motivos de seu desempenho contribuem, significativamente, para a definição de estratégias para o setor.

Gráfico 3 - Rendimento da produção de etanol e de ATR durante a expansão e a atual crise (2002-2013) - (Em l/ha e kg/ha)

Fonte: Santos (2016).

Em recente relatório sobre a safra 2016/2017, a União da Indústria de Cana-de-açúcar (Unica) apresentou preocupantes dados quanto à produtividade agrícola. Em uma amostra de 155 empresas, foi estimada uma queda de 15,06% em relação ao índice apurado no mesmo mês de 2015 e, de 9,56% quando comparado ao mês de setembro de 2016. Por outro lado, a quantidade de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) apresentou ligeiro crescimento: de 133,69 kg por tonelada, em 2015, saltou para 134,10 kg por tonelada (UNICA, 2016).

Assim, dada a importância do aumento da eficiência e da produtividade para o setor de açúcar e etanol, conhecer os pontos de controle mais relevantes para o processo de produção de açúcar e etanol e a proposição de boas práticas de operação podem contribuir para o aumento da eficiência técnica, auxiliando na recuperação da rentabilidade e desempenho do setor.

Não existem muitos trabalhos que analisam a eficiência industrial das usinas de açúcar e etanol, o que pode ser visto no capítulo 2, o qual discorre sobre os conceitos de eficiência e a eficácia nas usinas. Desta forma, este trabalho se propõe a melhorar o entendimento sobre a eficiência operacional na busca de melhorias para o setor sucroenergético.

1.4 Contribuição original da tese

A principal contribuição desta tese é a proposição de boas práticas de operação que podem contribuir para o aumento da eficiência técnica de uma usina de açúcar e etanol.

Outras contribuições para o setor sucroenergético foram a elaboração de uma nova metodologia para a medida da eficiência das usinas, a verificação dos principais pontos de controle do processo produtivo e a mensuração das perdas de eficiência e possibilidades de ganho que as usinas podem ter, caso venham a adotar as boas práticas de operação.

Assim, através dessas contribuições, espera-se auxiliar na redução de perdas e melhorar o monitoramento e controle dos processos das unidades industriais, resultando na melhoria da competitividade do setor e ajudando a gestão industrial a aumentar a eficiência das usinas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda as áreas relevantes ao estudo da eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol.

2.1 Eficiência, eficácia e produtividade

O crescimento da produtividade é um dos principais determinantes da competitividade e rentabilidade de uma empresa. Um maior nível de crescimento da produtividade pode resultar em menor preço dos produtos, em melhores remunerações e condições de trabalho para os funcionários, em melhores retornos aos investidores e excedente financeiro adequado para a empresa com fins a uma expansão e modernização da planta. Mudanças tecnológicas e mudanças na eficiência técnica são duas fontes de produtividade e crescimento. Assim, um estudo dessas fontes torna-se importante para identificar os fatores que são responsáveis pela estagnação da produtividade e para a adoção de medidas adequadas pelas organizações e governos para melhorar a produtividade.

Conforme Pereira e Silveira (2016), a análise da eficiência “[...] é uma medida tradicional e amplamente utilizada em diversos setores da economia para comparar a relação entre o uso de insumos e produtos obtidos por unidades produtivas [...]” (PEREIRA; SILVEIRA, 2016, p.2)

A eficiência pode ser definida tanto para um único processo de produção como para um sistema industrial composto por vários processos de produção. Em ambos os casos, a eficiência técnica da produção aborda como o processo/sistema transforma as entradas em saídas (FRACCASCIA; ALBINO; GARAVELLI, 2017).

Eficiência e eficácia são dois conceitos bem conhecidos para medir o desempenho das organizações (MOUZAS, 2006). Por meio da combinação desses dois conceitos, é possível avaliar o desempenho de uma determinada empresa.

A eficiência é, muitas vezes, associada ao desempenho de atividades tão bem quanto possível, ou seja “fazer certo as coisas”, enquanto que a eficácia associa o desempenho à seleção correta das atividades, isto é, “fazer as coisas certas” (DRUCKER, 1981; ASMILD *et. al.*, 2007).

Eficiência é a capacidade de uma organização para produzir o máximo de saídas com entradas mínimas. Isso posto, é um indicador de excelência operacional

na utilização de recursos (KEH; CHU; XU, 2006). Os autores enfatizam que a eficácia avalia a capacidade de uma organização para atingir seus objetivos predeterminados. Os referidos autores também salientam que a consideração concomitante dessas duas medidas significativas é fundamental a fim de se ter uma abrangente percepção do desempenho organizacional.

Para Slack, Chambers e Johnston (2009), o sucesso das operações está em manter seus custos baixos, mas compatíveis com a qualidade, com a velocidade, com a confiabilidade e com a flexibilidade desejada. Uma medida desse sucesso é a produtividade, definida como a razão entre o *output* agregado e o *input* agregado. Gaither e Frazier (2001) afirmam que a produtividade de um recurso é a quantidade de produtos ou serviços produzidos em um intervalo de tempo dividido pela quantidade necessária desse recurso. Os autores aduzem também que a produtividade de cada recurso pode e deve ser medida para que a gerência possa entender a tendência e, assim, tomar decisões.

Da mesma forma, Chase, Aquilano e Jacobs (2006) definem produtividade como uma relação entre saídas e entradas de um sistema, sendo o indicador de produtividade fundamental para o entendimento do desempenho relacionado à produção. Além disso, produtividade é uma medida relativa que, para ser significativa, precisa ser comparada a algum outro elemento.

Para ilustrar a diferença entre os conceitos de eficiência e produtividade, Ferreira e Gomes (2009), utilizando a teoria da produção microeconômica para um insumo e um produto, demonstram, graficamente, os conceitos de eficiência e produtividade, conforme pode ser visto na figura 1. Assim, dada uma função de produção $Q_y = f_y(X_i)$, temos que os pontos C e B sobre a função são tecnicamente eficientes, pois referem-se às produções máximas da função, obtidos com o uso do insumo X_i . O ponto C possui produtividade maior que B, visto que, no ponto B, a função de produção requer mais insumos para produzir do que no ponto C.

Figura 1 - Função de Produção: produtividade e eficiência

Fonte: baseado em Ferreira e Gomes (2009).

Tradicionalmente, a elevação do nível de tecnologia é considerada a forma mais eficaz para melhorar a produtividade e a eficiência. Entretanto, sem o apoio de sistemas de gestão, a contribuição da tecnologia para a produtividade é limitada. Em uma dada combinação dos níveis de tecnologia e gestão, uma empresa pode não ser capaz de atingir a produtividade máxima esperada devido a uma utilização ineficiente dos insumos. Para melhorar a produtividade, pode-se recorrer a duas abordagens: a abordagem da eficiência e a abordagem da eficácia. A primeira delas afirma que, para melhorar a produtividade, sem o consumo de recursos extras, é necessário utilizar de forma eficiente os fatores de entrada. Em contrapartida, a abordagem da eficácia prega que é necessário ajustar os níveis de tecnologia e gestão para uma melhor combinação, visando alcançar a mais alta produtividade (KAO *et. al.*, 1995).

Para kao *et. al.* (1995), além da tecnologia, existem também outros meios para melhoria da produtividade relacionados à gestão como a reorganização dos recursos, a gestão eficaz dos recursos humanos, a melhoria da qualidade do trabalho e a redução da quantidade de manutenção necessária. No mesmo sentido, Lieberman, Lau e Williams (1990) concluíram que os efeitos da gestão têm uma forte influência sobre a produtividade e têm evoluído para serem a principal fonte de diferenças de produtividade entre organizações quando da comparação da produtividade das empresas automobilísticas americanas com as japonesas.

Segundo Ferreira e Gomes (2009), uma das principais contribuições para a conceituação da eficiência foi a Lei de Pareto, desenvolvida por Vilfredo Pareto,

sociólogo, economista e engenheiro. A eficiência nas trocas de mercadorias e serviços, conforme Pareto, pode ser descrita como: “uma alocação tem eficiência de Pareto quando não pode ser realocada para tornar maior o bem estar de uma pessoa, sem que haja diminuição do bem estar da outra” (FERREIRA; GOMES, 2009, p.61).

O conceito de eficiência retoma a condição de equilíbrio na qual há a maximização da capacidade econômica sem o prejuízo de outros fatores. Essa eficiência poderia ser calculada por meio de expressões matemáticas e comparar o nível de eficiência de um sistema econômico através da eficiência de produção (capacidade de maximizar a produção sem alterar a produção dos demais produtos), eficiência de trocas (capacidade de distribuir os produtos da melhor forma possível) e eficiência na cesta de produtos (capacidade de produção de a economia atender às preferências dos indivíduos econômicos) (PARETO, 1897).

Para Xavier (2014), a eficiência é um importante conceito da teoria neoclássica, a qual pode ser analisada de diferentes formas. Para uma organização, seu estudo é de grande relevância para a determinação de viabilidade, uma vez que se relaciona ao problema de alocação ideal de recursos.

Lovell *et al.* (1994) afirma que eficiência se refere à proficiência na qual as entradas para o processo de produção são convertidas em saídas do processo, referindo-se à eficiência técnica. A eficiência também pode ser a proficiência com que os produtores alcançam seus objetivos econômicos como, por exemplo, a produção a um mínimo custo, geração de receita máxima ou maximização do lucro. Nesse caso, a eficiência é chamada de eficiência econômica.

Para Ferreira e Gomes (2009), eficácia está relacionada ao cumprimento dos objetivos, sem levar em consideração os recursos utilizados, e a produtividade está relacionada à forma de utilização dos recursos para se realizar a produção, empregando os insumos da melhor forma possível.

Carlucci (2012) apresenta um levantamento com os principais conceitos de eficiência, conforme pode ser visto no quadro 1.

Caceres (2004) afirma que, em um ambiente competitivo, espera-se que organizações ineficientes sejam retiradas do mercado e substituídas por outras mais eficientes, fazendo com que, a longo prazo, apenas as mais eficientes sobrevivam. Portanto, para o tomador de decisão, é importante saber o nível de eficiência relativa de sua organização em relação a outras no mercado, bem como a fronteira de possibilidades de produção.

Quadro 1 - Definições de eficiência

Autor (ano)	Definição de eficiência
Farrell (1957)	Eficiência técnica é a capacidade da firma em obter o máximo de produto a quantidade de fatores disponível; e eficiência alocativa é descrita de acordo com uma determinada tecnologia e preços, a capacidade da firma utilizar os fatores de produção em proporção ótima, que minimize os custos de produção.
Ferreira (1997)	A eficiência está associada à melhor forma de fazer a coisa certa.
Tupy <i>et. al.</i> (1998)	A eficiência de uma firma (ou unidade produtiva) é medida pela comparação entre valores observados e valores ótimos de insumos e produtos.
Bezerra Filho (2002)	O resultado obtido a partir da relação existente entre o volume de bens ou serviços produzidos (<i>outputs</i>) e o volume de recursos consumidos (<i>inputs</i>), visando alcançar o melhor desempenho na operacionalidade das ações de competência de uma organização.
Souza (2003)	A eficiência técnica refere-se à proficiência com que os insumos utilizados no processo de produção são convertidos em produtos.
Alves (2007)	Eficiência se refere à menor relação custo/benefício possível para alcançar os objetivos propostos de maneira competente, segundo as normas preestabelecidas, podendo, assim, ser traduzida sob a forma de indicadores de produtividade das ações desenvolvidas.
Oliveira (2007)	Fazer as coisas de maneira adequada; resolver problemas; salvaguardar os recursos aplicados; cumprir seu dever e reduzir os custos.

Fonte: Carlucci (2012).

Falsarella Junior (2014) exalta a importância da análise da eficiência para a tomada de decisões com o intuito de melhorar o processo produtivo, citando como principais benefícios deste estudo:

- melhoria das taxas marginais de substituição entre os fatores de produção;
- possibilidade de ganho na utilização dos recursos;
- identificação de unidades operacionais modelos, a serem usadas para emular um melhor desempenho das unidades ineficientes;
- tamanho operacional mais produtivo;
- análise da variação de produtividade das unidades operacionais ao longo do tempo;
- identificação das melhores práticas operacionais.

Um dos precursores do estudo do conceito de eficiência foi Farrell, em 1957, o qual utilizou os conceitos de análise de atividades desenvolvidos por Debreu e Koopmans a fim de determinar uma medida única de eficiência que levasse em consideração múltiplos insumos para a mensuração da eficiência. Para o autor em questão, as maneiras de se avaliar a produtividade resultavam em medidas cuidadosas, porém restritivas, por não combinarem medidas de múltiplos insumos para criarem um indicador único de eficiência (FERREIRA; GOMES 2009).

Farrell (1957) propôs uma mensuração de eficiência em que cada unidade de produção é comparada às outras unidades de um conjunto, sendo, portanto, uma eficiência relativa.

Dessa maneira, a eficiência de cada unidade de produção corresponde a uma proporção em relação àquelas unidades consideradas eficientes (Xavier, 2014).

Consoante Battese e Coelli (1988), Farrell dividiu o conceito de eficiência de uma organização em dois componentes: a eficiência técnica e a eficiência de preço, sendo esta última também chamada de eficiência econômica ou eficiência alocativa. A primeira reflete a habilidade de uma firma em obter a máxima produção a partir de um conjunto de insumos; já a segunda reflete a habilidade de uma firma utilizar os insumos em proporções ótimas, dados seus respectivos preços, minimizando os custos. A combinação de ambas as eficiências produz uma medida final de eficiência econômica total.

Assim, podemos definir eficiência técnica e eficiência econômica (ou alocativa) como:

- Eficiência técnica – um processo produtivo é tecnicamente eficiente se utiliza menos insumos para um mesmo nível de produção que outros processos, ou a menor quantidade de um insumo com os demais permanecendo no mesmo nível utilizado pela concorrência. Essa eficiência pode ser demonstrada por meio da relação matemática entre as funções maximizar os dados de saída, *outputs*, e minimizar os dados de entrada, *inputs*, tal como a equação.

$$EFICIÊNCIA = f(\max) \text{ Dados Produzidos} / f(\min) \text{ Insumos Utilizados}$$

- Eficiência econômica ou alocativa – um processo produtivo é economicamente eficiente se produz a mesma quantidade que os outros processos com o menor custo possível.

As medidas de eficiência podem possuir duas formas distintas: orientação insumos e orientação produto. A primeira se fundamenta na redução de insumos, e a segunda, no aumento do produto. Xavier (2014) afirma que a medição de eficiência proposta por Farrell é a abordagem atualmente definida pela literatura como orientação a insumo, em que a avaliação de eficiência é feita pela análise de mínimo uso de insumos mantendo-se a produção fixa.

Outra abordagem de eficiência também pode ser definida pela orientação-produção, sendo conceituada como a busca da máxima produção para uma quantidade fixa de insumos (COELLI, 1995).

A figura 2 representa a visão teórica de Farrell (1957) para o conceito de eficiência técnica por meio de uma isoquanta com rendimento constante de escala, assumindo-se a hipótese de que a função de produção e suas isoquantas são conhecidas. Sendo x e y variáveis que representam a quantidade de dois insumos usados para produção de uma unidade de produto, a isoquanta SS' representa as várias combinações que uma firma perfeitamente eficiente utiliza para produzir um determinado produto. Os pontos P e Q representam duas firmas que utilizam quantidades iguais de insumos para a produção de um mesmo produto. Deste modo, apenas Q possui um nível de eficiência técnica por estar sob a curva SS' , enquanto a firma do ponto P utiliza mais insumos para a produção da mesma quantidade de produto, sendo, então, considerada ineficiente.

A eficiência técnica orientada a insumo pode, assim, ser definida como a razão entre o consumo da empresa eficiente e a empresa não eficiente, ou seja, OQ/OP .

Semelhante à eficiência técnica, Farrell (1957) demonstra a eficiência de preço ou alocativa orientada a insumo. Sabendo-se a razão entre os preços dos insumos, representada pela reta isocusto AA' , pode-se calcular a eficiência de preço pela relação OR/OQ . Assim, a eficiência total econômica orientada a insumo pode ser calculada pelo produto das eficiências técnicas e de preço, que é dada pela relação OR/OP . Ademais, em todos os três tipos de eficiência orientada a insumo, o valor varia de zero a um. Da mesma forma, o autor, através de uma isoquanta poliangular unitária côncava, com rendimentos de escala constante, demonstra as medidas de eficiência

técnica, alocativa e econômica total orientadas a produto, com vistas a determinar em quanto podem ser aumentadas proporcionalmente as quantidades de produtos sem, contudo, mudar as quantidades utilizadas de insumos (FERREIRA ; GOMES 2009).

Figura 2 - Farrell – conceito de eficiência

Fonte: baseado em Farrell (1957).

Para Carlucci (2012), a eficiência orientada a produto, a *output*, representa a capacidade de aumentar a produção sem aumentar a quantidade de insumos, enquanto que a orientada a insumos, a *input*, representa a capacidade de variar a quantidade de insumos sem aumentar a quantidade de produtos produzidos.

Para Farrell (1957), quando consideramos a deseconomia de escala, em um caso simples de um *input* e um *output*, a função produção é convexa, o que não acontece quando há economia de escala, sendo este caso bem mais complexo de se analisar. As figuras 3 e 4 ilustram esse fato. Nelas, pode-se observar uma fronteira de eficiência em que, na economia de escala, o aumento relativo menor de *inputs* leva a um aumento maior na quantidade de *outputs* e, na deseconomia de escala, um crescimento relativo maior de *input* acarreta um aumento relativo menor no eixo de *output*.

Figura 3 - Deseconomia de escala

Fonte: Farrell (1957).

Figura 4 - Economia de escala

Fonte: Farrell (1957).

De acordo ainda com Farrell (1957), uma organização deve conhecer o comportamento dos pontos de ineficiência, pois a existência de uma economia ou de uma deseconomia de escala irá refletir nos resultados obtidos. Tais fatores são relevantes, inclusive, para a capacidade de a organização realizar previsões futuras, que, de acordo com a sua escala, podem ser superestimadas ou subestimadas.

Para Xavier (2014), a mensuração da eficiência técnica transformou-se em um procedimento computacional no qual se verificavam quais pontos constituíam a isoquanta e qual par de pontos definiria o seguimento de reta sobre o qual cada ponto não eficiente definiria sua projeção em relação ao ponto de origem O. Sendo assim, a eficiência técnica é estimada como o máximo valor da relação entre a distância geométrica e o ponto de projeção de um ponto ineficiente na isoquanta e o ponto de origem e a distância entre esse próprio ponto e a origem. Outros estudos de Farrell e

Fieldhouse (1962) generalizaram o método para o cálculo de eficiência em casos de funções de produção com retornos crescentes à escala.

Os estudos de Farrell sobre medida de eficiência inspiraram muitos trabalhos acerca do tema. Forsund e Hjalmarsson (1979), em seu trabalho de medição de eficiência técnica e eficiência de escala para múltiplos produtos e insumos, aprofundaram as medidas de eficiência propostas por Farrell dando origem ao conceito de eficiência de escala ao formalizar, de forma completa, os procedimentos de cálculo da medida de eficiência para retornos variáveis de escala.

De acordo com Forsund e Hjalmarsson (1979), três tipos de medidas de eficiência são normalmente identificados em uma determinada planta, indústria ou setor: eficiência técnica, eficiência de escala e eficiência alocativa ou de preço. Para a indústria como um todo, diferentes medidas de eficiência estrutural também são construídas e calculadas.

Ainda, na concepção de Forsund e Hjalmarsson (1974), duas medidas diferentes de eficiência técnica denotadas por E1 e E2 podem ser definidas quando permitidas funções homogêneas de produção. Tais medidas são ilustradas nas figuras 5 e 6. A medida E1 é obtida através da comparação de um ponto observado de entrada e requisitos de saída (V^0, x^0) , com os requisitos de entrada na função de fronteira de produção correspondente ao produto observado. A outra medida, E2, é obtida comparando-se um ponto observado de requisitos de entrada e de saída (V^0, x^0) com a saída obtida na função de fronteira de produção para os mesmos valores de entrada. Essa medida mostra a relação entre a saída observada e o potencial de saída obtidos, empregando-se a quantidade observada de entradas na função de fronteira.

Figura 5 - Diferentes medidas de eficiência técnica em uma seção da função produção

Fonte: Forsund e Hjalmarsson (1974).

Figura 6 - Diferentes medidas de eficiência técnica na fronteira de eficiência

Fonte: Forsund e Hjalmarsson (1974).

2.1.1 Eficiência nas usinas de açúcar e etanol

Ao se pesquisar trabalhos publicados sobre o setor sucroenergético, principalmente no Brasil, na África do Sul e na Austrália, encontram-se muitos trabalhos abordando questões relativas à estrutura e crescimento do setor, à cadeia produtiva, à tecnologia, à empregabilidade e aos ganhos de produtividade na atividade agrícola. Foram pesquisados trabalhos no banco de teses da USP, na *Web of Science*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*, utilizando as palavras de busca *DEA*, *Network DEA*, *DEA Sugar Cane*, *DEA Sugar Cane efficiency*, *Productive Efficiency*, *Sugar Cane Mills*, *Sugar Cane Extraction process*, *Sugar Cane good manufacturing practices*, Eficiência Industrial, Eficiência de Usinas de Açúcar e etanol e Boas práticas de fabricação/produção de açúcar e etanol. Porém, são poucos os trabalhos que analisam a produtividade e eficiência técnica da indústria de açúcar e etanol. Não foram encontrados artigos sobre boas práticas de produção/manufatura de açúcar e etanol.

O Quadro 2 mostra os trabalhos encontrados a partir de 1995 nas bases de dados utilizadas e disponibilizadas pela Universidade Estadual de São Paulo (USP), voltados para a análise da eficiência industrial das usinas de açúcar e etanol.

Quadro 2 - Trabalhos publicados: eficiência de usinas de açúcar e etanol

Ano	Autor	Nome Do Trabalho	Tipo
995	Ferrantino, M.J.; Ferrier, G. D.; Linvill, C. B.	Organizational form and efficiency: evidence from Indian sugar manufacturing	Artigo
2006	Singh, S.P ; Agarwal, S.	Total factor productivity growth, technical progress and efficiency change in sugar industry of Uttar Pradesh	Artigo
2007	Dalbem, José Antonio	Análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos de usinas de açúcar e álcool	Tese
2009	Richardk, P.R.K.; Fretes, Nickolas F., Sesmero J. P.	Efficiency in Midwest US corn ethanol plants: a plant survey	Artigo
2009	Padilla-Fernandez, M. D.; Nuthall, P. L.	Technical efficiency in the production of sugar cane in Central Negros area, Philippines: an application of data envelopment analysis	Artigo
2011	Salgado Junior, A.P.; Bonacim, C. A. G.; Pacagnella Junior, A.C.	Aplicação da análise envoltória de dados (<i>DEA</i>) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de São Paulo	Artigo
2012	Kumar, S.; Arora, N.	Evaluation of technical efficiency in Indian sugar industry: an application of full cumulative data envelopment analysis	Artigo
2012	Pereira, C. N._M	Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana de açúcar na região centro sul do Brasil com <i>DEA</i>	Tese
2012	Brunozi Júnior, A. C. et al.	Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana de açúcar do estado de São Paulo	Artigo
2012	Carlucci, F.V.	Aplicação da análise envoltória de dados (<i>DEA</i>) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência técnica de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil	Tese
2013	Salgado Junior, A. P.; Carlucci, F.V.; Grespan, C. A.	Investment potential for new sugarcane plants in Brazil based on assessment of operational efficiency.	Artigo
2014	Xavier, C.E.O.	Análise da eficiência do setor sucroenergético brasileiro.	Tese
2016	Pereira, C. N. E.; Silveira M. F. J.	Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil.	Artigo

Fonte: elaborado pelo autor.

Ferrantino, Ferrier e Linvill (1995) abordaram as fronteiras das funções de custo e produção para examinar os efeitos de propriedade sobre diferenças intra-organizacionais em relação à eficiência técnica e à eficiência alocativa na indústria de transformação de açúcar indiano. O autor concluiu que a forma organizacional cooperativa é tão ou mais eficiente do que os seus homólogos. Os resultados sugerem que as economias técnicas e a coordenação da integração vertical oferecem vantagens importantes para a forma cooperativa de organização. Para cálculo da eficiência, foi utilizado o modelo *DEABCC* com orientação a *output*.

Singh e Agarwal (2006) utilizaram a técnica *DEA-SBM* painel para analisar os dados de 36 usinas nos períodos de 1996/1997 a 2002/2003. Na análise, foi constatado um crescimento da produtividade total dos fatores de 1,6% ao ano devido, principalmente, às mudanças técnicas em relação à eficiência técnica. Da mesma forma, Pereira (2012) e Pereira e Silveira (2016) analisaram a produtividade total dos fatores (PTF) e seus componentes em 17 usinas da região Centro-Sul do Brasil, durante o período 2001-2008.

Conforme ressalta Pereira e Silveira (2016),

[...] toda a discussão de eficiência sobre o setor sucroenergético ainda é incipiente, uma vez 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 [...].(PEREIRA; SILVEIRA, 2016, p.3)

Dalbem (2007) utilizou técnicas paramétricas, correlação, aplicadas a quatro usinas pré-selecionadas para verificar a existência da relação entre práticas de gestão e os resultados energéticos de usinas de açúcar e etanol.

Da mesma forma, Padilla-Fernandez e Nuthall (2009) também utilizaram a técnica *DEA* para estudar a ineficiência da produção de cana-de-açúcar e identificar as fontes de ineficiência de uso de insumos na produção. A técnica *DEA* foi implementada para determinar a eficiência técnica de escala e a eficiência técnica geral das fazendas que utilizam o mesmo tipo de entradas e produziam a mesma saída (cana). Os autores concluíram que a principal fonte de ineficiências gerais parece ser a ineficiência técnica, em vez de efeito de escala, pois as diferenças de uso de entrada entre as fazendas eficientes tecnicamente e as fazendas ineficientes são altamente significativas em termos de área, sementes e entradas de trabalho, mesmo não havendo diferenças significativas no uso de fertilizantes e energia.

Salgado Junior, Bonacim e Pacagnella Junior (2011), utilizando a técnica *DEA*, analisaram a relação entre o tamanho e a eficiência técnica de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de São Paulo.

Kumar e Arora (2012) analisaram a eficiência técnica na indústria de açúcar indiano utilizando a técnica *DEA* de 2 estágios. Os resultados sugerem que o grau de ineficiência técnica na indústria de açúcar indiana é de aproximadamente 35,5% ao ano, e a ineficiência técnica observada decorre principalmente da ineficiência gerencial.

Carlucci (2012) e Salgado Junior, Carlucci e Grespan (2013) pesquisaram, por meio da técnica *DEA*, a relação entre as variáveis de eficiência técnica, tamanho e localização das usinas de açúcar e etanol, sendo a única pesquisa a utilizar a abordagem mista, quantitativa e qualitativa.

Xavier (2014), por sua vez, teve como objetivo desenvolver e aplicar um critério para mensurar a eficiência econômica da produção do setor sucroenergético do Brasil e também avaliar a existência de potenciais melhorias na eficiência das atividades produtivas do setor. Para tal, foi utilizada a técnica *DEA Bootstrapping*, e chegou-se à conclusão da necessidade de incorporar ganhos de produtividade agrícola pelas usinas, bem como se constatou que o potencial de ganho de eficiência na gestão do uso dos fatores de produção, em razão de seus preços, é tão relevante quanto o ganho com eficiência técnica.

O autor em questão ainda concluiu, assim como Salgado Junior, Carlucci e Grespan (2013), que as usinas da região Centro-Sul são mais eficientes que as usinas do Nordeste e que, uma vez obtidos ganhos de eficiência técnica, o aumento da verticalização da produção de cana pode contribuir para a melhoria da eficiência das empresas.

Como é possível observar nas pesquisas analisadas, trata-se de pesquisas quantitativas que utilizam a técnica *DEA* para verificar a eficiência, não fazendo uso da análise qualitativa, exceção feita a Carlucci (2012), que utilizou esta importante técnica para aprofundar as pesquisas e possibilitar a coleta de informações que ajudassem a entender o modo e as razões da variação da eficiência das usinas de açúcar e etanol.

A análise dessas pesquisas possibilitou concluir que não foi encontrado na bibliografia estudada trabalho que pudesse suprir as lacunas a serem preenchidas por

este trabalho. Logo, acredita-se que a presente tese traz contribuições inéditas para a compreensão da eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol.

Além do uso das técnicas *DEA* para calcular a eficiência relativa de usinas de açúcar e etanol, existem algumas metodologias para o cálculo da eficiência industrial. Segundo Fernandes (2011), o principal indicador do desempenho técnico de uma usina é a porcentagem dos açúcares contidos na cana que foram recuperados na forma de açúcar, de álcool e de outros produtos, em relação ao total contido na cana e em outras matérias-primas. De acordo com o autor, os indicadores de eficiência do processo agroindustrial são altamente dependentes da qualidade da matéria-prima, sendo que, para o caso da cana-de-açúcar, é muito importante o cálculo da porcentagem de açúcares da matéria-prima para que se possa promover a medição da eficiência e das perdas do processo.

Para usinas que produzem simultaneamente açúcar e etanol, como as pesquisadas nesta tese, o cálculo da eficiência utilizando alguns destes métodos pode apresentar um viés em função do *mix* de açúcar e etanol produzido pela usina, que é pré-determinado pelo projeto da planta industrial, dificultando, ou até mesmo impossibilitando, a comparação entre as plantas. Os principais métodos utilizados no setor para cálculo da eficiência das usinas são:

- Eficiência industrial do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC);
- Rendimento industrial da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB);
- Recuperado Total Corrigido - Fermentec;
- Eficiência Industrial Relativa Consecana-SP.

2.2 Análise Envoltória de Dados (DEA)

Em 1957, M. J. Farrell publicou um artigo sobre a Medição da Eficiência Produtiva que forneceu os antecedentes da *DEA*. A técnica emergiu durante os estudos de E. Rhodes, sob a supervisão de A. Charnes e W. W. Cooper, para avaliar o desempenho de um programa educacional para alunos desfavorecidos nos Estados Unidos da América (EUA).

A análise envolveu a comparação de desempenho de um conjunto de distritos escolares que participaram de um determinado programa em relação a outro conjunto que não participava.

O desafio era estimar a eficiência relativa das escolas envolvendo múltiplas saídas e insumos, sem informações sobre preços. Tal estudo resultou na formulação da técnica *DEA*, conhecida pelas iniciais de seus desenvolvedores - CCR (Charnes, Cooper e Rhodes).

Esse trabalho foi publicado pela primeira vez em 1978 e é uma ferramenta para medir a eficiência de organizações do setor público. *DEA* é um método usado para estimar a eficiência de unidades organizacionais homogêneas, chamadas *Decision Making Units (DMU's)* que usam as mesmas entradas para produzir as mesmas saídas (MARDANI *et. al.*, 2016).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolveram medidas de "eficiência de tomada de decisão" com referência especial para um possível uso na avaliação de programas públicos, referindo-se a uma coleção de unidades tomadoras de decisão (*DMU's*) que tinham em comum as entradas e as saídas. Os autores forneceram muitas maneiras de avaliar a eficiência da *DMU* em programas públicos, com o objetivo de melhorar o planejamento e o controle dessas atividades, gerando, assim, uma nova definição de eficiência.

O conceito de eficiência técnica está intrinsecamente relacionado com a estimativa de uma fronteira de produção, uma vez que as medidas de eficiência só podem ser definidas em relação a uma referência, ou seja, a um nível ideal de desempenho.

Uma empresa tecnicamente eficiente seria aquela que produz a saída máxima possível (*output*) a partir de um determinado conjunto de entradas (*inputs*) ou aquela que produz certo nível de saída (*output*) com a quantidade mínima de entradas (*inputs*) (KUMAR; ARORA, 2012).

A literatura sobre a medição da eficiência técnica fornece duas correntes de abordagens para estimar a eficiência relativa entre as empresas. A primeira abordagem de fronteira é um método não paramétrico, a Análise Envoltória de Dados (*DEA*); e a segunda trata-se de um método paramétrico, a Análise da Fronteira Estocástica (*SFA*). Estes métodos são mais detalhados em Charnes *et. al.* (1985) e Kumbhakar e Lovell (2003) para os métodos *DEA* e *SFA*, respectivamente.

Enquanto que na abordagem paramétrica uma forma funcional específica da função produção é necessária para especificar *a priori* as relações técnicas entre entradas e saídas, na abordagem não paramétrica, não são especificadas uma forma funcional, mas resolver uma programação linear, em que a função objetivo envolve os

dados observados, e em seguida, os escores de eficiência são definidos como o quão longe uma observação é da fronteira. Uma empresa tecnicamente eficiente opera na melhor prática de fronteira e vai atingir uma pontuação de eficiência igual a 1. Considera-se tecnicamente ineficiente se a pontuação de eficiência for maior que zero e menor que 1.

Pimentel (2014) afirma que, dependendo do tipo de problema, das variáveis, a correlação entre as variáveis, a quantidade de *inputs* e *outputs* e a quantidade de *DMU*s influenciam a escolha entre uma técnica paramétrica ou não paramétrica. Falsarela (2014), ao comparar as duas abordagens, destaca as principais diferenças entre as técnicas paramétricas e as não paramétricas, conforme pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Diferenças entre as categorias paramétrica e não paramétrica

Grupo	Paramétricas	Não-paramétricas
Baseada	Na determinação da função produção	Na construção empírica da fronteira de eficiência
Alta correlação de inputs e outputs	Não é necessária	Necessária
Outiliers e Ruídos	Menos sensíveis	Mais sensíveis
Testes estatísticos	Possibilitam	Não possibilitam
DMUs necessárias	Mais	Menos
Técnicas presentes	Fronteira Estocástica, Distribuição Livre e Fronteira Densa	Análise por Envoltória de Dados, Livre Disposição de Envoltória e Números Índices
Restrições	Devem ser utilizados em análises com um único output	Podem ser utilizados em análises com múltiplos inputs e outputs

Fonte: Falsarela (2014).

Pereira e Silveira (2016), ao utilizarem o método *DEA* para cálculo da eficiência de usinas de açúcar e etanol, o descrevem como:

[...] um método relativamente recente e tem sido amplamente usado nos mais variados estudos sobre eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (*DMUs*). Este método tem fornecido informações mais precisas acerca das atividades, representando um avanço na análise de eficiência. 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 [...]. (PEREIRA; SILVEIRA, 2014, p. 153).

Para obter uma análise da eficiência técnica, esta tese utilizou a técnica *DEA* para estimar empiricamente e dimensionar os escores de eficiência das empresas pesquisadas.

Conforme Allen e Thanassoulis (2004), a análise envoltória de dados (*DEA*) é um método de programação linear para avaliar a relação de eficiência entre Unidades de Tomada de Decisão (*DMU*), tais como: escolas, bancos, seguradoras e usinas. Essas unidades convertem em quantidades variáveis o mesmo conjunto de entradas (*inputs*) para uma mesma quantidade de saídas, conforme ilustrado na figura 7. A classificação relativa da eficiência gerada pelo *DEA* em relação a uma *DMU* é definida como a razão entre a soma dos seus níveis de saída ponderado com a soma dos seus níveis de entrada ponderado.

Figura 7 - Modelo *DEA* de conversão de *inputs* em *outputs*

Fonte: baseado em Falsarela (2014).

O modelo *DEA* original foi desenvolvido por Charnes *et. al.*(1978) e extensões subsequentes podem ser encontradas em Cooper, Seiford e Zhu (2000) e em Thanassoulis (2001).

Inspirados pelo conceito de Farrell (1957) e apoiados por uma melhora na tecnologia computacional, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) criaram o conceito de Análise Envoltória de Dados (AED), também conhecido como *Data Envelopment Analysis (DEA)*. Utilizando-se de programação linear, o modelo permite uma mensuração da eficiência produtiva das organizações em casos de múltiplos insumos e/ou múltiplos produtos.

A ferramenta criada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) atribui um escore de eficiência, relativo ao grupo analisado, que varia de zero a 1, sendo zero o mais ineficiente, e 1 o nível mais eficiente. As Unidades Tomadoras de Decisão, também chamadas de *Decision Making Units (DMUs)*, compõem a fronteira e recebem o nome

de *Benchmarkings* e são a referência de melhoria para as demais unidades, visto que possuem o maior nível de produtividade.

A Análise Envoltória de Dados é considerada uma técnica de fronteira não paramétrica, pois não necessita de pressupostos estatísticos para sua utilização. A formulação do modelo inicial proposta por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) é:

$$Max \theta_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{io}}$$

S. R.:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$r = 1, \dots, s$$

$$i = 1, \dots, m$$

Neste modelo, θ_o representa a produtividade de uma determinada *DMU*; Y_{rj} representa os *outputs* do modelo; Y_{ro} representa a quantidade de *output* i da *DMU* em análise; e representam, respectivamente, os *inputs* do modelo e a quantidade de *inputs* X_{ij} da *DMU* em análise; $u_r, v_i \geq 0$ representam os pesos das ponderações que serão definidos através da resolução do problema de programação fracionária; e, por fim, s e m representam o número de *outputs* e de *inputs*, respectivamente. Exemplos de aplicação deste modelo podem ser vistos nos trabalhos de Kao e Liu (2014); Khodabakhshi, Asgharian e Gregoriou (2010); Puri e Yadav (2013); Wanke e Barros (2014) e Yang *et. al.* (2010).

Entretanto, esse modelo ficou conhecido como *CCR* (nome dado devido às iniciais dos autores que o propuseram) após a implantação de uma variação da Análise Envoltória de Dados, proposta por Banker, Charnes e Cooper (1984). O novo modelo ficou conhecido com Banker-Charnes-Cooper (*BCC*) e, diferentemente do modelo anterior que considerava retornos constantes de escala, tinha como principal diferença o reconhecimento de retornos variáveis de escala, tornando os modelos conhecidos também como abordagem radial e não radial, respectivamente.

Tanto o modelo *CCR* quanto o modelo *BCC* da Análise Envoltória de Dados tem como opções a orientação a *input* ou *output*. Na orientação a *input*, o modelo busca minimizar a quantidade de *inputs* utilizados no processo mantendo o mesmo

nível de *output* produzido. Esse modelo é aplicável, por exemplo, em análises de redução de custos. A orientação a *output* visa à maximização da quantidade de *outputs* produzidos, mantendo a mesma quantidade de insumos utilizados no processo. Os modelos podem ser representados, matematicamente, das seguintes formas:

BCC – ORIENTAÇÃO INPUT

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta_o &= \sum_{r=1}^s u_r Y_{ro} + u_0 \\
 \text{S.R.:} \\
 \sum_{i=1}^m v_i X_{io} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} &\leq \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + u_0 \\
 u_r, v_i &\geq 0 \\
 j &= 1, \dots, n \\
 r &= 1, \dots, s \\
 i &= 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

BCC – ORIENTAÇÃO OUTPUT

$$\begin{aligned}
 \text{Max } \theta_o &= \sum_{i=1}^m v_i X_{io} + v_0 \\
 \text{S.R.:} \\
 \sum_{r=1}^s u_r Y_{ro} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} &\leq \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + v_0 \\
 u_r, v_i &\geq 0 \\
 j &= 1, \dots, n \\
 r &= 1, \dots, s \\
 i &= 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

Para os modelos *BCC*, θ_o representa a produtividade de uma determinada *DMU*; Y_{rj} representa os *outputs* do modelo; Y_{ro} representa a quantidade de *output* i da *DMU* em análise; X_{ij} e X_{io} representam, respectivamente, os *inputs* do modelo e a quantidade de *inputs* i da *DMU* em análise; $u_r, v_i \geq 0$ representam os pesos das ponderações que serão definidos através da resolução do problema de programação fracionária; s e m representam o número de *outputs* e de *inputs*, respectivamente; e u_o é a variável de retorno de escala da *DMU* em análise.

Exemplos de aplicação da técnica *DEA BCC* podem ser vistos nos trabalhos de Macedo et al. (2008); Souza e Macedo (2009); Giokas (1991); San; Teng e Heng (2011); Drake, Hall e Simper (2006); Lin, Lee e Chiu (2009); Paradi, Zhu e Edelstein (2012) e Yang et al. (2010).

Desde a sua criação, em 1978, nos Estados Unidos, a Análise Envoltória de Dados tem sido amplamente utilizada nos mais diversos segmentos da sociedade, entre eles, bancos, hospitais, agricultura, transporte e educação (LIU et al., 2013A, LIU et al., 2013B; EMROUZNEJAD; PARKER; TAVARES, 2008).

EMROUZNEJAD e YANG (2017) demonstram que houve um rápido aumento dos artigos relacionados à *DEA* nos últimos anos. Pela análise dos autores, fica claro que houve um crescimento exponencial no número de artigos de revistas desde o trabalho inicial de 1978. Nas últimas quatro décadas, entre 1978 e 2016, há um total de 10.300 artigos relacionados à *DEA* na literatura. Em particular, nos últimos três anos (2014, 2015 e 2016), o número de artigos de revistas atingiu cerca de 1.000 trabalhos publicados em cada ano.

2.3 Processo de produção – tipologia das indústrias de açúcar e etanol

A indústria de açúcar e etanol com base em Fransoo e Rutten (1994) é tipicamente caracterizada como uma indústria de processo, cujas características gerais estão definidas pela *American Production and Inventory Control Society* (APICS) como empresas que agregam valor aos materiais, através de mistura, separação, conformação ou reações químicas. Esses processos podem ser contínuos ou descontínuos (lotes ou bateladas) e requerem, geralmente, rígido controle de processo e alto investimento de capital; afinal, só podem ser executados de forma eficiente usando grandes instalações, o que tende a ser muito caro. Se a demanda é

alta, justifica-se a produção contínua (portanto, um maior investimento), e, se ela for baixa, o investimento em uma grande instalação não é viável, e o processo descontínuo (ou em lotes) é utilizado.

A definição indica que a característica mais importante é o processo de fabricação realizado. Misturar, separar, conformar e reações químicas são operações que normalmente são realizadas em produtos e materiais não discretos. Materiais discretos significam materiais sólidos distintos que não mudam facilmente e que mantêm a sua forma sem a utilização de contentores. Por outro lado, materiais não discretos são líquidos, polpas, pastas, gases e pós que evaporam, expandem, contraem, absorvem umidade ou secam. Esses materiais mudam constantemente e não podem ser realizados sem contentores. Assim, todas as indústrias de processo, quer em lotes, quer contínuo, utilizam materiais não discretos (DENNIS; MEREDITH, 2000).

Para definir o processo como contínuo e por lote ou batelada, Borges e Dalcol (2002) utilizam-se da definição da *APICS*, em que o processamento por bateladas ou lotes é definido como “[...] um processo industrial que prioritariamente programa curtos ciclos de produção de produtos [...]” e o processamento contínuo é aquele processo cujas “interrupções são mínimas em qualquer corrida de produção ou entre corridas de produção de produtos que exibam características de processo como, por exemplo, petróleo, papel e celulose e gases. (BORGES; DALCOL, 2002, p. 2)

Desta forma, pode-se considerar o processo de produção de açúcar e etanol, como sendo de materiais não discretos, do tipo contínuo, que tem suas principais características diferenciadoras do processo por lote representadas no quadro 4.

Segundo Toledo, Ferro e Truzzi (1986), as principais características tecnológicas presentes nas indústrias de processo contínuo são:

- a indivisibilidade das matérias-primas ao longo do processo, dado que é comum que, após introduzidas no processo produtivo, não sejam mais distinguíveis entre si e em relação ao produto final;
- o alto nível de integração entre os equipamentos, visto que estes têm características de serem um todo interligado e interdependente em vez de máquinas isoladas, não sendo possível intercambiar as transformações requeridas pelo processo (baixa flexibilidade, restrições de simultaneidade e/ou sucessividade, etc.). Essa característica é sugerida, quando se prefere

distinguir, neste tipo de indústria, fases no interior do processo de fabricação em vez de se referir a operações discretas;

- uma maior possibilidade de centralização dos controles, dado que a interação entre mão de obra e materiais é reduzida e quase que toda submetida à intermediação dos equipamentos, através de sensores localizados em pontos estratégicos das instalações. Desta forma, tornam-se maiores as possibilidades de diminuição do tempo necessário a tomada de decisão para a correção de algum parâmetro fora de padrão. Quanto menor forem esses tempos para a correção de anomalias, maior a produtividade a ser gerada pela planta industrial em questão.
- Borges e Dalcol (2002) afirmam que existe uma forte necessidade de automação na indústria de processo, permitindo ganhos de produtividade devido à maior rapidez na velocidade de processamento da informação. Em virtude da complexidade dos processos produtivos dessas indústrias, elas requerem uma grande quantidade de mecanismos de regulação com o objetivo de permitir respostas rápidas, mantendo os elevados níveis de produção e eficiência. Outro importante fator diz respeito à possibilidade de economia de mão de obra e consequente redução da quantidade de acidentes de trabalho, muito comuns nesse meio. Dado o elevado capital investido nesse tipo de indústria e também à natureza intrínseca dos processos, as plantas industriais são pressionadas a trabalharem ininterruptamente.

Quadro 4 - Processo Contínuo x Batelada

Processo. Contínuo	Processo por lote
<ul style="list-style-type: none"> • Alta velocidade de produção, • Pouco trabalho humano • Clara determinação de capacidade, uma rotina para todos os produtos, • Baixa flexibilidade <p>Baixa complexidade do produto Baixo valor agregado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tempos de parada causa grande impacto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de lead time grande, • Muito trabalho humano no processo • Capacidade não facilmente determinada (diferentes configurações, rotinas complexas) • Produtos mais complexos • Alto valor agregado • Tempos de parada causam menor impacto • Grande número de etapas de produção • Grande número de etapas de produção

Fonte: BORGES e DALCOL (2002)

Para se ter uma noção da quantidade de parâmetros de regulação para controle do processo de produção desse tipo de indústria, as usinas estudadas neste trabalho apresentaram um total de 174 indicadores de processo que tinham como objetivo sua manutenção do padrão de qualidade nas diversas fases da produção, proporcionando uma tomada mais rápida nas decisões dos gestores da operação industrial quanto aos problemas apresentados.

A desconexão entre o ritmo de trabalho e o ritmo de produção é, segundo Toledo, Ferro e Truzzi (1986), outro importante aspecto econômico desse tipo de indústria e, como consequência, a produtividade é resultante mais do rendimento global das instalações do que do ritmo de trabalho dos operadores. Desta forma, para se obter uma maior produtividade, é necessário garantir uma melhor performance dos equipamentos através da minimização das horas paradas, da redução das perdas e das falhas de processo, pois, por se tratar de um processo altamente integrado e interdependente, essas falhas acabam criando um efeito cascata, apresentando como consequência a diminuição da produtividade e eficiência do mesmo.

2.3.1 Processo industrial de produção de açúcar e etanol

O processo de produção de uma usina de açúcar e etanol de primeira geração pode ser dividido em quatro fases distintas, sendo uma primeira fase comum às fases seguintes, respectivamente de produção de açúcar (fase 2), produção de etanol (fase 3) e, por fim, a geração de energia elétrica (fase 4).

Conforme Xavier (2014), apesar de ser processos aparentemente simples, uma agroindústria brasileira típica processa o equivalente a 2,4 milhões de tonelada de cana ao longo de 250 dias do ano-safra. A quantidade de cana movimentada na recepção durante a safra é equivalente a cerca de 400 toneladas/hora, ou aproximadamente, a um volume descarregado de seis caminhões canavieiros.

A figura 8, elaborada a partir de Dalbem (2007), mostra o processo de produção de açúcar, álcool hidratado, álcool anidro, levedura para consumo animal e energia elétrica para venda; e dos subprodutos: torta de filtro e vinhaça.

Conforme pode ser observado, a fase 1 compreende processos que são comuns à produção de açúcar, etanol e energia, envolvendo as etapas de recepção da cana, pesagem, limpeza, preparo e extração e tratamento do caldo.

A fase 2 é aquela em que ocorre a produção de açúcar e compreende os processos de evaporação, aquecimento, decantação, cozimento, cristalização, centrifugação e secagem. A produção de álcool ocorre na fase 3 e é formada pelos processos de preparação do mosto, fermentação, centrifugação, destilação, desidratação e tratamento e secagem e, finalmente, na fase 4, sucedem os processos de produção de bioenergia através da palha e bagaço, a qual não será objeto de estudo desta tese.

Figura 8 - Processo de produção de açúcar e etanol

Fonte: baseado em Dalbem (2007).

Antes de analisar o processo de produção de açúcar e etanol, é relevante conhecer alguns parâmetros básicos específicos desse processo. A cana de açúcar é composta por folhas, colmos, raízes e flores, sendo “cana” o nome genérico dos colmos industrializados da cana-de-açúcar. A matéria-prima entregue para ser processada e utilizada na fabricação de açúcar e/ou etanol é composta por colmos mais impurezas. Estas impurezas podem ser vegetais ou minerais, sendo sua quantidade aceitável no processo, definida por cada unidade produtiva dentro daquilo que é considerado economicamente viável. (FERNANDES, 2011).

Ainda segundo o autor, os principais parâmetros a serem conhecidos, são:

- Brix: parâmetro de medição mais conhecido e utilizado na indústria; mede o teor de sacarose na solução e expressa a porcentagem peso dividido pelo peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose. Sua finalidade é medir o teor de sacarose na solução;
- Fibra: material insolúvel em água contido na cana. Seu teor varia em média na faixa de 10% a 12% (colmos de cana despontada e sem impurezas).
- Caldos: constituído pela água contida nos tecidos do colmo mais todos os sólidos solúveis. Como existem diversos tipos de caldo (absoluto, extraído, clarificado ou decantado, primário, de primeira pressão, misto, de segundo terno, residual), conforme mostrado na figura 9, sua composição química depende do tipo de caldo que se está em análise.
- Umidade porcentagem da cana: porcentagem de água contida na cana.
- Pol: representa a porcentagem aparente de sacarose contida na solução de açúcares (sacarose, glucose e frutose).
- Pol cana: pol expressa em porcentagem de cana, indica o total de sacarose aparente (pol) contido no caldo absoluto por cento de cana. Representa o principal indicador de qualidade da cana-de-açúcar para processamento industrial.
- Açúcares redutores (AR): termo empregado para designar os açúcares, principalmente glucose e frutose, que apresentam a propriedade de reduzir o óxido de cobre do estado cúprico a cuproso. Sua análise é importante para acompanhamento e julgamento da maturação da cana.

- Açúcares redutores totais (ART): açúcares totais representam todos os açúcares da cana na forma de açúcares redutores. Determinado por processo de análise química, seu conhecimento é importante para avaliação da qualidade da matéria-prima, principalmente para a produção de etanol. Nas usinas de açúcar e álcool, é o parâmetro utilizado para avaliação do processo industrial e balanço de perdas de açúcares nas diversas etapas de fabricação.
- Açúcares totais recuperáveis (ATR): os ATR (kg / t cana) constituem um dos parâmetros de pagamento da cana pelo Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP). Representam a quantidade de ART recuperados da cana até o xarope, sendo o resultado do ART por tonelada de cana menos a soma das perdas na lavagem de cana, bagaço, torta dos filtros ou prensas e perdas indeterminadas.
- Bagaço: resíduo fibroso da cana resultante da moagem, constituído de fibra mais caldo residual.
- Torta: resíduo sólido que sai dos filtros rotativos como resultado da recuperação do açúcar retido no lodo dos decantadores.
- Mel final ou melaço: é o material final em uma usina de açúcar ou refinaria. O açúcar que permanece no mel final não pode ser recuperado economicamente. Em usinas que produzem açúcar e álcool, este é enviado à destilaria para a produção de álcool.
- Dextrana: representa um grupo de polissacarídeos da cana formados por ação de bactérias no processo de deterioração que ocorre após a queima e/ou corte da cana.
- Tipos de açúcar: diversos tipos de açúcares podem ser produzidos como açúcar refinado granulado, açúcar refinado amorfo, glaçúcar, xarope invertido, xarope simples ou açúcar líquido e açúcar orgânico.
- Produtividade: medida da quantidade de produto por unidades de área, produtividade da cana expressa em t cana / há.
- Rendimento: medida da quantidade de produto por unidade de matéria-prima.

- **Rendimento Industrial:** é a quantidade de açúcar por tonelada de cana processada. Depende da qualidade da cana e das eficiências setoriais da fábrica de açúcar.
- **Rendimento industrial destilaria:** volume de etanol produzido por tonelada de cana.
- **Rendimento da fermentação:** quantidade de etanol obtido na fermentação por unidade de ART fermentado.
- **Eficiência:** indicador percentual representa o produto recuperado por cento da quantidade disponível na matéria-prima. Mede com maior fidelidade o desempenho do processo industrial. Os detalhes e tipos de eficiência serão abordados em capítulo específico.
- **Capacidade:** refere-se ao volume disponível de algum equipamento industrial. Como exemplo, podemos indicar a capacidade de moagem como sendo a quantidade de cana moída por dia.
- **Extração:** é a porcentagem da pol da cana que foi mecanicamente extraída no caldo.

Figura 9 - Caldos produzidos na moenda

Fonte: baseado em Fernandes (2011).

O processo comum à produção de açúcar e etanol, fase 1 da figura 8, inicia-se com a chegada do caminhão canavieiro na indústria, onde as operações industriais promovem a recepção da cana, análise da matéria-prima, retirada da mesma do

caminhão, limpeza e preparação da cana visando à remoção de impurezas que prejudicam o processamento industrial, como terra, pedras e palha de cana.

●**Recepção da cana:**

Dalbem (2007) e Silva (2007) afirmam que, durante esse processo, ocorre a pesagem do caminhão em balanças rodoviárias visando quantificar a matéria-prima que entra no processo e, conseqüentemente, obter o rendimento do processo industrial. Nessa etapa, é feito o controle de qualidade da cana, através do processo de amostragem, importante etapa para o controle de qualidade da matéria-prima. Desta forma, antes de ser descarregada, a cana é analisada e são colhidos os dados relativos ao teor de sacarose, açúcares totais, tempo de chegada da cana na usina e teor de sólidos solúveis, entre outros. Esses dados são posteriormente utilizados para calcular os rendimentos e outros parâmetros do processo. Quando a cana é proveniente de terceiros, esse processo verifica o preço que será pago pela usina ao fornecedor, conforme teor de sacarose da mesma, com base no teor de açúcares totais recuperáveis (ATR) e de impurezas.

Atualmente, está em vigor o sistema chamado de Consecana que, surgiu como uma resposta da cadeia produtiva do setor sucroenergético quando o governo federal extinguiu os preços oficiais da cana-de-açúcar e do etanol, por meio do artigo 5 da portaria nº275/1998 (CONSECANA, 2016).

Em pesquisa realizada, Dalbem (2007) afirma que os dados coletados nessa etapa são estatisticamente trabalhados e inseridos no sistema de informação. Esse complexo sistema alimenta todas as atividades da cadeia produtiva e não apenas os níveis técnicos e gerenciais da empresa, mas também fornecedores, que têm acesso seletivo aos dados. Desta forma, os dados armazenados são tratados, possibilitando o monitoramento, controle e avaliação de processos e atividades, tanto técnicos como gerenciais, constituindo-se um importante instrumento de suporte para decisões.

● **Limpeza e preparo da cana:**

Ao chegarem ao pátio da usina, os caminhões são descarregados e, então, inicia-se o processo de limpeza e preparação da cana. No Brasil, de acordo com Marques, Marques e Tasso (2001) e Marafante (1993), esse processo ocorre na maioria das usinas através de guindastes laterais móveis (tipo Hilo) e por pontes rolantes.

Segundo Silva (2007), a alimentação de cana para o sistema de extração é feita por meio de mesas alimentadoras, nas quais a cana é lavada e conduzida até a esteira principal do sistema de extração de caldo. Outro fator de grande importância em relação à mesa alimentadora, é que ela tem a função logística de abastecer de cana as moendas, prevenindo possíveis discontinuidades do processo, ocasionadas, principalmente, devido ao tempo de posicionamento e preparo dos caminhões para descarga.

Durante o processo de lavagem, ocorrem perdas de sacarose e outros açúcares da ordem de 1,0% a 1,5%. Por essa razão, algumas usinas usam desativá-lo temporariamente quando é constatado baixo valor de impureza mineral medido nas amostragens de recebimento da cana. O processo de preparo da cana para moagem é de extrema importância para a eficiência de extração do caldo (DALBEM, 2007).

Nesta etapa, a quantidade de terra vinda da lavoura junto à cana, no momento de carregamento, é bastante grande, chegando a ter aproximadamente 2% a 4% da massa total, aproximadamente, 220 toneladas de terra por dia. Essa terra é retirada pelo sistema de limpeza nas mesas alimentadoras, utilizando cerca de 5 a 7 m³ de água por tonelada de cana moída. Atualmente, conforme Xavier (2014), o processo de limpeza da cana é feito por separação mecânica utilizando vibração e fluxos de ar na cana para, em seguida, haver a entrada da cana nas esteiras. A matéria prima “cana-de-açúcar” vem mudando com a introdução maciça do corte mecanizado, acumulando uma grande quantidade de impurezas minerais e vegetais, que tem se tornado um grande “vilão” para todos os processos industriais, desde desgastes prematuros na moenda, até entupimentos em bombas, tubulações, quebras em decantadores que não suportam essa carga exagerada de impurezas, sem contar desgastes em caldeiras, e alterações na extração e umidade na moenda. Para resolver parte do problema, implementou-se um sistema de limpeza de cana, que consiste em separação das impurezas através de ventilação na cana na hora do “tombo” das mesas para as esteiras de cana para o preparo, e posterior tratamento dessas impurezas retiradas.

Para Dias *et. al.* (2015), na etapa de preparação, a cana-de-açúcar é cortada e retalhada por uma série de facas que promovem a abertura das células e conduzem a uma camada uniforme de cana, visando produzir um material adequado para o passo subsequente: o processo de extração do caldo. Também nessa etapa é utilizado um imã para a remoção de partículas ou materiais metálicos.

Andrade e Castro (2006) afirmam que essa etapa tem como principal objetivo aumentar a capacidade das moendas através da diminuição do tamanho e rompimento da estrutura da cana facilitando a extração do caldo e moagem. Dentre as vantagens da etapa de preparo da cana no desempenho do processo, pode-se citar o aumento do rendimento da usina, a regularidade de alimentação das moendas, a redução do consumo de energia, a homogeneização do teor de fibras nas canas e a redução do desgaste e quebra das moendas. Os equipamentos utilizados nesse processo são o picador e o desfibrador. Os picadores mais utilizados são os compostos por facas tipo niveladoras (regularizam e uniformizam a carga de cana) e cortadoras (reduzem a massa heterogênea de cana em massa uniforme e homogênea). Já o desfibrador é formado por um cárter cilindro tendo em seu interior um rotor com uma série de martelos oscilantes que trabalham sobre barras desintegradoras. A cana picada é alimentada no equipamento pela parte superior e é descarregada triturada pela parte inferior.

Silva (2007) afirma que essa operação exige grande potência dos equipamentos envolvidos (picadores e desfibradores), devido à quantidade de cana e ao sistema utilizado (atrito e choque mecânico), para picar e desfibrar.

Os picadores são equipamentos rotativos de grande potência, que podem ser acionados por turbinas a vapor, dispostos transversalmente sobre o esteirão de cana (esteira alimentadora), girando a 630 rpm no mesmo sentido do fluxo da cana. São constituídos por facas metálicas rigidamente fixadas a suportes distribuídos ao redor de um eixo metálico maciço, acoplado ao sistema de acionamento (redutores e turbina a vapor) do conjunto.

Ao passar entre as facas, a cana é reduzida a pequenos pedaços que, em seguida, passam pelo desfibrador. Os desfibradores são equipamentos rotativos de grande potência, que podem ser acionados por turbinas a vapor, dispostos transversalmente sobre o esteirão de cana (esteira alimentadora), logo após os picadores, girando a 630 rpm no sentido contrário ao fluxo da cana.

O sistema é constituído por martelos metálicos fixados a suportes distribuídos ao redor de um eixo metálico maciço, acoplado ao sistema de acionamento do conjunto (redutores e turbina a vapor, por exemplo). A cana picada passa por entre os martelos girantes, que através do atrito, rompem a estrutura das células, o que torna possível a extração do caldo pelo tandem de moendas.

- **Extração do caldo:**

O processo de extração do caldo se dá geralmente pela moagem da cana, processo que consiste em fazer a cana passar entre dois rolos, com uma pressão preestabelecida aplicada a eles. Este processo deve não apenas extrair o caldo, como também produzir bagaço com um grau de umidade que permita sua utilização como combustível nas caldeiras

O processo de moagem ou extração do caldo visa à extração dos açúcares através das moendas ou difusores. No Brasil, essa etapa é realizada principalmente através da utilização de moendas, que consistem em conjuntos de três a cinco rolos em que a cana é pressionada, separando o suco do bagaço (parte fibrosa dos colmos de cana). Normalmente, os grupos de quatro a seis unidades em tandem (conjuntos de rolos) são utilizados, conforme pode ser visto nas figuras 10. Além disso, durante o processo de moagem é adicionada água morna por embebição na última tandem para aumentar a recuperação de açúcar no suco.

O suco produzido no último conjunto é usado como embebição para aumentar a extração de açúcares no conjunto anterior e, assim por diante, até o terceiro conjunto. O caldo de cana é enviado para uma tela, onde é filtrado e uma fração das fibras é removida e arrastada com o suco para serem recicladas no segundo moinho, aumentando a recuperação de açúcares.

Normalmente, o suco da primeira moenda é utilizado para a produção de açúcar por conter uma pureza mais elevada de açúcar, enquanto o suco obtido no segundo moinho (chamado caldo misto) é desviado para a produção de etanol (DIAS, 2015).

Uma tecnologia alternativa ao uso de moendas são os difusores que, conforme Renó *et. al.* (2014) podem também ser utilizados na extração de suco com o aumento da recuperação de açúcar e menos consumo de energia do que o conjunto de moagem, sendo, porém, pouco utilizado nas usinas.

Para Payne (1989), a extração do caldo ou moagem é o processo que separa materiais líquidos de sólidos. A parte líquida é constituída pelo caldo, e a parte sólida, pela fibra da cana. Essa separação geralmente ocorre por esmagamento ou aplicação de pressão no conjunto de ternos de moendas, os tandem, compostos geralmente por seis ternos de moendas que possuem cada qual um rolo de alimentação, um rolo de entrada, um rolo de saída e um rolo superior.

Silva (2007) afirma que apenas com a pressão pode-se extrair mais de 90% do caldo das fibras, posto que, em certo momento, as partes sólida e líquida formam uma massa. Desta forma, para aumentar a recuperação de caldo, mistura-se água à massa, água de embebição, entre o penúltimo e o último terno. O procedimento de embebição pode ser simples, composta e com recirculação, sendo o tipo composta o mais usado. Este processo ocorre quando o caldo extraído do último terno é utilizado para facilitar a extração no penúltimo terno e, assim, sucessivamente, até o segundo terno. Para o primeiro terno, aplica-se somente a pressão. A figura 11 ilustra esse processo.

Figura 10 - Tandem e terno de Moenda

Fonte: Rocha (2010).

Figura 11 - Processo de embebição

Fonte: Silva (2007).

Conforme Rocha (2010), o processo de extração por moenda apresenta a vantagem de ter grande flexibilidade operacional, podendo ser ampliado à medida que a moagem aumenta. Como desvantagem, esse processo possui manutenção cara, é anti-higiênico e menos eficiente em relação ao processo por difusor, embora essa diferença de eficiência venha caindo com o tempo. Entre os equipamentos utilizados nessa etapa, pode-se destacar:

Castelos – fazem a sustentação da moenda.

Rodetes - acionam o rolo de entrada, saída e o rolo de pressão através do rolo superior.

Pentes - colocados na região de descarga da moenda para limpeza das camisas.

Bagaceira - conduz o bagaço do rolo de entrada para o rolo de saída.

Messcharts - são sulcos efetuados entre os frisos do rolo de pressão. Melhora a capacidade da moenda permitindo extrair uma quantidade de caldo sem que provoque um engasgo ou atolamento.

Esteira de arraste intermediário - é um condutor intermediário que serve para transportar bagaço de um terno para outro.

O processo de extração por difusor é usado para a cana preparada com um índice de células abertas (*open cell*) superior a 90% que sofre uma série de lavagens em número que varia de 12 a 18 vezes, podendo extrair até 98% da sacarose, sendo uma vantagem em relação ao processo da moenda, cujo valor chega a no máximo 96%.

Após a extração do caldo, o bagaço, constituído de fibra (46%), água (50%) e sólidos dissolvidos (4%), é transportado por esteiras rolantes para as caldeiras, e o excedente é enviado ao pátio de estocagem. O bagaço é produzido numa quantidade variando de 240 kg a 280 kg por tonelada de cana moída; ele consiste no único combustível utilizado nas caldeiras a vapor, gerando toda energia necessária ao processamento de cana e, ainda, produzindo uma sobra que varia, na maioria dos casos, entre zero e 10%.

Para Pelegrini (2011), o objetivo desse processo não é apenas obter a maior parte possível de caldo, mas também uma boa produção final de bagaço em condições adequadas para a queima rápida nas caldeiras. Existem dois processos de extração, a moagem e a difusão, os quais exigem uma preparação de cana anterior,

usando facas e trituradores que operam com turbinas a vapor ou motores elétricos. É importante salientar que o sistema de extração é um grande consumidor de água, a fim de facilitar a recuperação de açúcares.

Uma comparação mais abrangente entre as moendas e difusores não faz parte do escopo deste trabalho, no entanto, pode-se afirmar que as moendas permitem a produção de um suco de pureza mais elevada (maior qualidade do açúcar), devido à possibilidade de extração de suco no primeiro terno. Além disso, são mais flexíveis quanto à capacidade de produção, porém exigem mais energia mecânica que os difusores (15 kW h / t de cana contra 10 kW h / t de cana).

O impacto nos custos da utilização do sistema por difusor foi estudado por Rocha (2010); já Ensinas (2007) avaliou o impacto dos dois sistemas nos custos de produção de açúcar, etanol e eletricidade. Outro importante ponto de destaque analisado é a vantagem do sistema por difusor de ser capaz de extrair 99% do total de açúcares na cana, enquanto que as moendas estão limitadas a 97%. Contudo, o teor de umidade do bagaço de difusores é maior, reduzindo a eficiência da caldeira.

Finalizando essa etapa do processo produtivo, o sistema de extração do caldo separa o bagaço e o suco por compressão da cana. O bagaço é utilizado como combustível no sistema de cogeração, e o caldo produzido vai para o sistema de tratamento.

Dias *et. al.* (2015) afirmam que, atualmente, as usinas utilizam um sistema de cogeração com base no ciclo de *Rankine*, no qual o bagaço de cana é queimado na caldeira, produzindo vapor que é expandido em turbinas acopladas a geradores elétricos; o vapor de exaustão de turbinas é usado como fonte de energia térmica para as várias operações unitárias do processo de produção de açúcar e etanol. Até o final de 1990, os sistemas de cogeração utilizados nas usinas foram projetados apenas para satisfazer às necessidades de energia térmica do processo de produção de açúcar e etanol, queimando todo o bagaço disponível e produzindo pouca ou nenhuma eletricidade excedente.

Segundo Serra *et. al.* (2009), a maioria das instalações utilizam apenas as turbinas a vapor de contra-pressão, que limitam a quantidade de combustível que pode ser queimada para abastecer a necessidade de vapor do processo.

A desregulamentação do setor de energia no Brasil, na década de 1990, criou condições para novos produtores de eletricidade venderem sua produção para a rede,

promovendo a modernização das instalações de cogeração existentes (LEAL; WALTER; SEABRA, 2013).

Assim, conforme Seabra e Macedo (2011), os moinhos modernos têm substituído pressão baixa/ baixa eficiência por caldeiras de média e alta pressão (42-90 bar).

- **Tratamento do caldo:**

Mesmo sendo anteriormente lavado no processo de preparação, o caldo extraído nas moendas ainda possui muitas impurezas orgânicas e minerais que necessitam serem eliminadas para que o açúcar produzido tenha boa qualidade e também para o aumento da eficiência da produção do álcool (SILVA, 2007).

O processo de tratamento do caldo mais utilizado nas usinas brasileiras é constituído pelas etapas de sulfitação a quente, calagem e decantação. O tratamento do caldo é composto por um tratamento físico-químico que consiste de separação de fibras e areia, em telas, aquecimento de suco de 30 °C a 70 °C, a adição de cal, juntamente com um segundo aquecimento, até 105 graus °C, a remoção do ar (cinzas FL) e adição de um polímero floculante e, finalmente, a remoção de impurezas através de um processo de clarificação.

A lama obtida no clarificador é filtrada para melhorar a recuperação de açúcares, como ilustrado na figura 11. A primeira fase do tratamento utiliza peneiras para a remoção dos sólidos insolúveis (areia, argila, bagacilho etc.), cujos teores variam entre 0,1% e 1,0%. Já na segunda fase, é feito o tratamento químico, visando remover as impurezas insolúveis não eliminadas na etapa anterior e impurezas coloidais e solúveis. Neste processo, ocorre a coagulação, floculação e precipitação das impurezas, que são eliminadas por sedimentação. Posteriormente, é feita a correção do pH evitando inversão e decomposição da sacarose. Ao fim desta etapa, o caldo tratado é enviado à produção de açúcar e/ou etanol (DIAS *et. al.*, 2015).

Figura 12 - Processo de tratamento do caldo

Fonte: Dias *et. al.*, (2015)

Para a produção de açúcar, é necessária a etapa de sulfitação, que visa principalmente inibir reações que causam formação de cor, coagulação de colóides solúveis, e formação do precipitado CaSO_3 (sulfito de cálcio), assim como objetiva diminuir a viscosidade do caldo e do xarope, massas cozidas e méis, facilitando as operações de evaporação e cozimento.

Após passar pelo tratamento inicial, o caldo deverá passar pela pasteurização com aquecimento e resfriamento imediato. Um tratamento mais completo do caldo implica adição de cal, aquecimento e posterior decantação, tratamento semelhante ao utilizado na fabricação de açúcar. O caldo clarificado deve ser concentrado para alcançar uma concentração adequada de açúcar para a fermentação. Na produção de etanol, quando a mistura de melaço da refinaria de açúcar não pode alcançar a concentração necessária de açúcar, evaporadores convencionais são geralmente empregados, embora evaporadores de efeito múltiplo apresentem menor consumo de vapor (DIAS *et. al.*, 2012).

De maneira geral, durante o processo de pasteurização, a fase de resfriamento do caldo é realizada em duas etapas. Na primeira, o caldo quente passa pelo trocador de calor regenerativo em contracorrente com o caldo misto frio. Então, o caldo misto é aquecido e o caldo para destilaria é resfriado (60 °C). Já na segunda etapa, o caldo é resfriado a cerca de 30 °C em trocadores de placa s utilizando água em contracorrente com fluido de resfriamento.

O caldo decantado ou clarificado é um produto do processo de clarificação que é formado por uma solução límpida e clara de sacarose. Como resíduo desse processo, tem-se a chamada torta, ou torta de filtro, que é utilizada na fertilização do solo para cultivo da cana-de-açúcar.

- **Produção de Açúcar:**

Conforme Pellegrini e Oliveira Junior (2011), o caldo clarificado é, então, obtido na estação de tratamento do caldo e é submetido a um processo de concentração, realizado em duas fases. Na primeira etapa, denominada de evaporação, é realizada em evaporadores de múltiplos efeitos, nos quais é concentrado e passa a ser denominado de xarope. Existem diversos tipos de evaporadores e suas características, vantagens e desvantagens foram observadas por Christodoulou (1996). A segunda fase ocorre quando o xarope é enviado ao processo de cozimento, o qual, em condições específicas de temperatura e pressão, é concentrado, ocasionando a cristalização da sacarose. Essa solução, denominada massa cozida, é descarregada nos centrifugadores, em que ocorre a separação do mel dos cristais pelo efeito da força centrífuga. O açúcar resultante é enviado para operações finais nas quais se realiza a secagem, a classificação, o acondicionamento e o armazenamento.

Dias *et. al.* (2015) afirmam que o caldo clarificado é concentrado em evaporadores de múltiplos efeito, geralmente no Brasil do tipo *Robert*, com 4 ou 5 passos de evaporação, a partir de cerca de 15 Brix (teor de sólidos solúveis) a 65 Brix. Os vapores são extraídos a partir do primeiro e segundo efeitos e usados como fonte de energia térmica em operações que envolvem calor no tratamento de sucos à produção de açúcar e colunas de destilação. Após a evaporação, ocorrem a ebulição, cristalização e centrifugação, podendo ser produzidos diferentes tipos de açúcar: exportação (VHP ou VVHP) e açúcar branco, para o mercado interno.

A principal diferença entre eles é o tratamento químico, que inclui sulfitação na produção de açúcar branco. Antes da cristalização da sacarose, é removida a água do xarope utilizando painéis de vácuo, de forma semelhante ao evaporadores, formando a denominada massa cozida. Depois de um certo tempo, a massa cozida é transferida para os cristalizadores, os quais consistem normalmente em tanques de mistura com um sistema onde a sacarose é deixada a cristalizar antes da centrifugação. A massa cozida é enviada para centrífugas para a separação do cristal do xarope, licor-mãe, a fim de se obter o açúcar propriamente dito. As centrífugas podem ser agrupadas em dois tipos: as intermitentes e as contínuas.

O açúcar produzido na centrifugação é geralmente seco num secador de tambor rotativo, em que a humidade é reduzida para cerca de 0,05-2,0%, dependendo do tipo produzido e, em seguida, arrefecido e armazenado antes da sua distribuição.

Silva (2007) explica que 800 a 1800 kg de massa cozida são carregadas no cesto da centrífuga, girando em baixa rotação (60 rpm). Dependendo do tipo e qualidade do açúcar a ser produzido, essa rotação é elevada rapidamente para 1200 rpm, por aproximadamente 3 minutos. Então, por força centrífuga, comprime a massa cozida contra a tela de aço, que só permite a passagem da parte líquida, o mel, e retém os cristais de açúcar que são maiores que os orifícios da mesma. A centrífuga é colocada novamente em baixa rotação (60 rpm), o fundo do cesto é aberto e o raspador de tela é acionado, coletando todo o açúcar retido. O mel é enviado para a destilaria para a produção de álcool e o açúcar, para os secadores de açúcar, que evitam a sua deterioração, sendo sua umidade reduzida a níveis da ordem de 0,1 a 0,2%. A temperatura do ar de secagem não deve ultrapassar 100 °C. Posteriormente, o açúcar é enviado para os setores de embalagem, geralmente em sacas de 50 kg, *big bag* de 1500 kg ou a granel e, finalmente, estocado.

- **Produção de Etanol:**

A produção do etanol, conforme Dalbem (2007), pode ser feita através de todo caldo extraído, nas chamadas destilarias autônomas, ou utilizando o caldo secundário e parte do caldo primário nas usinas de açúcar e etanol. Mediante explicado no processo de moagem, o caldo primário é utilizado para a produção de açúcar devido a seu maior teor de sacarose, exigindo, assim, menor dispêndio de energia para seu tratamento e uso na fabricação do açúcar. A parte do caldo primário, que não foi destinada à fabricação do açúcar, é misturada com o caldo secundário, formando o caldo misto, utilizado na produção do álcool.

As plantas integradas que fabricam açúcar e etanol usam uma mistura de melaço e caldo para a preparação do mosto. Parte do suco é concentrado até atingir o nível ótimo de conteúdo sólido necessário para o processo de fermentação. O etanol produzido no processo de fermentação é recuperado por destilação. Antes de entrar na coluna de destilação, o licor fermentado é aquecido para atingir a temperatura adequada para o processo de destilação. O etanol hidratado é obtido por extração e estágios de retificação. Visando remover a água restante e obter o etanol anidro, o processo de desidratação é necessário. Uma grande quantidade de vinhaça é

produzida e deve ser tratada como um efluente com alta demanda bioquímica e química de oxigênio (DALBEM, 2007).

A primeira etapa do processo é a preparação do mosto, composto por caldo clarificado, mel, xarope e água de diluição. O mosto é um produto intermediário que, após produzido, é armazenado e alimenta o processo de fermentação. (DALBEM, 2007).

O processo de fermentação mais utilizado nas destilarias do Brasil, conforme Pelegrine e Oliveira Junior (2010), é o processo *Melle-Boinot*, que se baseia na rápida separação do fermento que se encontra em suspensão no vinho; seu tratamento ácido é a sua reutilização em ciclos fermentivos subsequentes, ou seja, sua principal característica é a recuperação de leveduras através de centrifugação do vinho fermentado. Parte do caldo clarificado é misturado ao melaço da produção de açúcar (mistura chamada mosto), e enviado para as cubas de fermentação.

Dentro das cubas, açúcares são transformados em etanol e, durante a reação, há uma forte libertação de dióxido de carbono. A solução fica mais quente e alguns produtos secundários são formados, tais como: álcoois superiores, glicerol, aldeídos etc. A água de refrigeração é utilizada para manter a solução no interior das cubas a 32 °C a fim de não comprometer a cinética de fermentação e para evitar a formação desses subprodutos em excesso. Todo o processo de fermentação deve manter as condições de higiene, fator importante para o bom desempenho das leveduras. Desta forma, é recomendada a constante limpeza dos equipamentos utilizando-se água quente ou injeção de vapor (PELEGRINE; OLIVEIRA JUNIOR, 2010).

Ainda, consoante os autores, a mistura ao deixar as cubas, chamado de caldo fermentado, é enviada para os centrifugadores para recuperar a levedura, formando um concentrado de levedura recuperado, denominado leite de levedura, que retorna para os tanques de tratamento. Na fase de centrifugação leve, o caldo fermentado é enviado para colunas de destilação, nas quais o etanol do caldo é recuperado por destilação.

Conforme Marafante (1993), o processo de destilação visa à separação de misturas líquido-líquido homogêneas e utiliza a diferença do ponto de ebulição dos elementos que a compõem para promover a separação. A operação é realizada utilizando sete colunas espalhadas por três conjuntos (colunas sobrepostas): destilação, retificação e desidratação. A partir da destilação e retificação, é obtido etanol hidratado, que pode ser adicionalmente desidratado usando um agente de

desidratação por meio do emprego de substância sequestrante de água, tecnologia essa denominada de peneira molecular, produzindo-se, assim, o álcool anidro.

Ao longo dos últimos anos, o consumo de vapor nas colunas de destilação foi continuamente diminuindo devido a melhorias das colunas, assim como uma melhor integração térmica do processo, considerando-se a utilização de permutadores de calor regenerativos e, mais recentemente, o conceito de destilação de múltiplo efeito.

2.3.2 Avaliação do desempenho do processo de produção de açúcar e etanol

Segundo Fernandes (2011), ao longo de todo o processo de fabricação, ocorrem atividades de análise e mensuração dos dados do processo, possibilitando a criação de indicadores de desempenho. Os três principais objetivos do controle do processo de fabricação de açúcar e etanol são o controle da qualidade dos produtos intermediários, (caldos, xaropes, mosto, vinho), a garantia da qualidade dos produtos finais e a gestão das perdas de açúcares no processo para orientar sua redução e melhorar a eficiência industrial. Importante destacar que essas atividades são realizadas em laboratórios e permitem a mensuração da qualidade e eficiência do processo, intencionando a tomada de decisão dos gestores industriais.

Nesta tese, foi utilizada uma base de dados contendo os pontos de controle/indicadores de processos referentes à produção de açúcar e etanol, desenvolvida por uma empresa especializada no setor sucroenergético da região de Piracicaba, FERMENTEC, que, por intermédio de uma série de indicadores de desempenho coletados nas diversas etapas do processo produtivo, monitora e analisa a eficiência da planta industrial referente à produção de açúcar e etanol.

Os principais indicadores analisados referem-se às safras de 2010 a 2014 e, os pontos em que ocorrem as coletas das análises nos processos estão numerados de 1 a 19, conforme podem ser vistos na a figura 13.

Os principais pontos de controle/indicadores de processo e seus objetivos, utilizados para medir a eficiência do processo de produção e que são analisados pela Fermentec, podem ser vistos detalhadamente no anexo 1 e são divididos em 19 grupos, de acordo com o local do ponto de controle a que está relacionado. São eles: Grupo 1: Cana Ambiente

Objetivo: Determinar o teor de açúcares para pagamento de fornecedores, avaliação das eficiências industriais e teor de impurezas. Dois métodos são utilizados para extração dos açúcares, da prensa e do digestor.

Grupo 2: Cana

Objetivo: Monitorar a perda de açúcar durante a lavagem.

Grupo 3 e 4: Extração do Caldo

Objetivo: Monitorar a perda de açúcar e os parâmetros para obtenção da eficiência de extração e monitorar a pureza do caldo e os teores de açúcares e de fósforo (P_2O_5) para a clarificação.

Grupo 5: Tratamento do Caldo

Objetivo: Monitorar a pureza do caldo, o teor de açúcares, cor e o teor de impurezas.

GRUPO 6: Torta

Objetivo: Monitorar a perda de açúcar.

GRUPO 5 e 12: Mosto

Objetivo: Monitorar a pureza do caldo, o teor de açúcares, cor e o teor de impurezas e determinar o teor de açúcares utilizados na fermentação para obtenção das eficiências do setor, monitorar seus nutrientes e outros parâmetros relacionados.

Grupo 7, 8, 9 e 10: Mel Final

- Após Centrífugas

Amostra de Mel Final coletada logo após a saída das centrífugas da fábrica de açúcar (antes da estocagem).

Objetivo: Monitorar a pureza do caldo e o teor de açúcares, monitorar a pureza, cor e teor de açúcares e monitorar a pureza, o teor de açúcares e acidez para o mel final.

Grupo 14: Vinho Bruto

Objetivo: Determinar o teor alcoólico, utilizado para o cálculo da eficiência de fermentação e destilação, glicerol e acidez para balanço destes subprodutos, além do teor de açúcar residual não convertido pelas leveduras.

Grupo 13,14 e 19: Fermentação

Objetivo: Determinar a quantidade de álcool recuperado e a eficiência da torre de recuperação.

Grupo 13: Levedo Tratado

Objetivo: Determinar o teor alcoólico, utilizado para o cálculo da eficiência de fermentação, glicerol e acidez para balanço desses subprodutos e pH.

Grupo 15: Centrífugas

Objetivo: Determinar os teores alcoólicos e de levedo para cálculo da biomassa perdida.

Grupo 16: Perdas de Álcool em Relação ao Álcool Produzido

Objetivo: Determinar a perda de etanol na destilação.

Grupo 17: Produção e Rendimentos

Objetivo: Determinar a perda de etanol na destilação.

Grupo 18: Balanço de ART

Objetivo: Detalhar as perdas de açúcares que estão ocorrendo no processo industrial para melhoria da eficiência industrial.

Grupos 1, 2 e 3: Análises Complementares

Objetivo: Analisar dados complementares à entrada de matéria-prima e extração do caldo.

Grupo 11: Análises do Açúcar

Objetivo: Classificar e monitorar a qualidade do produto final.

Grupo 17: Produtividade

Objetivo: Medir a produtividade da fábrica.

Figura 13 - Pontos de coleta de informações do processo produtivo

Fonte: Fermentec (2016)

Ainda segundo a Fermentec (2016), a importância de medir todos esses indicadores se deve ao fato de que pequenas perdas de ART podem gerar perda financeira. Como exemplo, em uma usina que processa 2 milhões de toneladas de cana e cujo ART da cana é de 14,5%, 1% de ganho em eficiência da planta significa R\$ 2,3 milhões, o que justifica os muitos pontos de análise necessários para manter

o processo sob controle. A Tabela 2 mostra as principais perdas durante o processo produtivo.

Tabela 2 - Principais perdas de ART no processo produtivo (%)

Pontos de perdas na indústria	
descarregamento/estoque	0%
lavagem da cana	35%
preparo da cana	0%
extração	90%
tratamento do caldo (torta)	90%
destilaria	40%
fábrica de açúcar	
evaporação	30%
vácuos	30%
mel final	80%
águas residuais (piso)	30%

Fonte: Fermentec (2016).

Fernandes (2011) classifica as perdas de açúcares no processo industrial em perdas físicas, bioquímicas, microbiológicas e econômicas, conforme ilustrado no quadro 5. Muitas dessas perdas são detectáveis e medidas, porém outras são detectáveis e não medidas e até não detectáveis. As principais causas das perdas de açúcares no processo podem ser relativas à matéria-prima de má qualidade (muita impureza, dextrana, micro-organismos, cana não madura etc), condução inadequada do processo (baixo aproveitamento do tempo de processamento da cana, muitas paradas de curta duração, falta de material no equipamento, desatenção tecnológica, pH, trabalho fora de padrão, avaliação inadequada do processo etc.), fábrica e equipamentos (projeto, manutenção, vazamentos, tubulações, equipamentos desregulados ou inadequados etc.) e com a equipe de trabalho e manutenção (falta ou falha de treinamento, desmotivação etc.)

Quadro 5 - Classificação das perdas de açúcares no processo industrial

TIPO DE PERDA	DEFINIÇÃO
Física	Saídas de produtos do processo, como bagaço, torta, vinhaça, águas residuais, vazamentos de caldos, massas e méis, pó de açúcar.
Bioquímica	Hidrólise de sacarose por ação da enzima natural da cana, destruição química de açúcares, dependente do pH, temperatura, tempo de retenção e da concentração de açúcares.
Microbiológicas	Provocadas por bactérias e leveduras que entram no processo através da matéria-prima e multiplicam-se por deficiência sanitária.
Econômicas	Baixa qualidade de produtos finais, açúcar e etanol, conforme exigência dos clientes e consumidores

Fonte: baseado em Fernandes (2011).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo tem como objetivo explicar os procedimentos metodológicos adotados para a realização desta tese.

Para apresentar os elementos metodológicos desta pesquisa, serão analisados seus objetivos, classificado o tipo de pesquisa, apresentando o método, a base de dados e o instrumento de coleta de dados utilizado.

3.1 Delineamento da pesquisa

Segundo Gil (2002), pesquisa é um procedimento racional e sistemático cujo objetivo é obter respostas a problemas propostos. Para Freitas e Jabbour (2011), o primeiro passo para o início de uma pesquisa é a definição do objetivo e abordagem, a qual é dividida em três tipos, a saber: descritiva, exploratória e explicativa.

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa é o de **propor boas práticas de operação que colaborem para a eficiência de usinas de açúcar e etanol**.

Com base em seu objetivo, uma pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva e explicativa.

A pesquisa foi dividida em duas fases, e em relação à abordagem, ela pode ser definida como quantitativa descritiva, na primeira fase, e qualitativa explicativa, na segunda fase.

Para Vergara (1997), a pesquisa descritiva demonstra características de uma dada população ou fenômeno, podendo estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza, não tendo compromisso em explicar os fenômenos servindo como base para tal.

As pesquisas explicativas, conforme Gil (2002), têm como objetivo identificar os fatores, elementos que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Freitas e Jabbour (2011) afirmam que, quando a pesquisa é descritiva, a abordagem é quantitativa e quando a pesquisa se propõe a explicar ou descrever um fenômeno, a abordagem é qualitativa. Os dois métodos podem ser utilizados para uma investigação científica, caracterizando o que se chama de triangulação metodológica ou *mixed-methodology*, que é baseado no uso combinado e sequencial das duas fases, qualitativa e quantitativa ou vice-versa, ilustrado na figura 14. Ainda segundo

os autores, essa combinação metodológica é uma forma estruturada de se produzir conhecimento, superando as deficiências de cada uma das abordagens. As principais características de cada abordagem podem ser vistas no quadro 6.

Figura 14 - Triangulação metodológica

Fonte: baseado em Östlund *et. al.*(2011).

Desta forma, para a realização do objetivo proposto nesta tese, optou-se pela utilização mista de investigação, o terceiro paradigma metodológico, que conforme Morgan (2007), combina o uso de técnicas de pesquisa qualitativa e quantitativa na investigação científica.

Devido à sua complexidade, uma das etapas mais difíceis no processo de investigação mista é a análise de dados. Assim, a pesquisa foi dividida em duas partes, sendo a primeira predominantemente quantitativa descritiva, e a segunda qualitativa explicativa.

O paradigma quantitativo é baseado no positivismo, que é caracterizado pela pesquisa empírica; todos os fenômenos podem ser reduzidos a indicadores empíricos que representam a verdade. A posição ontológica do paradigma quantitativo é que não existe apenas uma verdade, uma realidade objetiva que exista independentemente da percepção humana. Epistemologicamente, o investigador e investigado são entidades independentes. Portanto, o investigador é capaz de estudar um fenômeno sem influenciá-lo ou ser influenciado por ele (SALE; LOHFELD; BRAZIL, 2002).

Quadro 6 - Abordagem qualitativa x quantitativa

Abordagem Qualitativa	Abordagem Quantitativa
A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural com a fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental;	Condução da pesquisa com hipóteses claramente especificadas e variáveis operacionalmente definidas;
A pesquisa qualitativa não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico na análise dos dados;	Preocupa-se com a medição objetiva e a quantificação dos resultados;
Parte de questões ou focos de interesses amplos, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve;	Busca a precisão, evitando distorções na etapa de análise e interpretação dos dados;
Envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos participantes da situação em estudo.	
O significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida é a preocupação essencial do investigador;	
Pesquisadores utilizam o enfoque indutivo na análise de seus dados.	

Fonte: Freitas e Jabbour (2011).

Segundo Cauchick (2010), o ato de mensurar as variáveis de pesquisa é a característica marcante da abordagem quantitativa. A estrutura lógica da pesquisa quantitativa pode ser vista na Figura 15 e suas principais preocupações são a mensurabilidade, a causalidade, a generalização e a replicação.

Em contraste com o paradigma quantitativo, o paradigma qualitativo é baseado no interpretativismo e no construtivismo. Sob uma perspectiva ontológica, existem várias realidades ou múltiplas verdades baseadas em sua construção da realidade. A realidade é socialmente construída e, por isso, está mudando constantemente. O investigador e o objeto de estudo são interativamente ligados, de modo que os resultados são mutuamente criados dentro do contexto da situação que molda o inquérito (SALE; LOHFELD; BRAZIL, 2002).

Figura 15 - Estrutura lógica da abordagem quantitativa

Fonte: Cauchick (2010).

Para Cauchick (2010), a característica que distingue a pesquisa qualitativa da quantitativa é a ênfase na perspectiva do indivíduo que está sendo estudado. Na abordagem qualitativa, a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos na pesquisa é considerada relevante e contribui para o desenvolvimento da pesquisa. As pesquisas qualitativas apresentam as seguintes características:

- ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos;
- delineamento do contexto do ambiente de pesquisa;
- abordagem não muito estruturada;
- múltiplas fontes de evidências;
- importância da concepção da realidade organizacional;
- proximidade com o fenômeno a ser estudado.

A visão predominante da história da pesquisa de métodos mistos identifica o início dessa abordagem, ou do seu desenvolvimento sistemático, com o trabalho de Campbell e Fiske (1959) na triangulação, tendo um crescimento real de estudos de método misto na década de 1980. Para Creswell e Clark (2011), "[...] o período de utilização de métodos mistos começou em 1950 e continuou até a década de 1980. Este período viu o interesse em usar mais de um método em um estudo [...]" (CRESWELL; CLARK, 2011, p. 25), e durante o final de 1980 até início de 1990,

muitos pesquisadores estavam utilizando uma nova abordagem de investigação, além da utilização distinta de métodos qualitativos e quantitativos em um estudo.

A importância do método misto pode ser justificada por Maxwell (2016), ao citar os estudos do estatístico David Freedman, nos quais argumenta sobre o valor da pesquisa qualitativa como um complemento à análise estatística, descrevendo uma série de estudos importantes dos séculos XX e XIX que combinavam evidências qualitativas e de raciocínio com os métodos experimentais e análise estatística como, por exemplo, a descoberta da causa da cólera. Segundo Freedman, os pesquisadores que dependem de observação de dados precisam de provas qualitativas e quantitativas, incluindo estudos de caso e que o uso de ferramenta única não é melhor; portanto, deve-se encontrar uma combinação adequada para as particularidades do problema.

Torrance (2012) argumenta que o princípio fundamental subjacente à justificativa do uso da abordagem do método misto é a triangulação. Para o autor, nenhum método isolado é capaz de analisar toda a abrangência de um fenômeno sob investigação. Por conseguinte, a utilização de dois ou mais métodos devem ser empregados para melhores possibilidades de resultados intelectuais. O pressuposto é que diferentes perspectivas podem ser geradas, o que dará uma amplitude maior e um quadro mais informativo daquilo que está acontecendo. Tais perspectivas terão maior validade do que as produzidas por um método único.

Pode ser que as fontes de dados diferentes gerem discrepância nas análises, mas essa possibilidade tem sido muitas vezes interpretada como justificativas para uma investigação mais aprofundada, sendo assim tratadas como descobertas interessantes, intrigantes, que informam que nosso entendimento original foi insuficiente e portanto, exigem mais dados a recolher e mais análises interpretativas a realizar (MATHISON, 1988; PATTON, 1980).

Torrance (2012) analisa o uso da triangulação na pesquisa, defendendo a combinação de metodologias no estudo do mesmo fenômeno. O autor cita quatro aspectos essenciais da triangulação:

- (A) triangulação de dados, isto é, diferentes fontes, tomadas ao longo do tempo;
- (B) de investigadores, isto é, o uso de times, se possível;
- (C) do método, isto é, a observação, entrevista, levantamentos, e assim por diante e;

(D) da teoria, ou seja, a interposição de suportar diferentes perspectivas teóricas sobre os dados.

A combinação de vários observadores, teorias, métodos e fontes de dados, podem levar a superar o viés intrínseco oriundo do método único.

Esta tese foi desenvolvida junto ao GREFIC, grupo de estudo de eficiência, coordenado pelo prof. Dr. Alexandre Pereira Salgado Junior da FEA-RP e com o apoio de mais cinco integrantes do grupo.

A seguir, serão detalhados os procedimentos metodológicos adotados na parte quantitativa e qualitativa desta tese, e os resultados preliminares alcançados.

3.2 Etapa quantitativa

Ao iniciar esta fase, os conceitos de eficiência e o modelo de eficiência adotado foram revisados. É importante ressaltar que se trata do estudo da eficiência técnica de usinas de açúcar e etanol, em que se buscou desprezar o efeito campo, como chuva, custos agrícolas etc. Coelli (1995) define eficiência técnica com orientação-produção como sendo a máxima produção para uma quantidade fixa de insumos.

A primeira parte deste trabalho, fase 1, pautou-se em procurar uma base de dados que, além de confiável, pudesse dar sustentação à tese.

Nessa busca, foram visitadas quatro usinas de açúcar e etanol que, através de conversas com os gestores industriais, possibilitaram o conhecimento da empresa Fermentec, um centro de tecnologia industrial, prestador de serviços e desenvolvedor de tecnologia para o setor de açúcar e etanol, que tem como objetivo transformar inovação tecnológica em eficiência técnica, possuindo pessoal qualificado e com vasta experiência no setor.

A empresa possui uma base de dados bastante robusta; seus clientes atuais processaram, na safra 2014/2015, 180 milhões de toneladas de cana, produziram 9 bilhões de litros de etanol e 10,5 milhões de toneladas de açúcar, respectivamente 38,79% e 27,48% da produção total brasileira de etanol e açúcar nesta safra.

Desta forma, foi realizado um contato com os diretores dessa empresa e firmado um contrato de confidencialidade para uso de sua base de dados, razão pela qual os nomes das usinas estudadas não aparecerem nesta tese. A partir desse fato, foi iniciado o processo de desenvolvimento da pesquisa quantitativa.

Nessa fase, os dados dos cinco anos, compreendendo as safras de 2010/2011 a 2014/2015 das 33 usinas, foram tratados em uma planilha eletrônica para, posteriormente, serem utilizados na técnica *DEA*. Estes dados são compostos por 168 variáveis de processo, e mais três variáveis utilizadas na mensuração de eficiência.

Foi analisada a representatividade da amostra e esta apresentou um erro amostral de 6,5% para um nível de confiança de 90%, sendo, portanto, uma amostra representativa do setor sucroenergético. O cálculo do tamanho da amostra foi realizado conforme a fórmula dada pela equação 1, conforme Santos (2017).

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)} \quad (1)$$

Onde:

n - amostra calculada

N - população

Z - variável normal padronizada associada ao nível de confiança

p - verdadeira probabilidade do evento

e - erro amostral

O período de tempo analisado de cinco anos pode ser justificado pelo fato de a fabricação de açúcar e etanol ser classificada como um processo contínuo de produção e necessitar de grande quantidade de medições diárias de volumes e massas, que estão sujeitas a erros de medições e de amostragem. Assim, visando uma maior acuracidade dos dados levantados, optou-se por analisar os dados de 33 usinas e um horizonte de tempo de cinco anos.

Foram então analisados 19 pontos de coleta de dados do processo de produção de açúcar e etanol (conforme Figura 13), 168 pontos de controle, e mais três pontos utilizados para a mensuração da eficiência, conforme mostrado no apêndice 1.

A escolha da técnica *DEA* se deu devido a três fatores importantes. O primeiro foi o fato de essa técnica ser utilizada em trabalhos pesquisados na literatura para cálculo da eficiência de plantas industriais, particularmente em usinas de açúcar e etanol, como pode ser visto no capítulo 2 do referencial teórico desta tese. Para corroborar com este fato, Pereira (2016) ressalta que “[...] 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) [...]”. (PEREIRA, 2012, p.2)

O segundo motivo para a escolha da técnica é que esta permite a determinação de uma eficiência relativa de cada *DMU* possibilitando, assim, a comparação entre elas, o que os métodos específicos do setor agroindustrial, em sua maioria, não permitem. Por fim, o terceiro motivo foi devido a sua natureza não paramétrica, ou seja, não necessita de pressupostos estatísticos que utilizem grandes quantidades de observações para sua comprovação.

O modelo *BCC* foi escolhido devido ao processo de produção de açúcar e etanol ser sensível à escala; já a escolha da orientação *output* ocorreu devido a dois fatores:

- 1- Conforme Fernandes (2011), nas usinas de açúcar e etanol, a principal medida da eficiência industrial é a porcentagem dos açúcares da cana que foram recuperados na forma de açúcares, álcool e outros produtos, ou seja, as usinas mais eficientes são aquelas que transformam o açúcar da cana na maior quantidade de produtos possíveis;
- 2- Devido ao fato de a escolha das variáveis para o modelo ter como objetivo isolar o máximo possível os aspectos agrícolas e considerar apenas fatores exclusivos do processo de produção industrial. O isolamento do processo agrícola não é total devido às impurezas minerais e vegetais estarem presentes na cana.

Desta forma, foi escolhido o modelo *BCC* orientado a *output*, que tem como objetivo maximizar a quantidade de *outputs* produzidos com a mesma quantidade de *inputs*, gerando o maior nível de eficiência possível.

Uma vez escolhido o modelo de eficiência, representado pela Figura 16, foi então decidida a quantidade de *DMU's*, usinas, que entrariam no estudo. O critério utilizado para tal dimensionamento foi o de escolher usinas que tivessem ao menos dois anos de coleta de dados contidas na base pesquisada, a fim de se evitar o problema do possível erro de coleta de dados.

Figura 16 - Modelo *DEA BCC* orientação *output* fonte

Fonte: elaborado pelo autor.

O modelo *DEA* proposto como definição de eficiência técnica teve como *input* a quantidade de açúcares totais recuperáveis, ou ATR (kg/t cana), que representam a quantidade de ART (açúcares redutores totais) recuperados da cana até o xarope, ou seja, representa o resultado do ART por tonelada de cana ($10 \times \text{ART}$) menos a soma das perdas nos processos de lavagem de cana, bagaço, torta dos filtros ou prensas e indeterminados, considerando a eficiência média padrão (FERNANDES, 2011).

Como *output* do modelo, foram considerados a quantidade de açúcar total produzido em toneladas (t) e o volume total de etanol em metros cúbicos (m^3). A definição das variáveis *DEA* pode ser observada no quadro 7.

A distribuição estatística descritiva dos dados utilizados para avaliação da eficiência técnica está detalhada na tabela 3. Nesse modelo, as usinas mais eficientes são aquelas que transformam o ATR da cana na maior quantidade possível de açúcar e etanol.

Embora a análise *DEA* seja uma técnica largamente utilizada, principalmente em pesquisa operacional, ela pode apresentar viés em seu score devido a amostras pequenas e a não necessidade de pressupostos estatísticos conforme Vasconcellos, Canem e Lins (2006). Para amenizar essa situação, foi utilizado, juntamente com a técnica de fronteira, o método *Bootstrap*, uma técnica baseada na ideia de repetidas simulações com a intenção de aproximar a distribuição original dos dados (HUANG; ELING, 2013).

Quadro 7 - Variáveis do modelo teórico da tese

Tipo de Variável	Denominação da Variável	Definição da variável	Fonte
<i>Input</i>	ATR (kg/t cana)	“Açúcares totais recuperáveis”, ou ATR (kg/t cana), representam a quantidade de ART (açúcares redutores totais), que são todos os açúcares da cana na forma de açúcares redutores. O ATR constitui um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado no estado de São Paulo.	Fernandes (2011)
<i>Output 1</i>	açúcar total produzido em toneladas (t)	As usinas produzem diversos tipos de açúcar branco direto e açúcar bruto (VHP, VVHP), classificados em função da cor, teor de cinzas, umidade, amido, dextrana, etc, conforme solicitação do comprador. Todo açúcar deve ser pesado antes de sair da empresa ou ser enviado para depósitos ou armazéns.	Fernandes (2011)
<i>Output 2</i>	volume total de etanol em metros cúbicos (m³)	Os diferentes tipos de graduações de alcoóis produzidos devem ser convertidos a 100% (álcool absoluto ou etanol) para serem somados.	Fernandes (2011)

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Estatística descritiva: *input e outputs*

	<i>ATR (t)</i>	<i>Produção de açúcar (t)</i>	<i>Produção de etanol (m³)</i>
Mínimo	126.030,72	63.881,04	31.819,24
Máximo	958.749,79	703.150,99	246.365,36
Média	416.347,68	276.746,03	106.080,25
Mediana	361.585,69	263.242,14	90.134,08
Desvio	209.855,55	160.574,93	54.526,08
Padrão			

Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Marques e Silva (2006), o método *DEA* possui uma série de vantagens e também cuidados com seu uso. Por ser uma técnica não paramétrica, não permite a inferência estatística dos resultados obtidos, o que condiciona o seu uso empírico, mas quando se consegue reduzir o valor da ineficiência, através do

método *Bootstrap*, e a sua amplitude é baixa, os resultados são interessantes, contrapondo-se assim a alguns dos problemas apontados pela literatura.

Conforme destaca Xavier (2014), o método *Bootstrap* introduzido por Efron (1979), consiste em criar, por intermédio de simulações, “*uma reamostragem estatística da amostra de dados originais, com o objetivo de gerar inferências da distribuição da amostra original por meio de estimadores que são independentes dos valores da amostra em si.*”

Simar e Wilson (1998, 2000) foram os primeiros a utilizar a combinação *DEA* e *Bootstrap*, criando um algoritmo com 11 passos para a aplicação do método em análises não paramétricas, visando corrigir o viés e criar intervalos de confiança para os escores, permitindo a realização de inferências estatísticas sobre os resultados *DEA*.

Nessa primeira etapa, foram calculados os escores de eficiência usando entradas e saídas especificadas sem levar em consideração as 171 variáveis não controláveis do modelo. Assim, estimaram-se os ganhos de eficiência técnica com correção de viés através da obtenção de estimativas de *Bootstrap* e dos escores *DEA* para as indústrias da amostra, utilizando o procedimento desenvolvido por Simar e Wilson (1998, 2000). Todos os cálculos foram feitos utilizando o programa *PIM DEA®*.

O modelo permitiu, além dos benefícios supracitados, a normalização da distribuição dos escores de eficiência das *DMU's*, permitindo que o trabalho seguisse para uma segunda etapa, em que foi utilizada uma abordagem em dois estágios, sendo o segundo estágio a aplicação de uma regressão truncada, conforme mostrado na figura 17.

Após o primeiro estágio, a aplicação *DEA* com *Bootstrap*, utilizou-se um segundo estágio, com um modelo de regressão truncada, no qual o escore *DEA* do primeiro estágio foi usado como a variável dependente, e as variáveis de processo como a variável independente dentro de um modelo de regressão truncada. Essa metodologia também foi utilizada por Xavier (2014), ao pesquisar a análise da eficiência do setor sucroenergético brasileiro.

Segundo Wanke e Affonso (2011), as abordagens *DEA* em dois estágios “*são fruto do reconhecimento, por parte dos pesquisadores, de que fatores ambientais ou variáveis contextuais podem influenciar de forma significativa nos escores de eficiência*”. Baseado na literatura, o autor afirma que a utilização de *DEA* com regressão no segundo estágio apresenta desempenho equivalente ao melhor dos

métodos paramétricos na estimação do impacto de variáveis contextuais na produtividade.

Figura 17 - DEA segundo estágio com regressão truncada

Fonte: criado pelo próprio autor.

Paralelamente à análise *DEA*, as variáveis indicadoras de processo, variáveis explicativas, relacionadas às etapas do processo produtivo, foram analisadas e tratadas matematicamente.

Em primeiro lugar, foi feita a seleção de variáveis, pois, segundo Thanassoulis (1996), trata-se de um ponto determinante, já que alterações no conjunto de variáveis selecionadas podem exercer um impacto direto nos resultados e, consequentemente, na análise dos dados da avaliação.

Mello *et. al.* (2003) concordam que os critérios e, fundamentalmente, os métodos de seleção de variáveis devem ser vistos como instrumentos de auxílio à decisão que orientarão os resultados finais. Diante disso, Angulo-Meza (2007) afirma que especialistas, gestores e tomadores de decisão devem usar a experiência, bom-senso e desprendimento no momento da escolha/seleção das variáveis.

Ao ser feita a análise do banco de dados inicial, constatou-se que algumas variáveis explicativas possuíam poucos dados enviados pelas usinas, o que obrigou a tomada de decisão em relação aos dados e o uso de técnicas estatísticas para o tratamento dos mesmos. Desta forma, um primeiro passo foi eliminar as variáveis que tivessem mais de 50% de dados ausentes para não comprometer as análises posteriores, reduzindo as 168 variáveis de processo iniciais a 121 variáveis.

Ainda com o intuito de melhorar a qualidade da análise e os modelos matemáticos utilizados, foi feita uma segunda redução das variáveis explicativas de 121 para 71 variáveis, utilizando-se da análise de quintil e, de acordo com a opinião do especialista, ponderando sempre a relação dessas variáveis com os parâmetros selecionados na análise técnica.

Verificou-se, posteriormente, que havia dados ausentes nas 71 variáveis escolhidas. A ausência dos dados é um problema comum em investigações científicas e tem desafiado os pesquisadores no planejamento e análise com objetivo de determinar os preditores que contribuem para prever a ausência ou presença de características numa população (LITTLE, RUBIN, 1987; SCHAFER, 1997; PIGOTT, 2001; SCHAFER, GRAHAN, 2002).

Deste modo, utilizou-se a técnica de Imputação de Dados Faltantes (*Missing Data Imputation*), técnica estatística que permite completar os dados faltantes, sejam quantitativos, categóricos, ordinais ou nominais, permitindo a análise de todos os indivíduos do estudo (SCHAFER, 1997).

O presente trabalho usou a Imputação Múltipla, em que o pesquisador pôde lidar com dados faltantes de todos os tipos: quantitativos, categóricos ordinais, nominais etc. A técnica de Imputação Múltipla de Dados consiste em três passos: primeiro, são obtidos *m* bancos de dados completos por meio de técnicas de imputação; depois, separadamente, os *m* bancos são analisados por um método estatístico tradicional, como se realmente fossem conjuntos completos de dados e; finalmente, os *m* resultados encontrados no passo 2 são combinados, de forma simples e apropriada, para se obter a chamada Inferência da Imputação Repetida.

Para iniciar o processo de Imputação Múltipla de Dados, é preciso considerar, ainda, o mecanismo de ausência dos dados, que pode ser relacionado a perdas completamente ao acaso (*Missing Completely At Random –MCAR*), perdas ao acaso (*Missing At Random –MAR*) e perdas não aleatórias (*Not Missing At Random –NMAR*). Depois de verificado esse mecanismo, deve-se analisar o padrão dos dados faltantes que pode ser monotônicos e não monotônicos (SCHAFER, 1997).

Por meio do software *Statistical Package for Social Sciences® (SPSS)*, versão 22.0, iniciou-se a análise para qualificar a base de dados quanto às características de aleatoriedade da amostra, bem como o padrão de ausência. Na primeira análise, identificou-se que a ausência dos dados configurava o tipo *MCAR (Missing Completely*

at Random), ou seja, a ausência dos dados é totalmente aleatória, o que é bom para Imputação.

Quanto aos padrões de ausência, identificou-se que a amostra apresentava um padrão não monotônico, ou seja, não há repetição do padrão de ausência. Posto que a ausência dos dados é aleatória e sem padrão estabelecido, prosseguiu-se com a substituição dos dados usando o Modelo de Monte Carlo.

Uma vez que os dados foram substituídos e completados na base já trabalhada com 71 variáveis, iniciou-se o segundo estágio, com o uso do método de regressão truncada.

Existem na literatura trabalhos de diversas áreas que abordam *DEA* utilizando a regressão truncada no segundo estágio que permite melhorar o ajuste dos erros em modelos que relacionam variáveis independentes com o escore de eficiência, cuja variação fica naturalmente limitada entre zero e 1. A regressão truncada, além da limitação na variável dependente, estima os coeficientes pelo método da máxima verossimilhança, reduzindo o erro padrão e sendo um modelo mais adequado quando comparado ao método dos mínimos quadrados (WANKE; BARROS, 2014; LEE; WORTHINGTON, 2014; WIJESIRI; VIGANÒ; MEOLI, 2015; STEWART; MATOUSEK; NGUYEN, 2016; CHOWDHURY, ZELENYUK, 2016; WANG; ZHAO; ZHANG, 2016).

Ainda nesse sentido, Simar e Wilson (2007) propuseram inferências consistentes na regressão truncada do segundo estágio, construindo, simultaneamente, intervalos de confiança e produzindo erros padrão ao escore de eficiência no *DEA*.

Antes de se executar a regressão truncada, verificou-se primeiro a correlação entre as variáveis independentes, uma a uma, analisando se havia correlação entre elas e sua influência. Após ser verificada a matriz de correlação, fez-se o teste de multicolinearidade (WANKE; BARROS, 2014) onde na interpretação da variável estatística de regressão, deve ser considerada a correlação entre as variáveis independentes. Julga-se ideal que as variáveis independentes sejam altamente correlacionadas com a variável dependente, mas com pouca correlação entre si. A multicolinearidade pode afetar a estimação dos coeficientes de regressão e sua significância estatística (HAIR *et. al.*, 2009). O teste de multicolinearidade resultou na eliminação de 42 variáveis por terem *Variance Inflation Factor* (VIF) maior que 10, restando 29 das 71 variáveis originais.

Essas 29 variáveis foram regredidas utilizando o *software* STATA®, o qual gerou o modelo da regressão truncada, cujos resultados serão discutidos na seção 4, análise preliminar dos resultados.

Desta forma, o segundo estágio do modelo matemático pautou-se em uma regressão truncada para estimação das variáveis explicativas.

3.3 Etapa qualitativa

Nessa fase, foi realizado um estudo de caso em uma usina eficiente, definida pela técnica *DEA* aplicada na abordagem quantitativa, e uma entrevista semiestruturada com especialistas da Fermentec, por ser esta empresa conhecida no setor sucroenergético, possuir mais de 40 anos de experiência no desenvolvimento e difusão de novas tecnologias para o avanço do setor e por possuir uma equipe de profissional altamente qualificada nas áreas de Química, Bioquímica, Microbiologia e Agronomia.

Para Eisenhardt (1989), o estudo de caso normalmente combina vários métodos de coleta de dados como arquivos, entrevistas, questionários e observações, sendo as provas de ordem qualitativa, quantitativa ou ambos. O estudo de caso pode ser utilizado para realizar vários objetivos, e os principais compreendem fornecer uma descrição à teoria de teste ou gerar uma teoria. Da mesma forma, Freitas e Jabbour (2011) afirmam que outro importante objetivo é o aumento da compreensão e do entendimento sobre os eventos reais contemporâneos.

A seleção do caso é um importante aspecto do processo de construção de estudos de caso. O conceito de uma população é muito importante, pois ela define o conjunto de entidades a partir da qual a amostra da pesquisa será desenhada. Além disso, a seleção de uma população adequada controla possíveis variações e ajuda a definir os limites para a generalização das descobertas.

A escolha da usina a ser estudada ocorreu por julgamento e conveniência. Escolheu-se uma usina eficiente, segundo a análise quantitativa, com a finalidade de verificar as boas práticas que poderiam contribuir para a sua eficiência.

Com o objetivo de entender também o processo de produção de açúcar e etanol, e as boas práticas relacionadas às variáveis explicativas, encontradas após a análise *DEA*, foi realizada uma entrevista com dois especialistas em produção de açúcar e etanol da Fermentec.

Deste modo, foi possível identificar boas práticas de operação junto aos principais fatores que podem explicar a variação na eficiência técnica relativa.

O instrumento de pesquisa utilizado, tanto no estudo de caso como com o especialista, foi um roteiro de entrevista semiestruturado. A entrevista na usina foi realizada com o diretor industrial, com o gerente industrial e com o responsável pela coleta e análise dos dados dos laboratórios de análises físico-químicas da usina.

O estudo de caso, segundo Yin (2005), representam uma boa estratégia quando [...] “se colocam questões do tipo “como” e “por quê”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real”. A pesquisa de estudo de caso inclui tanto estudo de caso único quanto de casos múltiplos.

Para que um estudo de caso seja feito, cinco componentes do projeto de pesquisa são importantes (YIN, 2005):

- 1- as questões de estudo;
- 2- suas proposições;
- 3- sua unidade de análise;
- 4- a lógica que liga os dados às proposições e
- 5- os critérios para interpretar as constatações.

Para Yin (2005), projetos de casos múltiplos apresentam vantagens e desvantagens em relação aos projetos de casos únicos. Uma vantagem importante é a de ser considerado mais convincente e o estudo global é visto como algo mais sólido. Assim, este modelo segue a lógica da replicação e não da amostragem. Sua abordagem pode ser vista na figura 18.

Figura 18 - Método do estudo de caso

Fonte: Yin (2005).

3.3.1 Protocolo do estudo de caso

O protocolo de estudo de caso, de forma geral, apresenta as seções de visão geral do projeto, procedimentos de campo, questões do estudo de caso e o guia para relatório do estudo de caso, sendo uma das principais táticas para aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso, orientando o pesquisador ao realizar a coleta de dados a partir de um estudo de caso único (YIN 2005).

Para Cauchick (2007) *“o protocolo deve incluir um guia para a condução do caso, uma definição clara das unidades de análise, como os dados serão coletados e com quem, check lists, itens de controle para a pesquisa etc.”* Se a técnica utilizada para levantamento de dados for a entrevista, o entrevistador deve ser imparcial para que tenha sucesso na coleta dos dados, não devendo se limitar apenas à entrevista.

Para Yin (2005), o protocolo do caso deve conter uma visão geral do projeto de estudo de caso, procedimentos de campo, questões do estudo de caso e um guia para o relatório do estudo realizado. Já para Freitas e Jabbour (2011), o protocolo serve como um *check list* ao pesquisador, devendo apresentar os seguintes itens:

- 1- questão principal de pesquisa;
- 2- objetivo principal;

- 3- temas da sustentação teórica;
- 4- definição da unidade de análise;
- 5- potenciais entrevistados e múltiplas fontes de evidências;
- 6- período de realização;
- 7- local da coleta de evidências;
- 8- obtenção de validade interna, por meio de múltiplas fontes de evidência;
- 9- síntese do roteiro de entrevista.

Com base nesses itens, foi elaborado para esta tese um protocolo de estudo de caso que pode ser visto no apêndice 2.

Para a coleta dos dados a serem levantados nessa fase, foi criado um instrumento de pesquisa e um roteiro de entrevista semiestruturado, que permite aferir, em profundidade, as análises realizadas na fase quantitativa. Esse instrumento pode ser observado no apêndice 3.

3.3.2 Técnicas de análise dos dados qualitativos

Cauchik (2007) afirma que não apenas a coleta dos dados deve ser apresentada, mas também a forma com que estes serão analisados, devendo ser estabelecidos meios apropriados para tal a fim de possibilitar, de forma robusta, a ligação eficaz entre os dados e a teoria, permitindo chegar a conclusões sólidas.

Para a análise dos resultados da pesquisa qualitativa, será utilizada a técnica de análise de conteúdo com a finalidade de validar os resultados das entrevistas semiestruturadas que serão realizadas junto à usina de cana-de-açúcar e o especialista. Conforme Bardin (2011), esta análise é caracterizada por um conjunto de técnicas de análise de comunicações. Ainda conforme o autor, “qualquer comunicação, isto é, qualquer transporte de significações de um emissor para um receptor controlado ou não por este, deveria poder ser escrito, decifrado, pelas técnicas de análise de conteúdo” (BARDIN, 2011, p. 32). A figura 19 mostra as fases de aplicação da técnica.

Figura 19 - Fases da análise de conteúdo

Fonte: Carlucci (2012).

As etapas de desenvolvimento da abordagem qualitativa da tese podem ser visualizadas na Figura 20.

Figura 20 - Etapas da abordagem qualitativa

Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 Resumo dos procedimentos metodológicos

O Quadro 8 apresenta um resumo dos procedimentos metodológicos utilizados.

Quadro 8 - Procedimentos metodológicos

Procedimento Metodológico	Descrição
1. Abordagem da Pesquisa	Abordagem mista – quantitativa descritiva e qualitativa explicativa
2. Métodos de pesquisa	Pesquisa bibliográfica e estudo de múltiplos casos
3. Amostra da etapa quantitativa	33 usinas e 168 variáveis de processo
4. Amostra da etapa qualitativa	1 usina eficiente e um especialista de processo
5. Informantes-chave	Diretores, gerentes e técnicos industriais
6. Técnicas de coleta de dados	Entrevista semiestruturada, observação sistemática, e análise documental
7. Técnicas de análise de dados	Análise Envoltória de Dados (DEA), Regressão truncada, Análise de Conteúdo e Síntese Cruzada dos Dados

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 21 apresenta um resumo das abordagens quantitativas e qualitativas adotadas nesta tese.

Figura 21 - Procedimentos metodológicos: abordagem quantitativa e qualitativa

Fonte: elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo abordar os resultados obtidos na análise quantitativa, através da aplicação das técnicas *DEA* e da análise qualitativa, por meio das informações colhidas no estudo de caso e na entrevista com especialista, conforme pode ser ilustrado na Figura 22. Foi feita, então, a triangulação dos dados entre o referencial teórico, a etapa quantitativa e a qualitativa para poder verificar o objetivo geral desta tese.

Figura 22 - Proposta de Boas Práticas

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1 Resultados da etapa quantitativa

A partir do objetivo geral de pesquisa, isto é, propor boas práticas de operação que colaborem para a eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol, foram analisados os dados de 33 usinas durante cinco anos, referente às safras de 2010/2011 a 2014/2015, utilizando a técnica *DEA*.

Na primeira etapa, foi aplicada a técnica *DEA BCC Bootstrap* com orientação a *output* utilizando o programa *PIM DEA®*, gerando o gráfico de fronteira (gráfico 4).

Gráfico 4 - Gráfico da fronteira de eficiência

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir desta análise, criou-se um *ranking* de eficiência em que foi possível perceber a diferença da eficiência técnica entre as *DMU's* pesquisadas, ressaltando a possibilidade de ganhos de competitividade das plantas industriais, confirmando Santos (2016), a respeito da diferença da eficiência de produção de etanol entre as usinas.

A Tabela 4 sumariza os resultados da análise envoltória de dados, de acordo com a *DMU*, a quantidade de safras observadas de cada usina no período analisado e o escore, bem como a correção do viés. Os dados de todas as 33 usinas pesquisadas nos cinco anos, correspondentes às safras 2010 a 2015, podem ser observados no apêndice 4, juntamente com o escore *DEA* elaborado.

Apesar de o modelo utilizado para mensurar eficiência ter apenas três variáveis, fato que aumenta a discriminação das unidades, é possível notar que a amostra observada não possui muita disparidade entre os escores, variando na faixa de 0,85 a 1,00. Neste ponto, o estudo corrobora com Borenstein *et. al.* (2010) no sentido da alta competitividade do setor e na paridade de eficiência. Essa pequena dispersão observada acentua a importância da identificação de fatores que contribuam para a melhoria da eficiência do processo produtivo.

Tabela 4 - Escores médios obtidos pela análise de eficiência

<i>DMU</i>	<i>N. Safras</i>	<i>Escore médio</i>	<i>Viés</i>	<i>Escore médio corrigido</i>
1	4	0,8637	0,0016	0,8621
2	4	0,9303	0,0083	0,9219
3	5	0,9705	0,0081	0,9625
4	4	0,9836	0,0096	0,9740
5	5	0,9729	0,0075	0,9654
6	5	0,9983	0,0014	0,9969
7	4	0,9828	0,0069	0,9759
8	5	0,9136	0,0081	0,9056
9	4	0,9346	0,0053	0,9293
10	4	0,9569	0,0058	0,9510
11	3	0,9517	0,0113	0,9404
12	4	0,9621	0,0059	0,9562
13	3	0,9214	0,0071	0,9142
14	3	0,9195	0,0029	0,9166
15	2	0,8671	0,0066	0,8605
16	3	0,8950	0,0039	0,8911
17	4	0,9452	0,0097	0,9354
18	3	0,9189	0,0046	0,9142
19	3	0,9962	0,0028	0,9934
20	4	0,9642	0,0062	0,9580
21	4	0,9782	0,0088	0,9694
22	4	0,9316	0,0048	0,9268
23	4	0,9662	0,0053	0,9609
24	3	0,8761	0,0064	0,8697
25	4	0,9333	0,0022	0,9312
26	5	0,9571	0,0034	0,9537
27	2	0,9452	0,0049	0,9403
28	5	0,9932	0,0036	0,9896
29	2	0,9480	0,0138	0,9342
30	3	0,9594	0,0060	0,9534
31	3	0,8983	0,0034	0,8949
32	3	0,9774	0,0039	0,9735
33	3	0,9350	0,0075	0,9274

Fonte: elaborado pelo autor.

É importante observar que existem usinas eficientes de todos os tamanhos. De acordo com Salgado Junior, Bonacim e Pacagnella Junior (2009), a eficiência em

análises *DEA* independe do tamanho da usina, pois o importante é a proporção entre os *inputs* e *outputs* do modelo que tornam a *DMU* eficiente ou não.

A observação dos escores de eficiência proporcionou não só uma visão comparativa das eficiências entre as usinas pesquisadas, como também a análise das folgas, ou seja, as diferenças de eficiência entre as usinas e a fronteira de eficiência. Foi feita então a mensuração das perdas, caso todas as usinas estivessem na fronteira de eficiência. O cálculo da ineficiência relativa de cada usina, em cada ano, comparativamente com a fronteira de eficiência, pode ser visto no apêndice 5.

A tabela 5 mostra um resumo das oportunidades de ganhos das usinas pesquisadas durante as safras de 2010/2011 a 2014/2015.

Para se ter uma ideia da dimensão dessas perdas, elas são equivalentes a aproximadamente três anos de produção da maior usina existente na base de dados pesquisada. Conforme Fermentec (2016), cada 1% nas perdas industriais representa 1,8 milhão de litros de etanol ou 55 mil sacas de açúcar.

Tabela 5 – Perda de Oportunidade – cálculo das folgas relativas à fronteira de eficiência.

	Produção Total 33 usinas safras 2010/2011 a 2014/2015	Perda Total 33 usinas safras 2010/2011 a 2014/2015	Perda Média	Perda Total Financeira safras 2010/2011 a 2014/2015
Açúcar	33.489.269,43 (ton.)	1.685.009,80 (ton.)	5,03 (%)	R\$ 2.595.254.690,74
Etanol	12.835.709,82 (m³)	709.952,06 (m³)	5,53 (%)	

Fonte: elaborado pelo autor.

Posteriormente, foi elaborado o histograma dos escores *DEA BCC Bootstrap* das usinas de açúcar e etanol, conforme mostra gráfico 5. Através do histograma, pode-se perceber se a distribuição de dados tem um comportamento normal, porém, conforme Pestana e Gacielo (2005), o uso de testes para essa finalidade, como o teste *Kolmogorov-Smirnov* (K-S), é importante para verificar a real aderência dos dados à normalidade.

Gráfico 5 - Histograma dos escores *DEA BCC Bootstrap* das usinas de açúcar e etanol

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme Hair *et. al.* (2009), o teste trabalha com duas hipóteses (H_0 – a amostra segue uma distribuição normal e H_1 – a amostra não segue uma distribuição normal), sendo a primeira refutada quando o $\text{Sig.} < 0,05$.

Os resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov (teste K-S), pode ser observado na tabela 6. Ele foi realizado no *software* SPSS® e denota a existência de uma distribuição normal, com significância correspondendo a 0,074.

Tabela 6 - Teste de normalidade KS para as usinas de açúcar e etanol

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VAR00001	.077	121	.074	.959	121	.001

a. Lilliefors Significance Correction

Fonte: elaborado pelo autor.

A tabela 7 apresenta a eficiência média das *DMUs* agrupadas por período, resultando na eficiência média dos cinco períodos analisados. Assim como avaliação do escore médio por usina, o viés também foi corrigido no escore médio dos períodos, aumentando a confiabilidade da informação enquanto variável dependente da regressão.

Tabela 7 - Eficiência por período

	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
N	23	25	29	28	16
Escore médio	0,9617	0,9415	0,9404	0,9420	0,9577
Viés	0,0066	0,0057	0,0055	0,0063	0,0052
Escore Corrigido	0,9550	0,9358	0,9349	0,9358	0,9524

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao longo de todo o processo de fabricação de açúcar e etanol, ocorrem atividades de análise e mensuração de variáveis associadas a cada etapa de fabricação, possibilitando a criação de indicadores de desempenho desse processo. Essas variáveis são obtidas através do controle de produtos intermediários, tais como: caldos, xaropes, mosto e vinho.

Nesta pesquisa, foram analisadas 168 variáveis de processo que foram submetidas a um teste de multicolinearidade, resultando em 29 variáveis que foram posteriormente sujeitas a uma análise de regressão truncada, apresentada na tabela 8.

De acordo com a amostra estudada, houve no setor um decréscimo da eficiência entre as safras de 2011/2012 a 2013/2014, coincidindo com a análise do gráfico 3, que mostra a queda de ATR e da produção do etanol no período.

As 29 variáveis utilizadas na regressão estão representadas no Quadro 9. As mesmas variáveis foram regredidas utilizando o *software* STATA®, no qual se gerou o modelo da regressão truncada. Após a regressão truncada, foram observadas as variáveis encontradas com valores calculados menores do que $\alpha=5\%$, rejeitando-se a hipótese nula, e incorporando-as ao modelo, apresentando significância estatística Wald menor que 5% e erro padrão em 2,17, com margem de confiança de 95%. Essas variáveis foram também comparadas com a análise de quintil e a opinião do especialista, resultando em sete variáveis explicativas e três variáveis resultantes, englobadas em um conjunto chamado Balanço de ART. Tais variáveis são calculadas em função das variáveis medidas no processo.

Tabela 8 - Resultados da regressão truncada

Escore		Coef.	Std. Err.	z	P> z	[9	f. Interval]
> 5% Con							
v2	-.016039	.0228258	-0.70	0.482	-.0607768	.0286988	
v3	-.0531816	.0116471	-4.57	0.000	-.0760094	-.0303538	
v10	-.80913	.2020513	-4.00	0.000	-1.205143	-.4131168	
v14	.0031893	.0010883	2.93	0.003	.0010564	.0053223	
v15	.2534386	.1315902	1.93	0.054	-.0044735	.5113507	
v17	.0170134	.0501764	0.34	0.735	-.0813305	.1153573	
v21	.0038462	.0083232	0.46	0.644	-.0124669	.0201593	
v23	-.0074035	.0075339	-0.98	0.326	-.0221695	.0073626	
v24	.4142838	.4421273	0.94	0.349	-.4522698	1.280837	
v25	.0577182	.0241768	2.39	0.017	.0103326	.1051038	
v26	.0962219	.050441	1.91	0.056	-.0026407	.1950845	
v27	-1.582635	1.844873	-0.86	0.391	-5.198519	2.03325	
v28	.9766438	3.137534	0.31	0.756	-5.172811	7.126098	
v29	.5598065	.1371932	4.08	0.000	.2909127	.8287002	
v32	.9417612	2.73584	0.34	0.731	-4.420386	6.303908	
v33	-.0016703	.0008886	-1.88	0.060	-.0034119	.0000712	
v43	.197647	.0564234	3.50	0.000	.0870592	.3082349	
v44	-4.675238	2.108549	-2.22	0.027	-8.807917	-.5425582	
v45	-13.94157	6.129943	-2.27	0.023	-25.95604	-1.927106	
v49	.2608261	.1925678	1.35	0.176	-.1165998	.638252	
v52	.0264889	.0707591	0.37	0.708	-.1121964	.1651743	
v53	.1379012	.0820218	1.68	0.093	-.0228585	.2986609	
v57	1.537394	.9737095	1.58	0.114	-.3710418	3.445829	
v58	-.1344946	1.102103	-0.12	0.903	-2.294576	2.025587	
v59	-2.310383	.9189451	-2.51	0.012	-4.111482	-.5092839	
v60	.4393097	.2595534	1.69	0.091	-.0694055	.948025	
v61	.0339846	.0229484	1.48	0.139	-.0109935	.0789627	
v70	-.0108364	.0731732	-0.15	0.882	-.1542532	.1325805	
v71	-.1084361	.1317811	-0.82	0.411	-.3667222	.14985	
_cons	63.83091	44.93601	1.42	0.155	-24.24206	151.9039	
/sigma	2.439653	.1792772	13.61	0.000	2.088276	2.79103	

^a Significant at the 5% level.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 9 - Variáveis da regressão

<i>Produto final</i>	<i>Processos</i>	<i>Indicadores</i>
Processos comuns à produção de açúcar e etanol	Agrícola	Cana-de-açúcar picada entregue (%)
		Tempo de entrega da cana (h)
		Pureza na prensa (%)
		Dextrana (mg/L na base Brix)
		Broca (%)
	Extração do caldo	Tempo de aproveitamento geral (%)
		Fibra (t/h)
		Embebição da fibra (%)
		Extração Total do ART (%)
		ART da cana-de-açúcar ensacada (%)
	Torta de filtro	Torta (kg/t de cana-de-açúcar)
		ART perdido (%)
Produção de etanol	Mosto	Impurezas (%)
		Temperatura (°C)
		Etanol na base brix (%)
		Bastonetes x 10 ⁵ / mL
		Levedo (%)

<i>Produto final</i>	<i>Processos</i>	<i>Indicadores</i>
		Relação ao Etanol Produzido - Vinhaça (%)
		Relação ao Etanol Produzido - Flegmaça (%)
Processo comuns à produção de açúcar e etanol	Rendimento	Recuperado Total Corrigido (%)
		Produtividade Etanol (L/t)
		Produtividade Açúcar (Kg/t)
		Perdas das águas dos multijatos vácuos
		Perdas dos Multijatos nos Filtros (%)
		Perdas das águas residuais (%)
Produção de etanol	Rendimento	Perdas indeterminadas (%)
Produção de açúcar	Análises do Açúcar	Antibióticos (mg/L)
		Pureza do Mel Rico (%)
		Pureza do Mel Pobre (%)

Fonte: elaborado pelo autor

As sete variáveis explicativas, de acordo com a análise realizada, são aquelas que podem explicar a diferença de eficiência entre as usinas pesquisadas, representando os pontos de controle mais importantes em todo o processo produtivo de açúcar e etanol, os quais podem ser visualizados na Figura 23 e no Quadro 10.

Figura 23 - Variáveis de processo

Fonte: elaborado pelo autor baseado em Dias (2012).

No início do processo, uma variável pertencente ao processo agrícola mostrou-se bem importante para a eficiência industrial, (1) o tempo de entrega da cana-de-açúcar. A literatura encontrada justifica que, operações de transporte da matéria-prima retirada do campo para a indústria, requerem um limite de horas e continuidade da mesma, sendo que longos períodos de armazenamento afetam a qualidade e a rentabilidade da cana-de-açúcar (KADWA; BEZUIDENHOUT, 2015; CARVALHO; ANTUNES; FREIRE, 2016; MASOUD; KOZAN; KENT, 2016).

Segundo Fernandes (2011), a cana colhida começa a se deteriorar logo após a queima ou corte, perdendo açúcares em função do tempo, perdas essas detectadas a partir da realização do balanço de ART feito na análise da cana que chega à usina. A cana colhida mecanicamente, cana picada, seja ela queimada ou crua, deve ser processada, no máximo, em 12 horas, e a cana queimada e cortada, em, no máximo, 48 horas. Com o passar do tempo, a cana, além de perder açúcar, propicia a formação de dextranas, altamente prejudicial ao processo industrial, uma das variáveis participantes do processo produtivo.

Quadro 10 - Variáveis resultantes da regressão

N. Variável	Nome	Fase	Polaridade
1	Tempo de entrega da cana (h)	1- cana ambiente	(↓) Quanto menor melhor
2	Extração ART do caldo (%)	1 - cana - moagem	(↑) Quanto maior melhor
3	Perda ART na torta de filtro (%)	1 - cana - filtragem	(↓) Quanto menor melhor
4	Levedo %	3- produção de Etanol	(↑) Quanto maior melhor
5	Bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / ml)	3- produção de Etanol	(↓) Quanto menor melhor
6	Perda de álcool na Vinhaça (%)	3- produção de Etanol	(↑) Quanto maior melhor
7	Perda de álcool na Flegmaça (%)	3- produção de Etanol	(↓) Quanto menor melhor
8	Balanço de ART - perda de águas residuais (%), perdas indeterminadas (%), Recuperado Total corrigido –RTC (%)	balanço de ART	(↓) Quanto menor melhor

Fonte: elaborado pelo autor.

Assim, a variável apresentou um comportamento não normal, mediana igual a 18,19 horas, polaridade negativa, ou seja, quanto menor o tempo de entrega, melhor é análise de quintil, conforme tabela 9.

Tabela 9 – Dados da variável Tempo de Entrega

Tempo de entrega da cana (h)						
Mediana	Análise de Quintil					Polaridade
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.	
18.19	13.69	22.765	13.59	17.93	36.6

Fonte: elaborado pelo autor.

A variável (2) relacionada à extração de ART do caldo (%) destacou-se devido à ocorrência de três fatores. O primeiro diz respeito à quantidade de impurezas minerais (terra, areia), vegetais (folhas, estilhaços) e coloidais (ceras, proteínas) do caldo da cana-de-açúcar que, em grande quantidade, afetam a qualidade e eficiência do processo, visando produzir caldo em menor quantidade possível de turbidez, cor e teor de cal (MARQUES *et. al.*, 2001; DALBEM *et. al.*, 2006; REIN, 2007; EGGLESTON; MONGE, 2005; BENEDINI; BROD; PERTICARRARI, 2009; THAI; BAKIR; DOHERTY, 2012; BAKIR *et. al.*, 2016). No processo agrícola, a ausência de chuva e a transição para o sistema de colheita mecanizada elevou a quantidade de impurezas minerais e vegetais levadas do campo à indústria, ocasionando dificuldade na manutenção da qualidade do produto final (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2008; RIPOLI; RIPOLI, 2008; ARRIGONI, 2011; BOTELHO; MACEDO, 2002; GALLO *et. al.*, 2002; DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013).

O segundo fator diz respeito à moenda, mais precisamente, à quantidade de ternos da moenda, à sua regulação de velocidade de moagem, à sua capacidade de moagem e à quantidade de paradas para manutenção. O terceiro fator engloba a quantidade de água na embebição para a maior extração de caldo (FERMENTEC, 2016).

A variável extração de ART do caldo (%) apresentou comportamento não normal, mediana igual a 95,85%, polaridade positiva, ou seja, quanto maior a extração de ART do caldo, melhor e análise de quintil, conforme tabela 10.

A perda de ART na torta de filtro (kg/t), variável (3), responde por aproximadamente 10% do total das perdas, conforme Fermentec (2016), sendo um importante fator na determinação do Recuperado Total Corrigido (RTC) um importante

índice de eficiência industrial obtido através da técnica de análise do digestor (Fernandes, 2011).

Tabela 10 – Dados da variável Extração ART do Caldo (%)

Extração ART do Caldo (%)					
Mediana	Análise de Quintil				
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.
95.85	96.135	96.03	95.82	95.495	95.595

Fonte: elaborado pelo autor.

Para Fernandes (2011), as menores perdas mensuráveis do processo industrial são as da torta dos filtros, que normalmente ficam abaixo de 0,5%, podendo chegar a 1,5% e tornar-se significativas. Medir a quantidade de torta diariamente é uma rotina para a maioria das usinas brasileiras, embora algumas pesem apenas algumas cargas e extrapolem os resultados para todos os carregamentos.

Para manter as perdas da torta de filtro baixa, deve-se ater aos fatores estruturais, ao dimensionamento correto dos filtros, e aos operacionais, como o processo de moagem, impurezas na matéria-prima, manutenção de equipamentos e concentrações de lodo (FERMENTEC, 2016).

A variável Perda de ART na Torta de Filtro (kg/t) apresentou comportamento normal, média igual a 0,4955%, polaridade negativa, ou seja, quanto menor a perda de ART na torta, melhor é a análise de quintil, conforme tabela 11.

Tabela 11 – Dados da variável Perda de ART na Torta de Filtro (%)

Perda ART na torta de filtro (%)					
Média	Análise de Quintil				
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.
0.4955	0.4083	0.4804	0.5440	0.5038	0.5392

Fonte: elaborado pelo autor.

A porcentagem (%) de levedo, variável (4), é de importante acompanhamento e mensuração, sendo a escolha das leveduras a ser utilizada no processo de

fermentação um fator-chave na permanência do fermento durante o decorrer da safra, pois conforme Amorin *et. al.* (2011), a contaminação do processo industrial, causado por bactérias, pode inibir o processo de fermentação. Segundo a Fermentec (2015), a seleção de leveduras resistentes à contaminação bacteriana pode aumentar a eficiência do processo fermentativo.

Além da perda de açúcar causado por contaminação de bactérias, a mensuração de variáveis como vinhaça e levedo necessitam ser efetuadas, pois podem aumentar o volume de vinhaça produzido, e conseqüentemente, decrescer a produção de etanol (DIAS *et. al.*, 2012; PALACIOS-BERECHE *et. al.*, 2014).

A variável levedo (%) apresentou comportamento não normal, mediana igual a 32,14%, polaridade positiva, ou seja, quanto maior o levedo (%), melhor é a análise de quintil conforme tabela 12.

Tabela 12 – Dados da variável levedo (%)

Levedo (%)					
Mediana	Análise de Quintil				Polaridade
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.
32.14	35.71	32.775	31.47	31.62	29.265

Fonte: elaborado pelo autor.

A variável (5), bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / ml) está diretamente relacionada à contaminação do caldo e do mosto por bactérias. Eggelston, Basso e Amorin (2007) afirmam que a contaminação bacteriana é um dos fatores que mais afeta a fermentação alcoólica, já que reduz o rendimento em etanol, causando muitos problemas operacionais, como o aumento do tempo de fermentação, redução do rendimento fermentativo, prejudicando o processo de centrifugação do levedo e levando a um aumento de custos (CHERUBIN, 2003).

Essa variável apresentou comportamento não normal, mediana igual a 0,4955 %, polaridade negativa, ou seja, quanto menor a quantidade de bastonetes, melhor é análise de quintil conforme tabela 13.

Tabela 13 – Dados da variável bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / ml)

Bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / ml)					
Mediana	Análise de Quintil				
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.
82.36	81.45	64.61	71.49	71.14	131.015

Fonte: elaborado pelo autor.

As variáveis (6) e (7), perda de álcool na vinhaça (%) e na flegmaça (%) estão relacionadas à eficiência da destilaria, às variações de vapor, ao tempo de aproveitamento industrial e ao teor alcoólico do vinho, que deve ser mantido alto. A manutenção do teor alcoólico do vinho está concatenada com a quantidade de AR no mosto, com o bom controle da temperatura de fermentação, com a seleção de leveduras resistentes ao teor alcoólico e com a manutenção de níveis baixos de contaminação. Usinas com teor alcoólico elevado, além de terem maior RTC – Recuperado Total Corrigido, têm menos volume de vinhaça por litro de etanol (FERMENTEC, 2016).

A vinhaça é um subproduto do processo de fabricação de açúcar e etanol, sendo utilizado na fertirrigação, na produção de levedo para indústria, na geração de energia no processo produtivo de biogás e até mesmo como alimento na pecuária (CORTEZ; MAGALHÃES; HAPPI, 1992; ROBERTIELLO, 1982; CORTEZ; LORA, 2007; LAIME, 2011; CHRISTOFOLETTI *et. al.*, 2013).

A fermentação representa uma significativa fração da perda de açúcar nas usinas sucroalcooleiras e um enfraquecimento do processo de destilação. Pode-se assumir, então, que a verificação do levedo tratado e da porcentagem de vinhaça no etanol produzido permitem o aumento da produção de etanol, assim como a redução de produção de vinhaça (DIAS *et. al.*, 2012).

As variáveis perda de álcool na vinhaça (%) e na flegmaça (%) apresentaram comportamento não normal, mediana 0,18% e 0,04 respectivamente, polaridade negativa, ou seja, quanto menor a quantidade de perda de álcool na vinhaça e na flegmaça, melhor e análise de quintil conforme tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Dados da variável perda de álcool na vinhaça (%)

Perda de álcool na Vinhaça (%)						
Mediana	Análise de Quintil					Polaridade
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.	
0.18	0.145	0.16	0.18	0.28	0.255

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 15 – Dados da variável perda de álcool na flegmaça (%)

Perda de álcool na flegmaça (%)						
Mediana	Análise de Quintil					Polaridade
	Q. sup.	4	3	2	Q. inf.	
0.04	0.030	0.035	0.030	0.045	0.045

Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo Fernandes (2011), os cálculos do modelo de eficiência RTC foram desenvolvidos pela Fermentec e são utilizados em diversas usinas brasileiras, sendo um importante indicador de performance industrial por não sofrer influência do *mix* de produção. Em virtude disso, foi feito neste trabalho uma comparação entre o RTC das usinas pesquisadas e o *ranking* de eficiência calculado pela análise *DEA*, o que demonstrou que o modelo proposto de análise da eficiência está em consonância com os métodos existentes de cálculo da eficiência industrial, conforme pode ser observado na tabela 16 e apêndice 6.

A análise das perdas de ART, durante a fabricação de açúcar e etanol, pode se dar em diversas etapas do processo. O balanço de massa de ART tem como objetivo detalhar as perdas de açúcares que ocorrem no processo, sendo que o total é obtido pela diferença entre o total de ART que entra no processo (cana processada, méis e melaço de terceiros) e o total de ART referente aos produtos finais (açúcar, álcool, leveduras, xaropes e mel comercializado). Existem também as perdas indeterminadas, que são perdas de ART não detectáveis e não mensuráveis mais os erros ocorridos de amostragem, análise e medições (FERNANDES, 2011).

Tabela 16 - Comparação *ranking* Modelo *DEA* x Modelo *RTC*

Posição	DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC	Posição	DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC	Posição	DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC
1	5	100	2012/2013	94,15	41	35	97,11	2011/2012	91,32	81	72	93,6	2012/2013	91,19
2	6	100	2013/2014	93,76	42	36	96,69	2014/2015	93,26	82	76	93,55	2010/2011	90,62
3	3	100	2011/2012	94,39	43	37	96,4	2014/2015	92,22	83	73	93,41	2010/2011	92,87
4	4	100	2012/2013	93,80	44	58	96,4	2010/2011	89,92	84	80	93,39	2011/2012	90,42
5	1	100	2010/2011	86,39	45	38	96,39	2014/2015	94,17	85	87	92,95	2012/2013	92,17
6	79	100	2011/2012	90,95	46	39	96,39	2011/2012	95,11	86	100	92,93	2013/2014	91,23
7	2	100	2011/2012	93,84	47	40	96,36	2011/2012	93,85	87	77	92,85	2014/2015	87,25
8	57	100	2014/2015	92,58	48	59	96,35	2013/2014	92,41	88	78	92,56	2013/2014	91,61
9	91	100	2013/2014	90,37	49	42	96,34	2012/2013	93,08	89	88	92,44	2012/2013	90,08
10	19	100	2014/2015	93,18	50	41	96,29	2011/2012	91,29	90	83	92,43	2012/2013	95,87
11	12	99,94	2010/2011	93,88	51	51	96,21	2013/2014	91,32	91	90	92,3	2013/2014	92,69
12	7	99,9	2012/2013	95,40	52	53	96,19	2010/2011	93,02	92	85	92,16	2012/2013	89,81
13	8	99,88	2010/2011	93,03	53	43	96,14	2010/2011	94,39	93	86	91,94	2011/2012	84,30
14	9	99,81	2013/2014	92,82	54	44	96,01	2012/2013	92,23	94	92	91,26	2012/2013	91,87
15	10	99,74	2010/2011	94,97	55	52	95,99	2014/2015	92,81	95	89	91,26	2010/2011	90,30
16	11	99,72	2014/2015	94,99	56	45	95,98	2014/2015	99,52	96	93	90,94	2011/2012	93,98
17	13	99,71	2013/2014	94,64	57	46	95,96	2014/2015	90,53	97	94	90,88	2013/2014	90,63
18	15	99,69	2014/2015	93,95	58	47	95,95	2014/2015	92,34	98	95	90,75	2012/2013	90,59
19	14	99,49	2012/2013	92,03	59	48	95,77	2010/2011	91,10	99	96	90,74	2010/2011	85,90
20	29	99,15	2010/2011	95,72	60	61	95,75	2012/2013	90,91	100	97	90,63	2012/2013	92,80
21	16	99,06	2010/2011	93,67	61	70	95,72	2013/2014	89,78	101	98	90,57	2011/2012	91,56
22	17	98,83	2013/2014	91,91	62	116	95,59	2010/2011	88,96	102	105	89,82	2013/2014	91,24
23	18	98,76	2012/2013	94,22	63	50	95,51	2011/2012	91,10	103	103	89,7	2013/2014	89,87
24	82	98,76	2012/2013	87,68	64	67	95,27	2012/2013	92,92	104	99	89,53	2013/2014	91,21
25	74	98,55	2010/2011	91,26	65	54	95,06	2013/2014	92,84	105	102	89,49	2013/2014	91,02
26	20	98,2	2013/2014	92,86	66	55	95	2012/2013	92,23	106	101	89,49	2014/2015	89,97
27	34	98,11	2010/2011	95,35	67	84	94,97	2014/2015	93,08	107	104	89,29	2012/2013	91,92
28	21	97,92	2011/2012	92,49	68	56	94,96	2014/2015	92,65	108	106	88,91	2012/2013	91,90
29	22	97,9	2011/2012	93,46	69	81	94,62	2013/2014	92,99	109	107	88,74	2013/2014	88,60
30	23	97,89	2011/2012	93,64	70	60	94,52	2012/2013	89,28	110	108	88,7	2012/2013	89,40
31	24	97,83	2010/2011	90,20	71	69	94,48	2011/2012	92,24	111	109	88,59	2011/2012	91,33
32	25	97,77	2013/2014	93,49	72	62	94,48	2012/2013	90,83	112	110	88,01	2010/2011	89,25
33	26	97,61	2012/2013	92,78	73	114	94,35	2011/2012	86,82	113	111	87,81	2013/2014	89,98
34	49	97,53	2013/2014	93,58	74	68	94,28	2011/2012	93,29	114	112	87,67	2012/2013	87,90
35	28	97,5	2013/2014	93,03	75	63	94,14	2013/2014	92,73	115	113	87,36	2011/2012	88,22
36	27	97,5	2011/2012	92,00	76	64	94,08	2010/2011	91,02	116	119	87,22	2014/2015	90,73
37	30	97,42	2010/2011	93,60	77	65	94,05	2013/2014	87,78	117	115	86,94	2011/2012	91,21
38	31	97,36	2011/2012	92,27	78	66	94,01	2012/2013	92,82	118	117	85,67	2011/2012	90,74
39	32	97,33	2010/2011	94,03	79	75	93,74	2010/2011	94,57	119	118	84,91	2011/2012	89,23
40	33	97,25	2012/2013	93,25	80	71	93,65	2013/2014	95,80	120	121	84,82	2013/2014	87,05
										121	120	83,08	2012/2013	88,50

Fonte: elaborado pelo autor.

Dentre estas perdas, pode-se verificar a variável (8), que representa as perdas de águas residuais (%) e perdas indeterminadas (%), que são variáveis resultantes do processo, ou seja, seu cálculo depende dos fatores estruturais e operacionais das etapas de produção. Segundo a Fermentec (2016), cerca de 80% das perdas determinadas ocorrem no bagaço, decorrentes do tipo de equipamento (moenda ou difusor), número de ternos, fatores operacionais e qualidade da matéria-prima. A torta de filtro responde por cerca de 10% das perdas determinadas, resultante da mecanização da colheita, que tem exigido uma maior relação de área de filtragem por tonelada de cana processada.

O gráfico 6 ilustra as principais perdas determinadas em relação ao total perdido de ART no processo produtivo.

Gráfico 6 - Perdas determinadas

Fonte: baseado em Fermentec (2016).

É importante ressaltar que todas as variáveis pesquisadas são importantes para a qualidade e eficiência do processo produtivo, pois todas fazem parte do sistema e, frequentemente, interagem. A correta coleta de materiais para análise laboratorial e o controle dos parâmetros de processo são importantes para a tomada de decisão e competitividade da empresa.

Conforme os resultados apontaram, das 168 variáveis analisadas, sete variáveis são as que podem explicar a diferença de eficiência entre as usinas pesquisadas, fato este que foi observado e estudado em profundidade no estudo de

campo realizado. A Figura 24 ilustra as abordagens utilizadas para concluir essa etapa do trabalho.

Figura 24 - Abordagens utilizadas

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Resultados da etapa qualitativa

Para entender com mais profundidade como os indicadores encontrados na fase quantitativa impactam na eficiência das usinas, foi realizado um estudo de caso em uma usina considerada eficiente pelo *ranking DEA* e uma entrevista com dois especialistas em processos de produção de açúcar e etanol.

A ideia inicial era visitar duas usinas eficientes, localizadas na fronteira de eficiência *DEA*, e duas menos eficientes, por julgamento e conveniência, conforme *ranking* de eficiência criado na etapa quantitativa. Desta forma, foram feitos contatos com as usinas de maneira decrescente do *ranking* de eficiência, porém, dada a dificuldade encontrada para obter autorização para visitar as usinas, optou-se por ir a apenas uma usina eficiente e entrevistar especialistas do setor com o objetivo de conhecer os processos e atividades relacionadas às sete variáveis levantadas na etapa quantitativa, e que podem ser consideradas como boas práticas de produção que proporcionam maior eficiência às *DMU's* estudadas.

A eficiência industrial de uma usina, conforme Fernandes (2011), é definida como a porcentagem dos açúcares que entram com a cana e que são recuperados nos produtos finais, como açúcar e etanol, convertidos em ART de entrada e saída. Desta forma, conhecer as fontes de perdas de ART e as boas práticas para evitá-las é importante para melhorar a eficiência do setor sucroalcooleiro.

Ainda segundo Fernandes (2011) e Fermentec (2016), as principais causas de perda de açúcares no processo industrial podem ocorrer devido à:

1. Matéria-prima de má qualidade – devido a impurezas minerais que causam mais lodo, desgaste de equipamento, micro-organismos, dextrana e cana não madura que podem ocasionar o aparecimento de ácidos orgânicos.
2. Condução inadequada do processo – devido ao baixo aproveitamento do tempo de processamento de cana e paradas em excesso, falta ou excesso de carga na moenda, uso errado de insumos, descontrole de temperatura, pH e laboratório com processos de análise e amostragem inadequados.
3. Fábrica e projetos – projeto da fábrica inadequado, vazamentos em bombas e tubulações, equipamentos desregulados ou inadequados e falta de manutenção adequada.
4. Equipe de trabalho e supervisão – falta de treinamento, desmotivação e falta de compromisso.

Durante o processo de coleta de dados, através das entrevistas realizadas na usina e com especialistas, foi determinada, para cada uma das sete variáveis levantadas pela fase quantitativa, uma meta, de tal forma que esta pudesse ser considerada um *benchmarking*.

Segundo Paim *et. al.* (2009), o conceito de *benchmark* envolve a determinação de metas comparáveis e o entendimento de como as empresas homólogas alcançam essas metas através de seus processos. O *benchmark* das práticas organizacionais utiliza as melhores práticas dos modelos de referência, competidores ou líderes da indústria para identificar oportunidades de melhoria.

Ruiz e Sirvent (2016) afirmam que, na gestão empresarial, as organizações utilizam o *benchmark* para avaliação de seus processos em comparação com as melhores práticas de outras empresas de um setor industrial, possibilitando a aprendizagem e obtenção de melhorias de desempenho. Em seu artigo, os autores propuseram uma abordagem baseada em *DEA* para *benchmarking* e *ranking* das *Unidades de Tomada de Decisão (DMU's)*.

Na definição das metas para as sete variáveis, foram analisadas as 121 usinas da base de dados e foram utilizados os dados das 21 *DMU's* melhores ranqueadas conforme escore de eficiência calculado na fase quantitativa, ou seja, 17,35% das usinas. Assim, utilizou-se a média ou mediana das variáveis dependendo se esta tinha um comportamento normal ou não normal, respectivamente.

Para a realização dessa fase da pesquisa, utilizou-se o protocolo de estudo de caso e o instrumento de pesquisa elaborado, juntamente com o questionário semiestruturado para as entrevistas, os quais podem ser vistos no apêndice 2 e 3, respectivamente.

4.2.1 Estudo de caso da DMU 52 e entrevista com especialistas

A visita à usina escolhida foi realizada no dia 20 de março de 2017, e embora ela não esteja na fronteira de eficiência, possui indicadores que a coloca entre as mais eficientes pesquisadas, principalmente em relação às sete variáveis definidas na fase quantitativa do estudo. Por motivo de confidencialidade, não será citado o nome da mesma que, a partir de agora, será chamada simplesmente de DMU 52.

Foi entrevistado o diretor industrial, que possui cerca de sete anos de experiência na área e também responde pela gerência dos laboratórios de controle. Além dele, o gerente industrial, com cerca de 30 anos de experiência e o gerente agrícola, que possui aproximadamente 15 anos de experiência no ramo, também participaram das entrevistas. O organograma do setor industrial pode ser visto na figura 25.

Figura 25 - Organograma do setor industrial

Fonte: elaborado pelo autor.

A DMU 52 está situada na região de Ribeirão Preto, foi fundada há 32 anos e possui cerca de 1800 colaboradores. Atualmente, para a safra 2016/2017 terá 100% de mecanização no plantio e colheita da cana. Possui práticas sustentáveis como o reflorestamento de 1200 hectares de áreas de preservação permanente, plantando cerca de 200 mil mudas de árvores por ano na região em que opera. Além disso, possui uma central de gerenciamento de resíduos, que são classificados, segregados, armazenados e, posteriormente, destinados a locais corretos. Segundo o diretor industrial, a empresa busca sempre aprimorar a qualidade de seus processos produtivos, a excelência de sua equipe operacional e a implantação de ações ambientais e sociais.

Como principal ponto fraco, devido à idade de seus equipamentos, possui eficiência relativa da ordem de 96%, sendo praticamente impossível passar desse patamar. Para compensar tal problema e conseguir manter seu índice de eficiência nas últimas quatro safras, investe bastante na qualidade operacional. Na área industrial, possui uma equipe de dez líderes com grande experiência em processo e conhecimento da planta; a grande maioria com mais de 20 anos de trabalho na própria usina. Segundo o gerente industrial, esse é um dos pilares da eficiência da usina, além de seus laboratórios de análise de produtos e subprodutos que são considerados referência no setor e de ter uma boa integração e coordenação das áreas agrícolas e industrial.

Atualmente, a usina opera acima da capacidade, moendo aproximadamente 4 milhões de toneladas por safra, produzindo cerca de 171 mil m³ de etanol e 4,1 mil toneladas de açúcar, não fazendo cogeração de energia.

A entrevista com os especialistas que trabalham em uma empresa fundada em 1977 por um professor da ESALQ-USP, na região de Piracicaba, ocorreu em 03 de fevereiro de 2017. A empresa possui uma equipe de profissionais altamente qualificada que tem colaborado para o desenvolvimento e difusão de tecnologias para o setor sucroenergético por meio de treinamento, assessoria, pesquisa e encontros anuais, que promovem um *networking* entre os profissionais do ramo. Os entrevistados possuem graduação em Engenharia Química e em Ciências Biológicas, ambos possuem pós-graduação e são especialistas em processo e microbiologia de açúcar e etanol, além de ministrarem treinamento e assessorarem usinas em todo o Brasil. Por razões confidenciais, não serão citados seus nomes.

Depois de explanados os objetivos da pesquisa, foram feitas perguntas sobre os processos de produção de açúcar e etanol, relacionados às sete variáveis encontradas na fase quantitativa da pesquisa, conforme instrumento de pesquisa.

As respostas às entrevistas semiestruturadas realizadas na usina e com os especialistas foram compiladas e descritas a seguir.

1. Tempo de entrega da cana

Benchmark – usinas eficientes entregam a cana na usina em 12,7 horas.

Usina – A usina trabalhou na safra 2015/2016 com um tempo médio de 7h16min. Ela possui um *software* de logística, de desenvolvimento próprio, que detalha e otimiza cada área em relação à distância média, à quantidade de cana, às características da cana (fibra, sacarose, etc.) e aos recursos necessários para a colheita. Esse processo é executado tanto para cana própria como de terceiros. Todo o sistema Corte Carregamento e Transporte (CCT) é próprio, característica esta que, segundo o gerente agrícola e industrial, é essencial para garantir a eficiência. A área agrícola tem se esforçado muito nos últimos anos para diminuir as impurezas vegetais e minerais e, assim, evitar problemas na moenda e contaminação do caldo. Atualmente, a usina tem 26% de cana de fornecedores, sendo que 100% da cana deles é colhida e transportada pela usina.

O processo logístico se inicia com as frentes de colheita passando o tempo de carregamento que as colhedoras levam para carregar os transbordos e o tempo que o transbordo leva para sair do malhador (local onde os transbordos carregam as carretas do rodotrem), ir até a colhedora, carregar, retornar e transbordar na carreta. Depois que cada frente de colheita coleta essas informações, eles fornecem para o controle de tráfego, onde ele alimenta com essas informações de cada frente de colheita e assim o sistema calcula a quantidade de caminhões canavieiros necessários para manter a frente colhendo, sem parar aguardando caminhão e nem ficar com fila na frente de colheita. O sistema também leva em conta o tempo de trajeto dos caminhões canavieiros. Depois de inseridas as informações e o sistema efetuar os cálculos, ele vai despachando os caminhões, conforme necessidade de cada frente.

O sistema é atualizado e refaz todos os cálculos cada vez que ocorre um evento e o controlador informa. Os eventos podem ser quebra de máquina, mudança de tempo de carregamento, parada para refeição, entre outros.

Caso o tempo de entregue aumente, há uma necessidade maior de equipamentos trabalhando para que mantenha a quantidade de cana entregue sem afetar o processo industrial. Esse fato impacta diretamente nos custos, devido à maior quantidade de máquinas utilizadas (colhedora, transbordo, canavieiros), e mão de obra para essas máquinas.

O tempo de entrega em dias em que a indústria está moendo na sua capacidade normal e a área agrícola está com a entrega normal é de aproximadamente quatro horas (caminhão sai da usina, chega ao campo, carrega, retorna para a usina e desengata no pátio de estoque dentro da usina). Além desse tempo, a carga que fica parada no pátio como estoque fica em média três horas até que ocorra a descarga da carreta, porém o caminhão que a trouxe apenas deixa essa carreta cheia e já engata outra para fazer o ciclo novamente.

Esse tempo pode aumentar quando há uma ineficiência da indústria ou algum processo da área agrícola (quebra de colhedora, transbordo, canavieiro) ou, ainda, quando o canavial está com baixa produtividade.

Especialista: O grande problema não é o tempo de entrega em si, mas as consequências que ele traz. A análise pode ser feita da seguinte forma: quanto maior o tempo de entrega, menor a quantidade de ART e esse fato passa a ser um problema quando você tem menos cana que a capacidade instalada da usina.

A grande consequência do tempo de entrega diz respeito à contaminação, principalmente quando é cana picada. Assim, quanto maior o tempo de entrega, pior a qualidade da cana, menor o ART de entrada e maior a quantidade de bactérias e leveduras. Estas duas passam a produzir ácidos orgânicos e álcool que consomem o açúcar da cana, diminuindo, por conseguinte, o ART. Além disso, esses compostos geram a dextrana, uma polimerização da glicose, que vai junto com o caldo e diminui a qualidade do produto final.

O aumento de contaminantes faz com que a usina tenha que usar mais insumos para o tratamento do caldo. Isso eleva o custo de produção podendo causar perda de qualidade no açúcar final.

Outro fator importante em relação ao tempo de entrega é que, ao se acelerar o processo, ou seja, colher mais rápido, aumenta-se a quantidade de impurezas vegetais e minerais, as quais geram maior contaminação, menos ART, maior desgaste de equipamento, maior gasto de insumos, pior qualidade de produto final e, portanto, menor eficiência.

Sob o prisma do especialista, os principais fatores que afetam o tempo de entrega, em ordem de importância, são: o fator climático, a logística, o raio médio do canavial e a cana própria ou de terceiros, embora este fator não seja uma regra, pois depende de como é feita a coordenação de corte, coleta e transporte.

O quadro 11 resume os dados coletados nas entrevistas em relação à variável.

Quadro 11 – Tempo de entrega

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Estudo de caso - Usina safra 2014/2015	Atividades/Processos			
			Estudo de Caso na Usina		Especialista	
			Estrutural	Operacional	Estrutural	Operacional
Tempo de entrega da cana (h)	<p>A mediana do Tempo de entrega da cana (h) das usinas eficientes foi de 12,07 horas</p> <p>Quartil Q5 - 13,69 4 - 22,77 3 - 13,59 2 - 17,93 Q1 - 36,60</p>	4,99 horas	Recursos para CCT suficientes, sistema de informação logístico	Gestão logística, CCT próprio	Raio médio do canavial, quantidade de recursos CCT suficientes	Logística, coordenação do corte e transporte de cana de terceiros

Fonte: elaborado pelo autor.

2. Extração Total ART (%)

Benchmark – usinas eficientes extraem 96,14% de ART

Usina: Atualmente, a usina apresenta extração da ordem de 95,6% e é praticamente impossível aumentar esse índice devido à planta industrial ser antiga e também trabalhar acima da capacidade instalada, ou seja, em condições normais de operação a moenda não tem capacidade de moer toda a cana na entrada. A moenda atual possui seis ternos, e dado que sua capacidade não pode ser ampliada, é preferível aumentar a velocidade de moagem, perdendo eficiência industrial, a deixar a cana no campo.

Outro fator que dificulta a extração é a taxa de embebição, que hoje é de 150%, ou seja, adiciona-se 150% de água em relação à quantidade de fibra de cana que está

entrando no processo. Essa quantidade deveria ser maior, porém ela está limitada pela quantidade de vapor disponível no sistema, pois, para cada litro de água adicionado, seria necessário 1 kg de vapor para retirá-lo. Assim, se for adicionada mais água no sistema, a usina terá dois problemas. O primeiro é a falta de vapor, e o segundo é que, por ser uma moenda pequena, ela não terá capacidade de drenar. Esses dois fatores limitam a moagem e, conseqüentemente, a extração de ART.

Além dos fatores citados, a quantidade de paradas da moenda também diminui a capacidade de extração. Dos 100% de tempo disponível do dia, existem perdas naturais como falta de cana devido a chuvas, e perdas devido à manutenção da moenda. A usina possui uma equipe de manutenção bastante eficiente que trabalha muito com prevenção, monitorando constantemente o processo, utilizando-se as paradas obrigatórias devido às chuvas na manutenção preventiva. Atualmente, o índice de parada é de 2,5% do total disponível, índice este bem abaixo da média do setor e um dos melhores já vistos. As quebras de equipamento se dão por desgaste natural e também devido à quantidade de impurezas minerais e vegetais que vêm com a cana. Neste sentido, a área agrícola tem feito um grande esforço na diminuição das impurezas, evitando, assim, o desgaste dos equipamentos e as paradas para manutenção.

Para o bom funcionamento do processo de manutenção, a usina conta com uma equipe comprometida e experiente. Além disso, utilizam-se ferramentas estatísticas para a gestão da manutenção, como análise de falhas, diagrama de Pareto, lições aprendidas, ações corretivas e preventivas, entre outras.

A alimentação contínua da moenda através das esteiras é outro fator que influencia a extração, sendo um importante elemento para a manutenção do índice de eficiência. A usina também fez investimentos tecnológicos em camisas perfuradas na moenda, uma nova tendência que impacta, de forma significativa, o sistema de extração, resultando em menor umidade final do bagaço que, por sua vez, melhora o rendimento das caldeiras levando a uma maior quantidade de vapor disponível.

Como pode ser observado no quadro 12, a usina apresenta problemas devido à tecnologia utilizada e também ao fato de moer acima da capacidade instalada.

Especialista: A extração do ART da cana é afetada por fatores estruturais e gerenciais. Como fatores estruturais, podemos citar a capacidade de moagem, uma vez que moer acima da capacidade compromete a eficiência, o tipo de equipamento

de extração (moendas podem tirar até 97% de ART e difusores até 98%), além de comprometer também a idade do equipamento (equipamentos antigos necessitam de vapor e os novos utilizam energia elétrica). Ademais, para extrair o máximo de ART, as moendas precisam ser de seis ternos.

Como fatores operacionais, tem-se um bom sistema de manutenção, gerando poucas paradas, regulagem adequada da velocidade de moagem, quantidade de impurezas, ou seja, baixo nível de impureza mineral, que provoca maior desgaste no equipamento, e baixo nível de impureza vegetal, que aumenta a quantidade de fibra e retira mais água e açúcar do caldo e o volume e a temperatura da água de embebição, onde cada usina, em função de suas características, possui um volume e temperatura corretos.

O quadro 12 resume os dados coletados nas entrevistas em relação à variável.

Quadro 12 - Extração Total de ART (%)

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Usina safra 2014/2015	Atividades/Processos			
			Usina		Especialista	
			Estrutural	Operacional	Estrutural	Operacional
Extração de ART do caldo (%)	A mediana de Extração de ART do caldo (%) nas usinas eficientes foi de 96,14% de ART	95,55% de ART	Capacidade da moenda, tipo de equipamento (moenda ou difusor), idade do equipamento, quantidade de ternos da moenda, disponibilidade de vapor, qualidade da matéria prima	Manutenção adequada, poucas paradas, equipe de manutenção tecnicamente competente, poucas impurezas minerais e vegetais, uso de ferramentas estatísticas, alimentação contínua da esteira, regulagem da moenda, volume de água de embebição	Capacidade da moenda, tipo de equipamento (moenda ou difusor), idade do equipamento, quantidade de ternos da moenda, disponibilidade de vapor, qualidade da matéria prima	Manutenção adequada, poucas paradas, equipe de manutenção tecnicamente competente, poucas impurezas minerais e vegetais, uso de ferramentas estatísticas, alimentação contínua da esteira, regulagem da moenda e volume e temperatura da água de embebição
	Quartil Q5 - 96,14 4 - 96,03 3 - 95,82 2 - 95,50 Q1 - 95,60					

Fonte: elaborado pelo autor.

3. Perda de ART na torta de filtro (%)

Benchmark – usinas eficientes perdem 0,40% de ART

Usina: A perda de ART na torta de filtro está relacionada ao tipo de filtro e à capacidade de filtragem. Hoje, a usina possui perda de 0,64% e utiliza dois tipos de filtro: o rotativo e o prensa, mas possui uma capacidade de filtração menor que a necessária, precisando aumentar a área de filtro através da colocação de mais filtros

no processo. Outra possibilidade de redução da perda seria a injeção de mais água na torta visando extrair mais açúcar, porém isso não é viável, dada a quantidade de vapor disponível no processo.

O processo de tratamento do caldo e o tipo de produto final a ser produzido também influenciam na perda de ART na torta de filtro. Quanto mais insumos você coloca no tratamento do caldo, que está ligado à quantidade de impurezas e contaminação, mais volume de torta você gera, necessitando de maior área de filtração.

O processo de tratamento do caldo varia para cada usina. No caso estudado, ele primeiro é sulfitado, depois se joga enxofre e, por fim, caleia-se. No processo de decantação, forma-se um lodo que, depois de filtrado, dá origem à torta de filtro. Toda a torta é reutilizada na lavoura por ser rica em nutrientes.

Especialista: A perda de ART na torta de filtro se dá devido a fatores estruturais e operacionais.

O principal fator é estrutural, sendo a capacidade de filtração e o tipo de filtro utilizados as maiores causas de perda. Em geral, o filtro prensa é mais fácil de operar, porém utiliza maior volume de água que o filtro rotativo que, por sua vez, é mais trabalhoso para manejar. A definição da capacidade do filtro tem que levar em conta as impurezas minerais, que acabam gerando mais lodo necessitando de área de filtração maior.

Como fatores operacionais, podemos citar a manutenção do equipamento, a temperatura da água, o vácuo e a limpeza da tela do filtro.

A quantidade de perda tende a aumentar em períodos de chuva, pois aumenta a quantidade de impurezas minerais da cana.

O quadro 13 resume os dados coletados nas entrevistas em relação à variável.

Quadro 13 – Perda Total de ART na Torta de Filtro (%)

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Usina safra 2014/2015	Atividades/Processos			
			Usina		Especialista	
			Estrutural	Operacional	Estrutural	Operacional
Perda de ART na torta de filtro (%)	<p>A média da Perda de ART na torta de filtro (%) nas usinas eficientes foi de 0,40%</p> <p>Quartil QS - 0,41 4 - 0,48 3 - 0,54 2 - 0,50 QI - 0,54</p>	0,64% de ART	Tipo de filtro, capacidade dos filtros,	Controle de impurezas minerais, tratamento do caldo,	Tipo de filtro, capacidade dos filtros,	Manutenção do sistema de filtragem, controle da temperatura da água, limpeza da tela de filtração, operação adequada de cada tipo de filtro, controle de impurezas minerais

Fonte: elaborado pelo autor.

4. Levedo (%)

Benchmark – usinas eficientes utilizam 36,12%

Usina: Utilizam-se geralmente três tipos de levedura: uma selecionada e outras duas personalizadas, que dependem da característica da fermentação. Uma característica particular da usina é que, durante o processo, há o aparecimento de um quarto tipo de levedura, chamado de levedura selvagem.

O objetivo é utilizar menos leveduras no processo de fermentação. A manutenção da quantidade de levedo é conseguida através de práticas de assepsia, controle de temperatura do caldo e controle do pH.

A gerência acredita que a fermentação é um processo que tem forte impacto da perda de eficiência, sendo que a principal causa está na contaminação por bactérias. Um fator importante é o monitoramento constante do processo e da quantidade de levedo feito pelo laboratório de análises. A usina possui um laboratório considerado acima da média, em termos de qualidade de análise e processo de amostragem. Para garantir a isenção das análises, o laboratório possui 32 técnicos e não está vinculado à gerência industrial, respondendo diretamente a diretoria industrial.

Especialista: Não vê uma relação direta entre a % de levedo e a eficiência do processo. O objetivo é jogar menos levedo possível, pois quando a usina joga mais levedo é porque sua eficiência caiu. Algumas usinas já presenciaram a manutenção

de maior quantidade de leveduras no processo, já que este fato mascara o rendimento geral.

Descartar mais leveduras gera mais eficiência na fermentação e a sobra de açúcar é menor.

O tipo de levedura utilizada é um importante fator; a utilização de leveduras selecionadas e personalizadas é uma característica das usinas mais eficientes. Por se tratar de um processo bioquímico complexo, pode ser que tenha relação com a perda de ART, mas isso precisa ser mais bem avaliado.

O quadro 14 resume os dados coletados nas entrevistas em relação à variável.

Quadro 14 – Levedo (%)

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Usina safra 2014/2015	Atividades/Processos			
			Usina		Especialista	
			Estrutural	Operacional	Estrutural	Operacional
Levedo (%)	A mediana da % de Levedo nas usinas eficientes foi de 36,12 %	37,05%	Laboratório equipado e automação de coleta	Escolha e seleção das leveduras, assepsia, controle de temperatura do caldo, controle do ph, tratamento do fermento, qualidade no processo de amostragem e análise da quantidade de levedo		Escolha e seleção das leveduras
	Quartil Q5 - 35,71 4 - 32,77 3 - 31,47 2 - 31,62 Q1 - 29,26					

Fonte: elaborado pelo autor

5. Bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / mL)

Benchmark – usinas eficientes possuem 87,6245 10^5 / ml

Usina: A contaminação da cana leva a uma maior contaminação do mosto, assim, para manter um baixo nível de contaminação e, conseqüentemente, de bastonetes, a usina possui uma equipe de líderes operacionais de alta capacidade técnica e experiência. As principais atividades para o controle dos bastonetes são a assepsia do processo, o controle de temperatura, a aplicação de antibióticos, a qualidade da entrada da matéria-prima, o monitoramento e tratamento do levedo.

Especialista: Os bastonetes estão relacionados à contaminação por bactérias, já que estas consomem açúcar e prejudicam a ação da levedura, fazendo cair a eficiência da fermentação. O aparecimento de bastonetes está relacionado à qualidade da

matéria-prima e ao mosto. A contaminação do mosto se dá principalmente, mas não exclusivamente, devido à contaminação da cana, sendo também relacionada à estrutura da usina, como tubulação, velocidade, distância da fermentação, *layout*, formato da dorna e assepsia do processo.

Quanto maior a contaminação do mosto, maior a contaminação da fermentação, pois o processo de levar o mosto até a fermentação pode ocasionar maior contaminação devido aos fatores estruturais, como a linha (distância do preparo a alimentação), o diâmetro da tubulação, a velocidade, ao trocador de calor e outros.

A temperatura do mosto é um importante fator de controle, quanto mais próxima de 40 °C maior será a propagação de bastonetes. A fermentação ocorre a uma temperatura entre 32 °C e 33 °C. Assim, quanto menor a temperatura do mosto (o ideal é que esteja na faixa de 28 °C), maior a eficiência da fermentação. Outro fator ligado à temperatura do mosto é a temperatura do vinho bruto, um importante fator para propagação dos bastonetes.

Geralmente, o controle dos bastonetes se dá através do controle da qualidade da cana, da baixa contaminação do mosto, de fatores estruturais adequados e de uma operação com boa assepsia. O combate dos bastonetes se por intermédio do uso de antibióticos e ácido sulfúrico, pois ambos inibem a contaminação por bactérias.

O quadro 15 resume os dados coletados nas entrevistas em relação à variável.

Quadro 15 – Bastonetes no vinho bruto x 10⁵ / ml

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Usina safra 2014/2015	Atividades/Processos			
			Usina		Especialista	
			Estrutural	Operacional	Estrutural	Operacional
Bastonetes no vinho bruto (mL)	<p>A mediana da quantidade de Bastonetes no vinho bruto (x10⁵ /ml) nas usinas eficientes foi de 87,62 10⁵ / mL</p> <p>Quartil QS - 81,45 4 - 64,61 3 - 71,49 2 - 71,14 QI - 131,02</p>	27,23 10 ⁵ / mL	Qualidade da cana	Controle de contaminação da cana, controle de contaminação do mosto, controle da temperatura do mosto e do vinho, assepsia do processo, utilização de antibióticos, tratamento do levedo, capacidade técnica da equipe	Linha, diâmetro de tubulação, velocidade, trocadores de calor, formato da dorna	Controle de contaminação da cana, controle de contaminação do mosto, controle da temperatura do mosto e do vinho, assepsia do processo, utilização de antibióticos

Fonte: elaborado pelo autor.

6. Perda de álcool na vinhaça (%) e na flegmaça (%)

Benchmark – usinas eficientes perdem 0,14 % e 0,03% respectivamente

Usina: A gerência industrial acredita que as principais variáveis relacionadas às perdas de álcool na vinhaça e na flegmaça são o dimensionamento do equipamento, o balanço térmico (variação do vapor na linha), o tipo de tecnologia empregado e o grau alcoólico, cujo ideal é 10 °C, pois diminui o volume e a necessidade de vapor. Porém, se a usina está fabricando mais açúcar, caso atual, sobra menos mel para a destilaria diminuindo o grau alcoólico.

Essa etapa do processo é mais fácil de controlar devido ao seu alto grau de automação. O *mix* de produção atual está distribuído em 60% açúcar e 40% álcool.

Especialista: As perdas de álcool na vinhaça e na flegmaça estão relacionadas não apenas ao equipamento de destilação, mas também associadas ao tempo de aproveitamento industrial e ao teor alcoólico do vinho. A manutenção do teor alcoólico do vinho é um grande desafio, pois exige que o ART no mosto esteja bem controlado, um bom controle da temperatura de fermentação e manutenção de níveis baixos de contaminação. Usinas que mantêm teor alcoólico elevado no vinho possuem maior RTC e menor volume de vinhaça por litro de etanol. Baixos teores alcoólicos na fermentação geram volumes muito altos de vinhaça que demandará alta quantidade de vapor para destilar o vinho, aumentando o custo de produção, além do custo de distribuição da vinhaça.

A perda de álcool na vinhaça e na flegmaça sempre vão ocorrer. A usina precisa controlar também a quantidade e a estabilidade de vapor. Perdas ao redor de 0,20% são consideradas satisfatórias.

O quadro 16 resume os dados coletados nas entrevistas em relação à variável.

Conforme já explicado, um importante indicador de eficiência de uma usina é Recuperado Total Corrigido (RTC). A usina estudada ocupa a posição de número 55 no *ranking* de eficiência que foi calculado na fase quantitativa. Observou-se que as deficiências estruturais apresentadas, como equipamentos, capacidade e tecnologia utilizados pela usina, têm como consequência perdas de eficiência e competitividade. Apesar disso, a usina possui eficiência melhor que muitas outras, inclusive uma do mesmo grupo empresarial, que é mais moderna em tecnologia, segundo o diretor industrial. Tal fato pode ser percebido nas perdas de ART durante o processo, que podem ser vistas no quadro 17.

Quadro 16 – Bastonetes no vinho bruto x 10⁵ ml

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Usina safra 2014/2015	Atividades/Processos			
			Usina		Especialista	
			Estrutural	Operacional	Estrutural	Operacional
Perda de álcool na Vinhaça (%)	A mediana da Perda de álcool na vinhaça (%) nas usinas eficientes foi de 0,14 %	0,22%	Dimensionamento do equipamento de destilação, balanço térmico (disponibilidade e estabilidade de vapor), tipo de tecnologia	Controle do vapor, controle do grau alcoólico	Equipamento de destilação, balanço térmico (disponibilidade e estabilidade de vapor).	Controle do vapor
	Quartil QS - 0,15 4 - 0,16 3 - 0,18 2 - 0,28 QI - 0,26					
Perda de álcool na Flegmaça (%)	A mediana da Perda de álcool na flegmaça (%) nas usinas eficientes foi de 0,03%	0,06%				
	Quartil QS - 0,030 4 - 0,035 3 - 0,030 2 - 0,045 QI - 0,045					

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 17 – Balanço de ART

Indicador de desempenho industrial	Índices da usina estudada	Benchmark
Rendimento -Recuperado Total Corrigido - RTC (%)		
	92.81	92.22
Balanço de ART na produção de álcool (L/ton)	82.25	78.61
Balanço de ART na produção de açúcar (Kg/ton)	110.55	106.54
Balanço de ART - perda de águas residuais (%)	0.11	0.38
Balanço de ART - perdas indeterminadas (%)	1.39	1.94

Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo os entrevistados, a melhor explicação para o fenômeno é devido a fatores como a integração dos setores industrial e agrícola, à qualidade da matéria-prima, ao monitoramento e controle do processo, às manutenções preventivas realizadas durante as paradas por chuva, à comunicação eficiente entre os setores da indústria, à qualidade das práticas e análises laboratoriais, à logística de corte, carregamento e transporte da cana, à equipe de manutenção e à qualidade dos supervisores.

A importância de ter uma boa operação é que, segundo a Fermentec (2016), pequenas perdas de ART, durante as fases do processo produtivo, significam grandes perdas de açúcar e etanol na produção final. A tabela 17 ilustra as perdas equivalentes a 0,1, 0,25 e 0,50 pontos percentuais nas usinas para uma moagem de 2 milhões de tonelada de cana.

Tabela 17 – Estimativa de perdas de açúcar e etanol

Perdas em ART (pontos percentuais)	Moagem de Cana - 2 milhões de tonelada - Perdas estimada em sacas de 50 kg de açúcar	Moagem de Cana - 2 milhões de tonelada - Perdas estimada em litros de etanol
0,1	5.220,0	163.200,0
0,25	13.050,0	408.000,0
0,5	26.100,0	816.000,0

Fonte: baseado em Fermentec (2016).

Quando se compara as principais causas de perdas de açúcar no processo (matéria-prima, processos inadequados, fábrica, equipamentos e equipes de trabalho de manutenção e supervisão), citados por Fernandes (2011), com as informações colhidas nas entrevistas, observa-se que determinadas ações poderiam indicar um conjunto de boas práticas que resultassem em melhor eficiência para as usinas de açúcar e etanol.

Fernandes (2011) afirma que as perdas de açúcares na usina podem ser de dois tipos: as detectáveis e as não detectáveis. A primeira pode ser dividida em perdas determinadas e perdas indeterminadas, e a segunda é classificada somente como perdas indeterminadas. Os processos onde ocorrem e são medidas as perdas determinadas são os processos de recepção, preparo da cana, extração do caldo,

tratamento ou purificação do caldo, fabricação do açúcar e processo de produção de álcool. As perdas indeterminadas são consequência das perdas de ART não detectáveis e não mensuráveis, juntamente com os erros de amostragens, análises e medições, sendo calculadas pela diferença entre o total de ART da cana processada, o ART total dos produtos produzidos e as perdas determinadas.

Quando se analisa a variável tempo de entrega da cana, a tecnologia empregada é um importante fator para o aumento da velocidade de entrega.

A desregulamentação do setor de açúcar e etanol, ocorrida nos anos 90 até 2009, fez com que os produtores passassem a desenvolver novas competências visando aumentar sua eficiência técnica e modernizando a estrutura produtiva. Desta forma, o paradigma tecnológico tornou-se condição necessária para a sobrevivência no mercado sendo que, na maior parte dos canaviais paulistas, a mecanização da colheita terá de atingir 100%, como prevê a lei nº 11.241/2002 e o Protocolo Agroambiental assinado em 2007. O fogo, para queima da palha só poderá ser usado até 2017 em áreas onde a topografia não permite a colheita mecanizada. A mecanização da cana-de-açúcar atingiu 84,8% na safra 2013/14 na região de São Paulo (ANDRADE, 2017).

Em relação aos processos de entrega da cana e extração do caldo, as impurezas vegetais, que eram eliminadas anteriormente no processo de queima da cana, representam um problema para a eficiência industrial. A regulação das colhedeiras para o tipo de cana-de-açúcar é um importante aspecto a ser considerado na diminuição dessas impurezas para a melhoria da eficiência, pois além de diminuir a capacidade de moagem, reduzem a eficiência da extração.

A integração dos processos agrícolas e industriais é outro importante fator de sucesso para a competitividade do setor. Estudos mostram que 1% de impureza vegetal causa redução de 0,1% na extração de açúcar. Além disso, as impurezas vegetais podem levar a uma maior concentração de polissacarídeos, compostos fenólicos e ácidos orgânicos que dificultam a retenção de açúcar na fábrica, ocasionando reações de degradação de sacarose e formação de cor no produto final, prejudicando, então, as leveduras e afetando a produção de etanol (FERMENTEC, 2016).

Outro fator que prejudica os processos de entrega da cana-de-açúcar e extração do caldo são as impurezas minerais, que causam desgaste nos equipamentos de preparo e moagem da cana, elevando o custo de manutenção.

A falta de matéria-prima também ocasiona perdas, sendo que uma variável medida na usina é o tempo de aproveitamento geral da indústria, que geralmente está relacionado com as paradas inevitáveis provocadas por chuvas. Uma menor quantidade de paradas pode aumentar a eficiência técnica. Desta forma, o aproveitamento das paradas obrigatórias, devido às chuvas para manutenção dos equipamentos, pode resultar em aumento de eficiência por causa da diminuição das perdas na extração, vinhaça e água residual.

Estudo realizado por Junqueira e Morabito (2017), sobre Programação e sequenciamento de frentes de colheita, mostra que se o suprimento de matéria-prima estiver garantido, a redução da ociosidade dos recursos de colheita e transporte implicar significativas diminuições de custo. O mesmo estudo demonstrou também que é possível economizar caminhões e colhedoras se as janelas de tempo das áreas forem mescladas de forma a manter um potencial de colheita e transporte médio durante os períodos de colheita.

Para melhorar a logística de corte, transporte e carregamento da cana-de-açúcar, conforme levantamento feito na usina eficiente e com os especialistas, a utilização de sistemas de informação que facilitem a integração dos processos industriais e agrícolas através de uma melhor gestão e coordenação da logística de corte, carregamento e transporte, tanto para cana própria como de terceiros, pode ser um diferencial das usinas mais eficientes encontradas no modelo DEA proposto.

Além disso, constatou-se também nas entrevistas que a diminuição da quantidade de paradas, através de um bom sistema de manutenção preventiva, atuando principalmente nas paradas da moenda devido às chuvas, por intermédio de uma equipe de manutenção bem capacitada e utilizando-se de gráficos e técnicas estatísticas para monitoramento das máquinas, é um importante fator para a eficiência da operação.

Um importante fator observado é que uma baixa quantidade de impurezas vegetais e minerais trazidas do campo, juntamente com a alimentação contínua e regulagem adequada da velocidade da moenda, também impactam no aumento da eficiência da operação.

Outras duas importantes observações estão relacionadas ao controle da temperatura e volume da água de embebição e à capacidade da moenda. Observou-se no estudo de caso que quando a moenda não possui capacidade para atender a

demanda de cana a ser processada, a operação é acelerada, diminuindo assim a capacidade de extração e, conseqüentemente, a eficiência do processo.

Conforme pode ser observado, tanto no processo de entrega da cana como na extração do caldo, existem diversas ações que, se corretamente observadas, formam um conjunto de boas práticas que podem colaborar para o aumento da eficiência técnica. É importante ressaltar que os fatores tecnológicos, chamados fatores estruturais, não foram relacionados, e que as boas práticas aqui relacionadas na extração do caldo são válidas principalmente para usinas que utilizam moendas, tecnologia utilizada pela maioria das usinas da amostra. O quadro 18 mostra o processo de moagem e as boas práticas observadas em relação ao tempo de entrega da cana e a extração do caldo.

Quadro 18 – Boas Práticas relacionadas as variáveis Tempo de entrega e Extração de ART do caldo

Variáveis	Boas práticas
Tempo de Entrega da Cana	1-Fazer a gestão e coordenação da logística de corte, carregamento e transporte tanto para cana própria como de terceiros;
Extração de ART do Caldo	1-Realizar manutenção preventiva;
	2-Capacitar equipe de manutenção e operação;
	3-Utilizar técnicas estatísticas na manutenção;
	4-Regular colhedeiras para trazer baixa quantidade de impurezas vegetais e minerais do campo;
	5-Alimentar continuamente e regular a velocidade da moenda;
	6-Controlar a temperatura e o volume da água de embebição;
	7-Aumentar tempo de aproveitamento através da diminuição do número de paradas da moenda;
	8- Utilizar as paradas obrigatórias da moenda para realizar manutenção corretiva e preventiva;
	9- Dimensionar capacidade da moenda adequada ao volume de cana.

Fonte: elaborado pelo autor adaptado de UDOP (2016).

A perda de ART na torta de filtro também foi afetada pela mecanização da colheita, exigindo maior relação de área de filtro por tonelada de cana processada. Segundo a Fermentec (2016), o monitoramento constante das perdas de ART, o dimensionamento dos filtros, as impurezas da matéria-prima e a manutenção dos equipamentos industriais são fatores estruturais e operacionais para a redução das perdas na torta de filtro.

Nas entrevistas realizadas, pôde-se observar que a boa manutenção dos filtros, evitando entupimentos e rompimentos das telas, a limpeza e assepsia dos mesmos, o controle da operação de cada filtro, o controle de impurezas minerais e o processo adequado de tratamento do caldo são as práticas que podem levar ao aumento da eficiência técnica. No estudo de caso realizado, foi observada a utilização de filtros rotativos e filtros prensas, cada um com características específicas de operação, mas mantendo em comum as boas práticas citadas, as quais podem ser observadas no quadro 19.

Quadro 19 – Boas Práticas relacionada a variável Perda de ART na torta de filtro (%)

Variáveis	Boas práticas
Perda de ART na torta de filtro	1- Realizar manutenção preventiva nos filtros;
	2- Fazer limpeza dos filtros;
	3- Controlar o processo de operação de cada filtro;
	4- Controlar a entrada de impurezas minerais;
	5- Realizar tratamento do caldo;

Fonte: elaborado pelo autor adaptado de UDOP (2016).

Em relação à variável porcentagem de levedo, foi verificado na usina que a escolha e seleção das leveduras, a assepsia do processo, a limpeza dos equipamentos, o controle de temperatura do caldo, o controle do pH, o tratamento do fermento, a qualidade no processo de amostragem e a análise da quantidade de levedo foram os fatores operacionais mais importantes para a eficiência técnica da usina.

Segundo Amorin *et. al.* (2011), a dificuldade de esterilizar grandes quantidades de mosto e água permitem a entrada de bactérias contaminantes que competem com as leveduras selecionadas no consumo dos açúcares, provocando aumento do estresse do processo, causando floculação do levedo e dificuldades na centrifugação das células de levedura, o que pode levar à inibição da fermentação. A seleção de leveduras mais resistentes às bactérias de contaminação pode aumentar a eficiência do processo fermentativo.

Para Fermentec (2015), as usinas com maior dificuldade em controlar a contaminação da fermentação têm um maior uso de antibióticos, além da técnica usual de tratamento ácido, acarretando um maior gasto de insumos. Estudo realizado mostrou que a temperatura máxima de fermentação foi o parâmetro mais associado ao uso de antibióticos. O aumento de 1 °C na temperatura máxima resultou em um aumento de 3,6 mg de antibiótico por litro de etanol produzido. Para casos em que a contaminação atinge a cada de 10 °C unidades bacterianas por mililitro, causou

perdas de 10.000 a 30.000 litros de etanol por dia em destilarias que produziam 1 milhão de litros por dia. Em outros casos, o aumento da frequência de assepsia dos trocadores de calor reduziu a população microbiana no mosto em 48 vezes.

A levedura também possui ação antibacteriana, produzindo ácido succínico e etanol durante a fermentação (CHERUBIN, 2003).

Discordando dos entrevistados na usina, para os especialistas pesquisados, a porcentagem de levedo não tem uma relação direta com o aumento de eficiência técnica do modelo utilizado, mas sim indireta. Para eles, a seleção das leveduras é o fator preponderante relacionado à variável.

Da mesma forma que a porcentagem de levedo, em relação à variável bastonetes no vinho bruto (ml), os entrevistados concordaram e relacionaram a quantidade de bastonetes com a qualidade da matéria-prima, com a cana sem dextrana e impurezas, com o controle de contaminação do mosto, com o uso adequado de antibióticos, com a assepsia do processo e com o treinamento e capacitação das lideranças operacionais.

Ensaio realizados em laboratório mostram que a contaminação tem impacto direto na eficiência da destilaria, sendo que em uma usina com capacidade de produção de 800.000 litros de etanol/dia, a perda com contaminação pode chegar a 87.000 litros de etanol/dia (FERMENTEC, 2016).

Assim, para atingir o *benchmarking* cuja mediana de bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ /ml) nas usinas eficientes foi de 87,62 10^5 / ml, foram observados a necessidade de uma matéria-prima com boa qualidade, livre de impurezas e brocas, o que significa melhor regulação das colhedoras e maior controle agrícola de pragas. Além disso, o uso de antibióticos na qualidade e quantidade certa, a conscientização e capacitação da equipe em relação à assepsia do processo seriam as principais boas práticas a serem utilizadas.

As boas práticas relacionadas à porcentagem de levedo e aos bastonetes no vinho bruto (ml) estão ligadas ao processo de fermentação e podem ser observadas no quadro 20.

As perdas de álcool na vinhaça e na flegmaça foram relacionadas principalmente a fatores operacionais como o controle do vapor e controle do grau alcoólico. O controle das perdas nessas variáveis está fortemente relacionado aos aspectos estruturais, ou seja, aos equipamentos utilizados. Todavia, também está

associada ao tempo de aproveitamento industrial, pois, quanto maior ele for, menor a perda de ART na vinhaça e flegmaça, e também a manutenção do teor alcoólico.

Segundo a Fermentec (2015), as usinas produzem uma grande quantidade de vinhaça, subproduto do processo de fermentação altamente poluente e que possui legislação específica que regula sua aplicação na fertirrigação de canaviais. Na safra 2014/2015, o Brasil produziu aproximadamente 28,6 bilhões de litros de etanol e 355 bilhões de litros de vinhaça, ou seja, 12,4 litros de vinhaça para cada litro de etanol produzido. Esse grande volume de vinhaça tem que ser armazenado, transportado e disponibilizado no campo, gerando um custo aproximado de R\$ 2,77 bilhões por ano para o setor sucroenergético. Para exemplificar, uma destilaria de médio porte, que produz 120 milhões de litros por dia, produz aproximadamente 1,49 bilhão de litros de vinhaça, o que representa um custo anual de cerca de R\$ 11.585.817,00.

A manutenção de um teor alcoólico entre 12% e 16% no processo de fermentação pode gerar uma grande redução de custos, porém implica maior disponibilidade e consumo de vapor para destilar o vinho. Este benefício varia de usina para usina e de região para região.

Na entrevista realizada com os especialistas, verificou-se que foi desenvolvida uma tecnologia já disponível no mercado que permite o aumento do teor alcoólico do vinho com consequentes benefícios em relação à vinhaça e ao consumo de vapor.

Quadro 20 – Boas Práticas relacionada às variáveis Levedo (%) e Bastonetes no vinho bruto (x 10⁵ / ml)

Variáveis	Boas práticas
Levedo	1 - Escolher e selecionar leveduras;
	2 - Controle da quantidade de leveduras;
Levedo e Bastonetes no vinho bruto	2 - Assepsia do processo, desde a entrada da cana, evitando a contaminação por bactérias;
	3 - Investir em instalações laboratoriais adequadas;
	4 - Treinar e capacitar técnicos de laboratório, e lideranças operacionais;
	5 - Controlar o pH e a temperatura do caldo;
	6 - Controlar a contaminação do mosto;
	7 - Usar antibióticos eficientes;

Fonte: elaborado pelo autor adaptado de UDOP (2016).

As boas práticas relacionadas às perdas de álcool na vinhaça e na flegmaça foram sintetizadas e podem ser observadas no quadro 21.

Quadro 21 – Boas Práticas relacionada às variáveis perda de álcool na vinhaça (%)
Perda de Álcool na Flegmaça (%)

Variáveis	Boas práticas
Perda de Álcool na Vinhaça e na Flegmaça	1 - Manter o equilíbrio térmico de vapor na linha;
	2 - Controlar o grau alcoólico para diminuir a necessidade de vapor;
	3 - Aumentar o tempo de aproveitamento industrial;
	4 - Controlar a temperatura de fermentação;
	5 - Manter níveis baixos de contaminação.

Fonte: elaborado pelo autor adaptado de UDOP (2016).

Andrade (2017) constatou em seus estudos que as motivações e a vantagem competitiva de algumas usinas são provenientes não só da redução de custos e do aumento de eficiência, como também de uma maior confiabilidade nos controles operacionais existentes em função das inovações tecnológicas empregadas, mostrando que o paradigma tecnológico tem um grande apelo no setor sucroenergético.

Como se pôde observar nas entrevistas, o fator tecnológico também foi citado, estando presente nos aspectos estruturais verificados. Porém, não apenas ele pode melhorar a eficiência técnica, pois, conforme pode ser verificado na usina pesquisada, apesar de ela possuir um parque industrial antigo, com idade superior a 30 anos e diversas fragilidades tecnológicas, apresentou índices de eficiência técnica altos, comparáveis às usinas de tecnologia mais recente.

A explicação para tal fato está nos cuidados com a operação, ou seja, os fatores operacionais relacionados com a busca de eficiência técnica, alternativa fundamental para plantas industriais mais antigas.

As boas práticas foram então resumidas e separadas por processo de produção, sendo as relacionadas ao processo de moagem, as variáveis Tempo de entrega da cana (h) e Extração de ART do caldo (%), as relacionadas ao processo de filtragem, variável Perda de ART na torta de filtro (%), as relacionadas ao processo de fermentação, variáveis Levedo (%) e Bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ / ml) e as relacionadas ao processo de destilação, variáveis Perda de álcool na vinhaça (%) e na flegmaça (%), que podem ser observadas no quadro 22.

Assim, pode-se afirmar que o conjunto de boas práticas na operação, associadas aos fatores tecnológicos, permitem que as usinas tenham ganhos de eficiência técnica, reduzindo a perda de ART e com melhoria de sua competitividade.

Quadro 22 – Boas práticas

Nome do Indicador	Observação Benchmark	Boas Práticas para atingir o Benchmark
Tempo de entrega da cana (h)	A mediana do Tempo de entrega da cana (h) das usinas eficientes foi de 12,07 horas	1-Fazer a gestão e coordenação da logística de corte, carregamento e transporte tanto para cana própria como de terceiros
	Estudo de caso - safra 2014/2015	
	4,99 horas	
Extração de ART do caldo (%)	A mediana de Extração de ART do caldo (%) nas usinas eficientes foi de 96,14% de ART	1-Realizar manutenção preventiva, 2-Capacitar equipe de manutenção e operação 3-Utilizar técnicas estatísticas na manutenção
	Estudo de caso - safra 2014/2015	4-Regular colheiteiras para trazer baixa quantidade de impurezas vegetais e minerais do campo, 5-Alimentar continuamente e regular a velocidade da moenda, 6-Controlar a temperatura e o volume da água de embebição,
	95,55% de ART	7-Aumentar tempo de aproveitamento através da diminuição do número de paradas da moenda 8- Utilizar as paradas obrigatórias da moenda para realizar manutenção corretiva e preventiva 9- Dimensionar capacidade da moenda adequada ao volume de cana.
Perda de ART na torta de filtro (%)	A média da Perda de ART na torta de filtro (%) nas usinas eficientes foi de 0,40%	1- Realizar manutenção preventiva nos filtros 2- Fazer limpeza dos filtros 3- Controlar o processo de operação de cada filtro
	Estudo de caso - safra 2014/2015	4- Controlar a entrada de impurezas minerais 5- Realizar tratamento do caldo 6-Treinamento e capacitação da equipe de manutenção e operação
	0,64% de ART	
Levedo (%)	A mediana da % de Levedo nas usinas eficientes foi de 36,12 %	1 - Escolher e selecionar leveduras, 2 - Assepsia do processo, 3 - Investir em instalações laboratoriais adequadas,
	Estudo de caso - safra 2014/2015	4 - Treinar e capacitar técnicos de laboratório, 5 - Controlar o pH e a temperatura do caldo
	37,05%	
Bastonetes no vinho bruto (x 10 ⁵ / ml)	A mediana da quantidade de Bastonetes no vinho bruto (x10 ⁵ /ml) nas usinas eficientes foi de 87,62 10 ⁵ / mL	1 - Controlar a contaminação do mosto, 2 - Usar antibióticos eficientes, 3 - Assepsia do processo, 4 - Treinar e capacitar as lideranças operacionais
	Estudo de caso - safra 2014/2015	
	27,23 10 ⁵ / mL	
Perda de álcool na Vinhaça (%)	A mediana da Perda de álcool na vinhaça (%) nas usinas eficientes foi de 0,14 %	1 - Manter o equilíbrio térmico de vapor na linha, 2 - Controlar o grau alcoólico para diminuir a necessidade de vapor, 3 - Aumentar o tempo de aproveitamento industrial 4 - Controlar a temperatura de fermentação
	Estudo de caso - safra 2014/2015	5 - Manter níveis baixos de contaminação
	0,22%	
Perda de álcool na Flegmaça (%)	A mediana da Perda de álcool na flegmaça (%) nas usinas eficientes foi de 0,03%	1 - Manter o equilíbrio térmico de vapor na linha, 2 - Controlar o grau alcoólico para diminuir a necessidade de vapor, 3 - Aumentar o tempo de aproveitamento industrial 4 - Controlar a temperatura de fermentação
	Estudo de caso - safra 2014/2015	5 - Manter níveis baixos de contaminação
	0,06%	

Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

A partir do objetivo geral desta tese de propor boas práticas de operação que colaborem para a eficiência técnica das usinas de açúcar e etanol, foram analisados os dados de 33 usinas durante cinco anos, referente às safras de 2010/2011 a 2014/2015. Foi então realizado um levantamento bibliográfico, um estudo quantitativo utilizando a técnica *DEA* e também um estudo qualitativo, estudo de caso, em uma usina de açúcar e álcool, e uma entrevista com dois especialistas em processo de produção de açúcar e etanol.

Através da triangulação dos dados de cada etapa da pesquisa, foi elaborado um conjunto de boas práticas visando ao aumento da eficiência das usinas açúcar e etanol.

A pesquisa realizada avaliou que as usinas de açúcar e etanol podem aumentar sua competitividade através do aumento da eficiência técnica. Os dados levantados mostram a possibilidade de ganhos expressivos, se convertidos em açúcar e etanol, sendo um importante fator para o atual momento pelo qual o setor sucroenergético está passando.

Através do modelo de eficiência elaborado e da metodologia proposta, foi possível propor boas práticas de operação que, se adotadas, podem contribuir para o aumento da eficiência técnica, para redução de custos, para o aumento de produtividade e consequente ganho de competitividade.

A utilização da técnica *DEA* dentro do modelo proposto mostrou-se satisfatória quanto à medição da eficiência das usinas, uma vez que a comparação do *ranking* de eficiência com os tradicionais métodos utilizados como, por exemplo, o Recuperado Total Corrigido (RTC), mostrou que os dois métodos estão em consonância. Esse fato auxiliou na validação do modelo de eficiência e da metodologia utilizada, criando-se assim um novo método para se medir a eficiência das usinas de açúcar e etanol.

As usinas de açúcar e etanol situadas na fronteira de eficiência, usinas essas com eficiência relativa 100%, serviram de parâmetro para medir as perdas de eficiência do grupo pesquisado. Tais perdas foram mensuradas em quantidades de açúcar (t) e quantidade de etanol (m³) que deixaram de ser produzidos, o que demonstrou que existe espaço para um ganho de eficiência técnica e de aumento da competitividade do setor.

O tratamento e análise das 168 variáveis de processo de cada usina durante os cinco anos de fabricação permitiu que se pudesse demonstrar os pontos de controle que mais contribuiriam para a eficiência das usinas de açúcar e etanol. Estes pontos foram então discutidos e validados por especialistas como sendo importantes para o processo de produção, devendo ser acompanhados durante o processo produtivo. A figura 26 ilustra o processo de pesquisa com suas etapas.

Figura 26 - Etapas do processo de pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar da tecnologia influenciar nos resultados de eficiência industrial, plantas industriais antigas, com tecnologia não tão modernas quanto às novas, podem ter bom desempenho industrial. Tal fato foi verificado no estudo de caso realizado, pois apesar da *DMU* não possuir as mais recentes tecnologias de produção e ter um parque industrial com mais de 30 anos, o conhecimento, a experiência e o conjunto de boas práticas de fabricação utilizadas na operação explicam os resultados alcançados pela usina.

Os resultados sugerem que se as usinas observarem com mais atenção os processos produtivos ligados às variáveis que mais afetam a eficiência e adotarem as boas práticas de fabricação, elas poderão ter ganhos de eficiência, redução de custos, aumento de produtividade e consequente ganho de competitividade.

5.1 Limitações da pesquisa

A pesquisa realizada apresenta algumas limitações do ponto de vista da eficácia total de uma usina de açúcar e etanol.

Em primeiro lugar, não foram considerados dados da área agrícola da usina, fator este que mesmo não sendo objeto da pesquisa desta tese, tem sua influência na eficiência técnica da área industrial devido principalmente às questões ligadas às impurezas vegetais e minerais ocasionadas durante o processo de colheita da cana de açúcar.

Uma segunda limitação deste trabalho diz respeito a não consideração do imperativo tecnológico nas plantas industriais, ou seja, não foi verificado o impacto das novas tecnologias de produção na eficiência técnica das usinas.

A terceira limitação desta tese é do ponto de vista de rentabilidade econômica, pois a mesma considerou apenas aspectos operacionais de produção, não levando em consideração os custos de produção e aspectos econômicos relativos ao *mix* de produção que poderiam apresentar maior rentabilidade financeira.

Por fim, a quarta limitação da pesquisa foi relativa ao número de estudos de caso realizados, pois seria interessante verificar em mais usinas eficientes e também nas menos eficientes como são realizadas suas operações e assim obter um maior detalhamento das boas práticas de operação. Tal fato poderia resultar em um mapeamento detalhado dos processos produtivos, contribuindo para a padronização dos mesmos.

5.2 Recomendação para trabalhos futuros

Esta tese teve como foco apenas o processo industrial, mas seria interessante que pudessem ser feitos estudos conjuntos envolvendo também a área agrícola das usinas, principalmente em virtude de esta área apresentar maiores custos que a área industrial. Isto levaria a um estudo da eficiência total do sistema e não apenas da parte fabril.

Um segundo aspecto que poderia enriquecer as análises de eficiência, seria a adoção no modelo de dados que contivessem valores de custos de produção como *input* dos processos, pois assim também seriam contemplados aspectos econômicos.

Uma terceira sugestão para trabalhos futuros seria a realização de pesquisas de comparação de indicadores e de boas práticas de operação das usinas brasileiras com as de outros países como África do Sul e Austrália, podendo assim contribuir para a competitividade do setor sucroenergético nacional.

Para finalizar, poderiam ser feitos mais estudos de casos visando proporcionar um maior detalhamento das boas práticas de fabricação. Nesses estudos de caso, as usinas poderiam ser selecionadas em grupos mais homogêneos como, por exemplo, aquelas que utilizassem a mesma tecnologia, com o fim de medir o impacto da tecnologia na eficiência técnica.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; THANASSOULIS, E. Improving envelopment in data envelopment analysis. **Eur. J. Oper. Res.**, Amsterdam, v. 154, n. 2, p. 363-379, 2004.
- AMORIM, H. V. et al. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied microbiology and biotechnology**, Berlin, v. 91, n. 5, p. 1267, 2011.
- ANDRADE, M. C. Inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro: determinantes, estágio vigente e perspectivas no contexto brasileiro (2005-2014)| Technological innovations in the sugar and alcohol industry: determinants, current stage and trends in the brazilian context (2005-2014). **Revista Brasileira de Gestão e Inovação (Brazilian Journal of Management & Innovation)**, Caxias do Sul, v. 4, n. 3, p. 89-106, 2017.
- ANDRADE, S.A.C.; CASTRO, S.B. **Engenharia e tecnologia açúcareira**. Pernambuco: Departamento de Engenharia Química CTG –UFPE. 2006.
- ANGULO-MEZA et al. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. **Invest. Oper.**, Lisboa, v. 27, n. 1, p. 21-36, 2007.
- ARRIGONI, E.B. New pests of the new system. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 28, p. 65-67, 2011.
- ASMILD, M. et al. Measuring overall efficiency and effectiveness using DEA. **Eur. J. Oper. Res.**, Amsterdam, v. 178, n. 1, p. 305–321, 2007.
- BAKIR, H. et al., Understanding flocculation properties of soil impurities presente in the factory sugarcane supply. **J Food Eng**, Essex, v. 189, p. 55-63, 2016.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Manage Sci.**, Providence, v. 30, n. 9, p. 1078-1092. 1984.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. **J Econom.**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 387–399, 1988.
- BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada. **CANAOSTE**, Sertãozinho, 2009.
- BORGES, F. H.; DALCOL, P. R. T. Indústrias de processo: comparações e caracterizações. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEPRO, 2002.
- BRAGATO, I. R. et al. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2008.

CACERES, J. F. **Efficiency and Productivity in the Chilean Banking Industry.**

[S.I.], 2004. Disponível em:

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.565.8826&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

CAMPBELL, D. T.; FISKE, D. W. Convergent and discriminant validation by the multitrait- multimethod matrix. **Psychological Bulletin**, Whashington, n. 56, p. 81-105, 1959.

CARLUCCI, F. V. **Aplicação da Análise Envolvória de Dados (DEA) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil.** 2012. 103f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

CARVALHO, L.; ANTUNES, C. H.; FREIRE, F. Economic-energy-environment analysis of prospective sugarcane bioethanol production in Brazil. **Appl Energy**, London, v. 181, p. 514-526, 2016.

CAUCHICK, P. A. C. (organizador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CAUCHICK, P. A. M. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Revista Produção**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

CHARNES, A. et al. Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. **Journal of econometrics**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 91-107, 1985.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **Eur. J. Oper. Res.**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J.; JACOBS, F. R. **Administracao da producao para a vantagem competit.** Bookman: Porto Alegre, 2006.

CHERUBIN, R. A. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica.** 2003. 124f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CHOWDHURY, H.; ZELENYUK, V. Performance of hospital services in Ontario: DEA with truncated regression approach. **Omega issue**, Toronto, n. 63, p. 111-122, 2016.

CHRISTODOULOU, P. Energy economy otimization in the separation processes: optimizing the separation of sucrose/water and non-sugars. **Int Sugar J.**, Glamorgan, v. 98, n. 1172, p. 419-30; 1996.

CHRISTOFOLETTI, C. A. et al. Sugarcane vinasse: environmental implications of its use. **Waste Manag.**, Elmsford, v. 33, n. 12, p. 2752-2761, 2013.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://www.consecana.com.br>>. Acesso em: 27 jul. 2016.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. A unified additive model approach for evaluating inefficiency and congestion with associated measures in DEA. **Socio-Economic Planning Sciences**, London, v. 34, n. 1, p. 1-25, 2000.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Rev. Bras. Energ.**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 111, 1992.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. **Biomassa para Energia**. UNICAMP: Campinas, 2007.

CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Designing and conducting mixed methods research**. Thousand Oaks, CA: Sage. 2011.

DALBEM, J. A. et al. **Análise de correlação comparativa entre práticas de gestão e resultados energéticos de usinas de açúcar e álcool**. 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/262877/1/Dalbem_JoseAntonio_M.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

DENNIS, D.; MEREDITH, J. An empirical analysis of process industry transformation systems. **Manage Sci**, Providence, v. 46, n. 8, p. 1085-1099, 2000.

DIAS, M.O.S. et al. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane. **Energy**, Oxford, n. 43, p.246–252, 2012.

DIAS, M. O. S. et al. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, Lodon, v. 15, p. 35-51, 2015.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Sugarcane straw and the populations of pests and nematodes. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 305-310, 2013.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Sugarcane**. Instituto Agrônômico (IAC): Campinas, 2008.

DRAKE, L.; HALL, M. J. B.; SIMPER, R. The impact of macroeconomic and regulatory factors on bank efficiency: A non-parametric analysis of Hong Kong's banking system. **J. Bank. Financ.**, Amsterdam, v. 30, n. 5, p. 1443–1466, 2006.

DRUCKER, P. **Prática da administração de empresas**. Cengage Learning Editores, 1981.

EFRON, B., Bootstrapping methods: another look at the jackknife. **Ann Stat**, Hayward, v. 7, n. 1, p. 243-267, 1979.

EGGLESTON, G.; MONGE, A. Minimization of seasonal sucrose losses across Robert's-type evaporators in raw sugar manufacture by pH optimization. **J. Agric. food chem.**, Easton, v. 53, n. 16, p. 6332-6339, 2005.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, Mississippi, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EMROUZNEJAD, A.; PARKER, B. R.; TAVARES, G. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-economic planning sciences**, [S.l.], v. 42, n. 3, p. 151-157, 2008.

EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. **Socio-Economic Planning Sciences**, [S.l.], in press, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

ENSINAS, A. V.; NEBRA, S. A.; LOZANO, M. A.; SERRA, L. Analysis of process steam demand reduction and electricity generation in sugar and ethanol production from sugarcane. **Energy Conversion & Management**, Oxford, v. 48, n. 11, p. 2978-2987, 2007.

FALSARELLA JUNIOR, E. **Análise das técnicas de fronteira na mensuração da eficiência em bancos: uma meta-análise**. [s.l.] 2014. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (USP), Ribeirão Preto, 2015.

FARRELL M. J.; FIELDHOUSE, M. Estimating Efficient Production Functions under Increasing Returns to Scale. **J. R. Stat. Soc.**, Series A (General), London, v. 125, n. 2, p. 252 -267, 1962.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **J. R. Stat. Soc.**, London, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.

FERMENTEC. 2015. Disponível em: <<http://www.portalfit.com.br>>. Acesso em: 20 maio 2017.

FERMENTEC. 2016. Disponível em: <<http://www.portalfit.com.br>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. STAB - Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil: Piracicaba, 2011.

FERRANTINO, M. J.; FERRIER, G. D.; LINVILL, C. B. Organizational form and efficiency: Evidence from Indian sugar manufacturing. **J. Comp. Econ.**, San Diego, v. 21, n. 1, p. 29-53, 1995.

FERREIRA, C. M. C. F., GOMES, A. P., **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, M.G: UFV, 2009.

FRACCASCIA, L.; ALBINO, V.; GARAVELLI, C. A. Technical efficiency measures of industrial symbiosis networks using enterprise input-output analysis. **Int. J. Prod. Econ.**, Amsterdam, v. 183, p. 273-286, 2017.

FRANSOO, J. C.; RUTTEN, W. G. M. M. A typology of production control situations in process industries. **Int. J. Oper. Prod. Man.**, London, v. 14, n. 12, p. 47-57, 1994.

FREITAS, W. R.S.; JABBOUR, C. J. C. Utilizando estudo de caso (s) como estratégia de Pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. **Estud. Debate**, Lajeado, v. 18, n. 2, 2011.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. Pioneira Thomson Learning: São Paulo, 2001.

GALLO, D. et al.. **Pragas das plantas e seu controle**. Manual de Entomologia Agrícola. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILIO, L. **Análise dos impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético**. 2015. 86f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

GIOKAS, D. Bank branch operating efficiency: A comparative application of DEA and the loglinear model. **Omega**, [S.l.], v. 19, n. 6, p. 549-557, 1991.

HAIR Jr., J. et al. **Multivariate data analysis**. 17. ed. Essex: Prentice-Hall, 2009.

BORENSTEIN, M. et al. A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis. **Research synthesis methods**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 97-111, 2010.

HJALMARSSON, L. On the Measurement of Productive Efficiency. Author (s): Finn R . Førsund and Lennart Hjalmarsson Source : **The Swedish Journal of Economics**, Stockholm, v. 76, n. 2, 1974.

HJALMARSSON, L. **Generalised Farrell Measures of Efficiency** : An Application to Milk Processing in Swedish Dairy Plants. Author (s): Finn R . Førsund and Lennart Hjalmarsson Published by : Wiley on behalf of the Royal Economic Society Stable URL : <http://www.jstor.org/st.>, [S.l.], v. 89, n. 354, p. 294–315, 1979.

HUANG, W.; ELING, M. An efficiency comparison of the non-life insurance industry in the BRIC countries. **Eur. J. Oper. Res.**, Amsterdam, v. 226, n. 3, p. 577–591, 2013.

JUNQUEIRA, R. Á. R.; MORABITO, R. Optimization approaches for sugarcane harvest front programming and scheduling. **Gest. Prod.**, São Carlos, n. AHEAD, p. 0-0, 2017.

KADWA, M.; BEZUIDENHOUT, C. N. Modelling sugarcane supply consistency at a sugar mil. **Comput Electron Agr**, New York, v. 111, p. 107-111, 2015.

KAO, C. et al. Productivity improvement: efficiency approach vs effectiveness approach. **Omega**, [S.I.], v. 23, n. 2, p. 197–204, 1995.

KAO, C.; LIU, S. Multi-period efficiency measurement in data envelopment analysis: The case of Taiwanese commercial banks. **Omega**, [S.I.], v. 47, p. 90-98, 2014.

KEH, H. T.; CHU, S.; XU, J. Efficiency, effectiveness and productivity of marketing in services. **Eur. J. Oper. Res.**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 265-276, 2006.

KHATIWADA, D. et al. Power generation from sugarcane biomass – a complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil. **Energy**, Oxford, v. 48, p. 241-254, 2012.

KHODABAKHSHI, M.; ASGHARIAN, M.; GREGORIOU, G. N. An input-oriented super-efficiency measure in stochastic data envelopment analysis: Evaluating chief executive officers of US public banks and thrifts. **Expert Syst. Appl.**, New York, v. 37, n. 3, p. 2092-2097, 2010.

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

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. K. **Stochastic frontier analysis**. Cambridge University Press, 2003.

LAIME, E. M. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, São Luis, v. 5, n. 3, 2011.

LEAL, M. R. L. V.; WALTER, A. S.; SEABRA, J. E. A. Sugarcane as an energy source. Biomass Convers. **Biorefin**, [S.I.], v. 3, n. 1, p. 17–26, 2013.

LEE, B. L.; WORTHINGTON, A. C. Technical efficiency of mainstream airlines and low-cost carriers: New evidence using bootstrap data envelopment analysis truncated regression. **Journal of Air Transport Management**. Oxford, v. 38, p. 15-20, 2014.

LIEBERMAN, M. B; LAU L. J.; WILLIAMS M. D. Finn-level productivity and management influence: a comparison of U.S. and Japanese automobile producers. **Mgmt Sci.**, [S.I.], v. 36, p. 1193-1215, 1990.

LIN, T. T.; LEE, C.; CHIU, T. Application of DEA in analyzing a bank's operating. **Expert Syst. Appl.**, New York, v. 36, p. 8883-8891. 2009.

LITTLE, R. J. A.; RUBIN, D. B. **Statistical Analysis with Missing Data**. New York: Wiley, 1987.

LIU, J. S. et al. A survey of DEA applications. **Omega**, [S.I.], v. 41, n. 5, p. 893-902, 2013 A.

LIU, John S. et al. Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey. **Omega**, [S.I.], v. 41, n. 1, p. 3-15, 2013 B.

LOVELL, C. A. K. et al.. Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency. **Top**, Madrid, v. 2, n. 2, p. 175–248, 1994.

MACEDO, M. A. S. et al. Análise do Desempenho Contábil-Financeiro no Agronegócio Brasileiro: aplicando Dea aos dados de agroindústrias do ano de 2006. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008, Rio Branco-AC, **[Anais...]**. Rio Branco, AC: SOBER, 2008.

MANOEL, S. et al. Determinantes do endividamento na indústria sucroenergética brasileira: análise a partir das teorias de estrutura de capital. **Organ. Rurais Agroind.**, Lavras, v. 18, n. 2, 2016.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia de fabricação do álcool e do açúcar**. São Paulo: Ícone, 1993.

MARDANI, A. et al. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 70, p. 1298-1322, 2016.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO, L.C. **Tecnologia do açúcar**: produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001.

MARTINELLI, L. A. et al. Sugar and ethanol production as a rural development strategy in Brazil: evidence from the state of Sao Paulo. **Agricultural Systems**, Essex, v. 104, p. 419-428, 2011.

MASOUD, M. E.; KOZAN, G.; KENT, S. Q. An integrated approach to optimize sugarcane rail operations. **Comput Ind Eng**, New York, v.98, p. 211-220, 2016.

MATHISON, S. Why triangulate? **Educ. Res.**, Washington, v. 17, n. 2, p. 13-17, 1988.

MAXWELL, J. A. Expanding the History and Range of Mixed Methods Research. **Journal of Mixed Methods Research**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 12–27, 2016.

MELLO, J. C. C. B. S. et al. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesq. Oper.**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003.

MILANEZ, A. Y. et al. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 35, p. 277–302, mar. 2012.

MORAES, M. L.; BACCHI, M. R. P. Etanol: do início às fases atuais de produção. **Rev. Polít. Agric.**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 5-22, 2015.

MORGAN, D. L. Paradigms lost and pragmatism regained methodological implications of combining qualitative and quantitative methods. **Journal of mixed methods research**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 48-76, 2007.

MOUZAS, S. Efficiency versus effectiveness in business networks. **J. Bus. Res.**, Athens, v. 59, n. 10–11, p. 1124–1132, 2006.

NASCIMENTO, D. Crise nas usinas chega a Justiça. **Revista RPA News**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 164, p. 6-13, out. 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/jKTEwf>>. Acesso em: 20 abr. 2017

NASTARI, P. M. Produção sustentável- A importância do setor sucroenergético no Brasil. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 03, p. 16-17, 2012.

NEVES, M. F. et al. Sugarcane Industry Development Analysis from the Perspective of Agro-Industrial System Quantification. **Research in Agriculture**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 42, 2016.

NEVES, M. F.; TROMBINI, V. G. A dimensão do setor Sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14 – Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP 2014. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

ÖSTLUND, U. et al.. Combining qualitative and quantitative research within mixed method research designs: a methodological review. **Int. j. nurs. Stud.**, Elmsford, v. 48, n. 3, p. 369-383, 2011.

PADILLA-FERNANDEZ, M. D.; NUTHALL, P. L. Technical Efficiency in the Production of Sugar Cane in Central Negros Area, Philippines: an Application of Data Envelopment Analysis. **J. Issaas**, Los Baños, v. 15, n. 1, p. 77-90, 2009.

PAIM, R. et al. **Gestão de processos: pensar, agir e aprender**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

PARADI, J. C.; ZHU, H.; EDELSTEIN, B. Identifying managerial groups in a large Canadian bank branch network with a DEA approach. **Eur. J. Oper. Res.**, Amsterdam, v. 219, p. 178-187, 2012.

PARETO, V. The new theories of economics. **J. Polit. Econ.**, Chicago, v. 5, n. 4, p. 485-502, 1897.

PATTON, M. **Qualitative evaluation methods**. Thousand Oaks, CA: SAGE. 1980.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. São Paulo: STAB, 1989.

PELLEGRINI, L. F.; OLIVEIRA JUNIOR, S. Combined production of sugar, ethanol and electricity: thermoeconomic and environmental analysis and optimization. **Energy**, [S.l.], v. 36, n. 6, p. 3704-3715, 2011.

PEREIRA, C. N. **Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil com o método análise envoltória de dados (DEA) - índice de Malmquist**. 2012. 120p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Eocnomica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

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

PESTANA, M. H.; GAGEIRO, J. N. **Análise de dados para ciências sociais: a complementaridade do SPSS**. 4. ed. Lisboa: [s.n.], 2011.

PIGOTT, T. D. A review of methods for missing data. **Educational Research and Evaluation**. [S.l.], v. 7, n. 4, p. 353-383, 2001.

PIMENTEL, L. A. S. **O impacto da matriz energética e das mudanças no uso da terra na eficiência relativa entre os países membros do G20 na emissão de gases de efeito estufa: uma análise de envelopamento de dados (DEA) nos anos 1990, 2000 e 2010**. 289f. Tese (Doutorado em Administração e Organizações) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2014.

PURI, J.; YADAV, S. P. A concept of fuzzy input mix-efficiency in fuzzy DEA and its application in banking sector. **Expert Syst. Appl.**, New York, v. 40, p. 1437-1450, 2013.

REIN, P. W. Prospects for the conversion of a sugar mill into a biorefinery. In: **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, 2007.

RENÓ, M. L. G. et al.. Sugarcane biorefineries: Case studies applied to the Brazilian sugar–alcohol industry. **Energy Conversion and Management**, [S.l.], v. 86, p. 981-991, 2014.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. A palha como fonte de energia = Staw as a power source. p. 349-404. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A., eds. **Sugarcane**. Instituto Agrônômico, Campinas, 2008.

ROBERTIELLO, A. Upgrading of agricultural and agro-industrial wastes: the treatment of distillery effluents (vinasses) in Italy. **Agricultural Wastes**, Essex, v. 4, n. 5, p. 387-395, 1982.

ROCHA, G. **Análise termodinâmica, termoeconômica e econômica de uma usina sucroalcooleira com processo de extração por difusão**. 2010. 148f. Dissertação (Mestrado em Ciências Térmicas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/88870>>. Acesso em 10 jul. 2016.

RUIZ, J. L.; SIRVENT, I. Common benchmarking and ranking of units with DEA. **Omega**, [S.l.], v. 65, p. 1-9, 2016.

SALE, J. E.; LOHFELD, L. H.; BRAZIL, K. Revisiting the quantitative-qualitative debate: Implications for mixed-methods research. **Qual. Quan.**, Dordrech, v. 36, n. 1, p. 43-53, 2002.

SALGADO JUNIOR, A. P.; BONACIM, C. A. G.; PACAGNELLA JUNIOR, A. C. Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado São Paulo. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, [S.l.], v. 11, p. 494–513, 2009.

SALGADO JUNIOR, A. P.; BONACIM, C. A. G.; PACAGNELLA JUNIOR, A. C. Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de São Paulo. **Org. Rurais Agroind.**, Lavras, v. 11, n. 3, 2011.

SALGADO JUNIOR, A. P.; CARLUCCI, F. V.; GRESPAN, C. A. Investment potential for new sugarcane plants in Brazil based on assessment of operational efficiency. **Int. Food Agrib. Man. Rev.**, New York, v. 17, n. 2, p. 41-64, 2013.

SAN, O. T.; THENG, L. Y.; HENG, T. B. A comparison on efficiency of domestic and foreign banks in Malaysia : A DEA approach. **Businees Management Dynamics**, [S.l.], v. 1, n. 4, p. 33–49, 2011

SANTOS, G. E. O. **Cálculo amostral**: calculadora on-line. Disponível em: <<http://www.calculoamostral.vai.la>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

SANTOS, G. R., organizador. **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. – Brasília: Ipea, 2016.

SAPCANA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento** - Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira. 2017. Disponível em: <sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/>. Acesso em: 20 jul. 2016.

SCHAFER, J. L. **Analysis of incomplete multivariate data**. London: Chapman & Hall/CRC. 1997.

SCHAFER, J. L.; GRAHAM, J. W. Missing data: our view of the state of the art. **Psychological Methods**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 147–177, 2002.

SEABRA, J.E.A.; MACEDO, I.C. Comparative analysis for power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in Brazil. **Energy Policy**, Surrey, v. 39, n. 1, p. 421-428, 2011.

SERRA, L., et al. Polygeneration and efficient use of natural resources. **Energy**, Surrey, v. 34, n. 5, p.575-586, 2009.

SHIKIDA, P. F. A. **A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995**. Cascavel: Edunioste, 1998.

SILVA, D. P. **Estudo econômico do período de duração da safra de cana-de-açúcar na produção de açúcar e álcool para usinas de médio porte da região centro-sul do Brasil**. São Caetano do Sul: CEUN-EEM, 2007.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Sensitivity analysis of efficiency score: how to bootstrap in nonparametric frontier models. **Manage Sci**, Providence, v. 44, n. 1, p. 49-61, 1998.

_____. A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. **Manage Sci**, Providence, v. 44, p. 49-61, 2000.

SINGH, S. P.; AGARWAL, S. Total factor productivity growth, technical progress and efficiency change in sugar industry of Uttar Pradesh. **Indian Econ. J.**, Bombay, v. 54, n. 2, p. 59-82, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUZA, M.; MACEDO, M. Análise de desempenho contábil-financeiro no setor bancário brasileiro por meio da aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA). **BASE – Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, São Leopoldo, v. 6, n. 2, p. 81–100, ago. 2009.

STEWART, C.; MATOUSEK, R.; NGUYEN, T. N. Efficiency in the Vietnamese banking system: A DEA double bootstrap approach. **Research in International Business and Finance**, [S.l.], v. 36, p. 96-111, 2016.

THAI, C. C. D.; BAKIR, H.; DOHERTY, W. O. S. Insights to the clarification of sugar cane juice expressed from sugar cane stalk and trash. **Journal of agricultural and food chemistry**, Easton, v. 60, n. 11, p. 2916-2923, 2012.

THANASSOULIS, E. Assessing the efficiency of schools with pupils of different ability using data envelopment analysis. **J Oper Res Soc**, Oxford, v. 47, n. 1, p. 84-97, 1996.

THANASSOULIS, E. **Introduction to the theory and application of data envelopment analysis**. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 2001.

TOLEDO, J. C.; FERRO, J. R.; TRUZZI, O. M. S. Indústrias de Processo Contínuo: Novos Rumos para a Organização do Trabalho. **Rev. Adm. Empres.**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 103-105, jan-mar, 1986.

TORQUATO, S. A.; BINI, D. L. C. Crise na cana? **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 1-5, fev. 2009.

TORQUATO, S. A.; MARTINS, R.; RAMOS, F. S. Cana-de-Açúcar no estado de São Paulo. Eficiência econômica das regionais. Novas e tradicionais de produção. **Inf. Econ.**, São Paulo, v. 39, n. 5, p. 92-99, 2009.

TORRANCE, H. Triangulation, respondent validation, and democratic participation in mixed methods research. **Journal of Mixed Methods Research**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 111-123, 2012.

UDOP. **Fluxogramas da Produção de Açúcar e Alcool**. União dos Produtores de Bionergia. 2016. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=29960>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

UNICA – **União da Indústria de Cana de Açúcar**. 2017. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 1997.

WANG, J.; ZHAO, T.; ZHANG, X. Environmental assessment and investment strategies of provincial industrial sector in China — Analysis based on DEA model. **Environ. Impact Asses. Rev.**, New York, v. 60, p. 156-168, 2016.

WANKE, P. F.; AFFONSO, C. R. Determinantes da eficiência de escala no setor brasileiro de operadores logísticos. **Prod.**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 53-63, mar. 2011.

WANKE, P.; BARROS, C. Two-stage DEA: An application to major Brazilian banks. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 5, p. 2337–2344, 2014.

WIJESIRI, M.; VIGANÒ, L.; MEOLI M. Efficiency of microfinance institutions in Sri Lanka: a two-stage double bootstrap DEA approach. **Economic Modeling**, v. 47, p. 74-83, 2015.

XAVIER, C.E.O. The evolution of production cost in Brazil's cane industry. **F. O. Licht's International Sugar and Sweetener Report**, Londres, v. 144, n. 11, p. 204-207, Apr. 2012.

_____. **Análise da eficiência do setor sucroenergético brasileiro**. 2014. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2014.

YANG, J. B. et al. Integrated bank performance assessment and management planning using hybrid minimax reference point – DEA approach. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1506-1518, dez. 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2005.

APÊNDICE 1 – PONTOS DE CONTROLE DO PROCESSO

1	% CANA PICADA ENTREGUE	43	TEMP. AQUECEDOR ÁLCOOL (°C)
2	TEMPO ENTREGA POND. GERAL (h)	44	TEMP. DECANTADOR ÁLCOOL (°C)
3	TEMPO ENTREGA INT. QUEIM. (h)	45	TEMP. AQUECEDOR AÇÚCAR (°C)
4	TEMPO ENTREGA INT. CRUA (h)	46	TEMP. DECANTADOR AÇÚCAR (°C)
5	TEMPO ENTREGA PIC. QUEIM. (h)	47	CONSUMO CAL (g/saca AÇÚCAR)
6	TEMPO ENTREGA PIC. QUEIM. (h)	48	SULFITO CALDO SULFITADO (mg/L)
7	TEMPO ENTREGA PIC. CRUA (h)	49	TORTA (Kg/t CANA)
8	% CANA ENTRADA 0 - 48 HORAS	50	TORTA ART PERDIDO (% ART CANA)
9	% CANA ENTRADA 48 - 72 HORAS	51	MOSTO IMPUREZAS (%)
10	% CANA ENTRADA >72 HORAS	52	MOSTO TEMPERATURA (°C)
11	TEMP. MÁX. AMBIENTE (°C)	53	MOSTO SULFITO (mg/L)
12	TEMPERATURA MÍN. AMBIENTE (°C)	54	MOSTO ART (%)
13	UMIDADE RELATIVA DO AR	55	MOSTO PUREZA (%)
14	IMPUREZAS MINERAIS (Kg/t)	56	MOSTO UFC X 10 ² /mL
15	IMPUREZAS VEGETAIS (Kg/t)	57	MOSTO ACIDEZ (g H ₂ SO ₄ /L)
16	UMIDADE DIGESTOR (%)	58	MOSTO FÓSFORO (mg/L)
17	OPEN-CELL DESFIBR. PCTS (%)	59	MOSTO TEMPO ALIMENTAÇÃO (h)
18	AR % CANA ANALISADO (%)	60	MOSTO % VOLUME CUBA
19	PUREZA CANA PRENSA (%)	61	MOSTO VAZÃO (m ³ /h)
20	ACIDEZ CANA PRENSA (g H ₂ SO ₄ /L)	62	MOSTO % ÁLCOOL (NA BASE BRIX)
21	pH CANA PRENSA	63	MEL F. PÓS CENT UFCX 10 ⁴ /mL
22	ART % CANA DIGESTOR (%)	64	MEL F. PÓS CENT-ACIDEZ/BRIX
23	FIBRA % CANA DIGESTOR (%)	65	MEL F. PÓS CENT - PUREZA (%)
24	ATR (Kg/t)	66	MEL F.S.C. PÓS-TQ UFCX10 ⁴ /mL
25	DEXTRANA CANA (mg/L/BRIX)	67	MEL F. POS TQ-ACIDEZ/BRIX
26	AMIDO GERAL CANA (mg/L/BRIX)	68	MEL F. PÓS TQ - PUREZA (%)
27	BROCA (%)	69	VINHO BRUTO TEMP. MÁXIMA (°C)
28	ESTOQUE FINAL CANA (%)	70	VINHO BRUTO BASTONETESX10 ⁵ /mL
29	% ÁLCOOL CANA NA BASE BRIX	71	VINHO BRUTO LEVEDO (%)
30	% TEMPO APROV. GERAL	72	VINHO BRUTO VIABILIDADE (%)
31	% TEMPO APROV. AGRÍCOLA	73	VINHO BRUTO ART (%)
32	% TEMPO APROV. CHUVA	74	VINHO BRUTO ÁLCOOL (%)
33	% TEMPO APROV. INDÚSTRIA	75	VINHO BRUTO N. AMONÍACAL (ppm)
34	FREQUÊNCIA DE PARADAS	76	VINHO BRUTO ACIDEZ (g H ₂ SO ₄ /L)
35	EFETIVIDADE ENTREGA DE CANA	77	TEMPO FERMENTAÇÃO (h)
36	CANA MOÍDA (t/h)	78	TEMPO ESPERA CENTRÍFUGA (h)
37	ART (t/h)	79	AGLOMERAÇÃO % FERMENTAÇÃO (%)
38	FIBRA (t/h)	80	GLICEROL % ART MOSTO
39	TEMP. ÁGUA EMBEBIÇÃO(°C)	81	BIOMASSA TOTAL % ART MOSTO
40	EMBEBIÇÃO % FIBRA	82	ACIDEZ PRODUZIDA % ART MOSTO
41	EXTRAÇÃO TOTAL (% ART)	83	LEV. TRAT. PH LEVEDO
42	% ART DA CANA ENSACADO	84	LEV. TRAT. CONS. g H ₂ SO ₄ /L CUB

APÊNDICE 1 – PONTOS DE CONTROLE DO PROCESSO			
85	LEV. TRAT.ÁGUA DIL.UFCX10 ⁴ /mL	129	TIPO DE AÇÚCAR
86	LEV. TRAT. TEMPO TRAT.GERAL(h)	130	POL AÇÚCAR
87	LEV. TRAT. TEMPO TRAT.ÁCIDO(h)	131	UMIDADE AÇÚCAR (%)
88	LEV. TRAT. ÁLCOOL (%)	132	COR AÇÚCAR
89	LEV. TRAT. LEVEDO (%)	133	CINZAS AÇÚCAR
90	LEV. TRAT. ACIDEZ (g H ₂ SO ₄ /L)	134	PONTOS PRETOS AÇÚCAR
91	% LEVEDO NO LEITE (CREME)	135	PARTÍC. MAGNÉTIZÁVEIS AÇÚCAR
92	% LEVEDO VINHO APÓS VOLANTE	136	RESÍDUOS INSOLÚVEIS AÇÚCAR
93	PERDA VINHAÇA (% ÁLC PROD.)	137	GRANULOMETRIA CV AÇÚCAR (%)
94	PERDA FLEGMAÇA (% ÁLC. PROD)	138	GRANULOMETRIA AM AÇÚCAR (mm)
95	AÇÚCAR PRODUZIDO (t)	139	FILTRABILIDADE AÇÚCAR
96	ÁLCOOL PRODUZIDO (m ³)	140	DEXTRANA AÇÚCAR (mg/L)
97	RECUPERADO % ÁLCOOL CO ₂	141	SULFITO AÇÚCAR (mg/L)
98	RENDIMENTO DESTILAÇÃO (%)	142	AMIDO AÇÚCAR (mg/L)
99	RENDIMENTO FERMENTAÇÃO (%)	143	POLISSACARÍDEOS AÇÚCAR (mg/L)
100	RENDIMENTO GERAL DESTILARIA(%)	144	pH CALDO DOSADO
101	RECUPERADO TOTAL CORRIGIDO (%)	145	pH CALDO SULFITADO
102	RECUPERADO TOTAL (%)	146	pH CALDO DECANTADO
103	RECUPERADO FÁBRICA AÇ.(SJM)(%)	147	pH XAROPE SIMPLES
104	PRODUTIVIDADE ÁLCOOL (L/t)	148	ACIDEZ CALDO DOSADO(BASE BRUX)
105	PRODUTIVIDADE AÇÚCAR (Kg/t)	149	ACIDEZ CALDO DECANT(BASE BRUX)
106	PRODUTIVIDADE CANA (t/hectare)	150	ACIDEZ CLD PRÉ-EVAP(BASE BRUX)
107	PERDAS ÁGUAS DE LAVAGEM (%)	151	ACIDEZ XAROPE SIMPL(BASE BRUX)
108	PERDAS MULTIJATO EVAPOR. (%)	152	PUREZA CALDO DECANTADO (%)
109	PERDAS MULTIJATO VÁCUOS (%)	153	PUREZA XAROPE SIMPLES (%)
110	PERDAS ÁGUAS RESIDUAIS (%)	154	PUREZA MASSA A (%)
111	PERDAS INDETERMINADAS (%)	155	PUREZA MAGMA B (%)
112	DISPERSANTE (g/L)	156	PUREZA MASSA B (%)
113	ANTIESPUMANTE (g/L)	157	PUREZA MEL RICO (%)
114	ANTIBIÓTICOS (mg/L)	158	PUREZA MEL POBRE (%)
115	BETA ÁCIDO (mg/L)	159	BRUX XAROPE SIMPLES (%)
116	FERMASURE (mg/L)	160	BRUX MASSA A (%)
117	LACTOSTAB (mg/L)	161	BRUX MAGMA B (%)
118	ALFA ÁCIDO - ISOSTAB (mg/L)	162	BRUX MASSA B (%)
119	CONSUMO ÁCIDO (gH ₂ SO ₄ / L ÁLC.)	163	BRUX MEL RICO (%)
120	ENXOFRE CLARIFIC. (g/saca)	164	BRUX MEL POBRE
121	ELETRODO OU ARAME (g/t)	165	BRUX MEL FINAL (%)
122	POL % CANA DIGESTOR	166	TURBIDEZ CALDO DECANTADO
123	POL % CANA PRENSA	167	COR CALDO DECANTADO
124	FIBRA % CANA PRENSA	168	COR XAROPE SIMPLES
125	% CANA BISADA	169	COR XAROPE FLOTADO
126	% CANA ÁREA VINHAÇA	170	COR MAGMA A
127	% CANA AMOSTRADA	171	RETENÇÃO DE SÓLIDOS NO LODO(%)
128	MIX % ART CALDO		

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE 2 – ESTUDO DE CASO - PROTOCOLO DE PESQUISA

Introdução ao estudo de caso e finalidade do protocolo:

Este documento tem como função orientar o pesquisador quanto ao desenvolvimento do estudo de caso na usinas de açúcar e etanol definida na etapa de trabalho quantitativa. A etapa quantitativa orientou quanto à eficiência das usinas e as variáveis mais importantes e relevantes para tal. Desta forma, cabe a etapa qualitativa, através do estudo de caso a coleta de dados dos processos e conseguir explicar o motivo de uma usina ser mais eficiente que outra, descobrir as razões dessa eficiência. Desta forma, este protocolo passa a ser um guia a ser seguido para atender aos objetivos desta tese.

Procedimentos de coleta de dados

Locais a serem visitados:

- Visitar uma usina eficiente e entrevistar um especialista em processo de produção de açúcar e etanol. Serão feitos contatos com o diretor ou com o gerente industrial, com os técnicos responsáveis dos processos a serem estudados e com os especialistas.

Plano de coleta de dados

- A visita a usina e a entrevista com o especialista foram feitas no período compreendido entre novembro de 2016 a março de 2017.
- O pesquisador irá se deslocar até a empresa e deverá gastar de 1 a 2 dias em cada uma para realizar o estudo.
- Anteriormente a visita ao local a ser estudado, deverá ser agendado o horário das entrevistas e proceder com o uso dos questionários desenvolvidos para esta finalidade.
- Levar papel para apontamentos, caneta, prancheta, gravador, filmadora e/ou máquina fotográfica.

Questões do estudo de caso - Entrevista semiestruturada:

- solicitar local adequado para início da entrevista e também visita nas operações produtivas para verificação do processo.
- antes de iniciar a entrevista o entrevistador deverá:
 - explicar o objetivo do trabalho; solicitando que o entrevistado, a qualquer momento, possa solicitar esclarecimentos sobre o trabalho.
 - deixar explícito a confidencialidade das informações e o anonimato dos entrevistados;
 - solicitar autorização para filmagens ou fotografia dos processos e gravação das entrevistas.
- os processos e variáveis explicativas a serem estudados constam do apêndice 3, da tese, com suas respectivas definições e explicações.

Esboço do relatório de estudo de caso

Usina eficiente/ Especialista:

Data da visita, cargo dos entrevistados, formação e experiência no ramo.

Dados das usinas, local, capacidade, produção na última safra, idade.

Estrutura organizacional da área industrial.

Quantidade de pessoas ligadas ao processo industrial, formação, experiência no ramo.

Descrever todo o processo de operação referente às variáveis estudadas.

Descrever os indicadores de desempenho utilizados e os mais relevantes para a tomada de decisão.

Descrever a tecnologia utilizada nos processos.

Descrever os principais pontos fortes e fracos dos processos.

Descrever a forma de tomada de decisão.

Questões de estudo de caso

As questões para a realização do estudo de caso se encontram nos roteiros de entrevista para o diretor e/ou gerente industrial, para o técnico responsável dos processos a serem estudados e para o especialista.

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE 3 – INSTRUMENTO DE PESQUISA

<i>Nome do Indicador</i>	<i>Especialista</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Observação Benchmark</i>	<i>Como operacionalizar a mensuração?</i>
Tempo de entrega da cana (h)	Gerente Agrícola, especialista da Fermentec, Pesquisador	Compreender como o tempo de entrega da cana está afetando a eficiência. Compreender como o tempo afeta a "qualidade" do caldo	A mediana do Tempo de entrega da cana (h) das usinas eficientes foi de 12,07 horas	Ver a metodologia (processo, tecnologia, pessoas) usada pela empresa na parte agrícola
Extração de ART do caldo (%)	Gerente Industrial, especialista da Fermentec	Compreender a mensuração da perda de ART na extração Comprovadamente, o uso de difusor melhora a eficiência, só que seu custo é mais alto O problema de se usar moenda são as paradas mais frequentes	A mediana de Extração de ART do caldo (%) nas usinas eficientes foi de 96,14% de ART	A matéria-prima pode afetar a extração Verificar uso de difusor ou moenda
Perda de ART na torta de filtro (kg/ton de cana-de-açúcar)	Gerente Industrial/Supervisor de Laboratório/especialista da Fermentec	Analisar o motivo da perda de ART no filtro	A média da Perda de ART na torta de filtro (%) nas usinas eficientes foi de 0,40%	Verificar os processos de filtragem e tratamento do Acompanhar o tratamento do caldo Acompanhar análise da torta de filtro
Levedo (%)	Gerente Industrial/Supervisor de Laboratório/especialista da Fermentec	Analisar a quantidade utilizada para misturar com o mosto	A mediana da % de Levedo nas usinas eficientes foi de 36,12 %	Entrevistar o responsável pelo controle
Bastonetes no vinho bruto (mL)	Gerente Industrial/Supervisor de Laboratório/especialista da Fermentec	Impurezas influenciam a quantidade dos bastonetes Cana inteira influencia a quantidade dos bastonetes Cana queimada é melhor	A mediana da quantidade de Bastonetes no vinho bruto ($\times 10^5$ /ml) nas usinas eficientes foi de 87,62 10^5 / mL	Acompanhar a análise de bastonetes
Perda de álcool na Vinhaça (%)	Gerente Industrial/Supervisor de Laboratório/especialista da Fermentec	A perda ocorre, então analisar se há um fator mandatório	A mediana da Perda de álcool na vinhaça (%) nas usinas eficientes foi de 0,14 %	Acompanhar a análise do índice de perda
Perda de álcool na Flegmaça (%)	Gerente Industrial/Supervisor de Laboratório/especialista da Fermentec	A perda ocorre, então analisar se há um fator mandatório	A mediana da Perda de álcool na flegmaça (%) nas usinas eficientes foi de 0,03%	Acompanhar a análise do índice de perda

Brainstorming (02/12)		Perguntas Usina		Perguntas Especialista	Referencial Teórico
Por quê demora?					
Qual o modal utilizado?					
Próprio ou terceirizado?					
Como é o processo logístico?					
Se quiser diminuir, o que fazer?					
Se o problema for o tempo de entrega, qual a contribuição do IP?					
Geralmente as usinas eficientes fazem					
Entender o processo logístico					
Diferença significativa					
Qual a tecnologia utilizada? Difusor?					
Moenda? Se for moenda, quantos					
Como é calculada a extração de ART? É a eficiência do laboratório?					
Faz sentido a regressão (usina)					
Como é o processo de filtração?					
Quais são os tipos de filtros? Tipos					
Entender melhor o processo de					
Como medir? De quanto em quanto					
Fato: quanto mais eficiente a usina,					
Entender os motivos da usina usar					
Entender os motivos das usinas que					
É possível medir ATR do caldo antes					
Sabe-se os motivos da contaminação, então quanto mais					
Rastrear na literatura os fatores que influenciam.					
O que faz aumentar os bastonetes?					
Entender o processo de destilação do vinho.					
Qual a tecnologia utilizada?					
Como é feito esse processo?					
Barricool é benchmark					
				Na sua opinião, quais os fatores que mais influenciam no tempo de entrega da cana? Qual a importância dele para a usina? Quais seriam as boas práticas para este fator?	(Kadwa e Bezuidenhout, 2015; Carvalho et al., 2016; Massoud et al., 2016)
				Na sua opinião quais os principais fatores a serem controlados para que se tenha uma extração acima de 97% do ART da cana? Como a tecnologia, a mão de obra e a matéria prima podem influenciar neste processo? quais os principais fatores que podem determinar perdas de ART na torta de filtro? Como pode-se evitá-los e quais as dificuldades para isso?	(Marques et al., 2001; Dal-Bem et al., 2006; Rein, 2007; Egglestone e Monge, 2005; Benedini et al., 2009; Thai et al., 2012; Bakir et al., 2016).
				Como o % de levedo altera a eficiência da usina? Como controla-lo?	(Gava, 1984; Ravnö e Purchase, 2006; Lopes, 2008; Pacheco, 2010).
				Como é mantido um alto teor alcoólico do vinho e como é feito, acompanhado e controlado a ação e adição de leveduras no processo?	(Cortez et al., 1992; Robertiello, 1982; Christofoletti et al., 2013; Cortez e Lora, 2007; Laine et al., 2011)
				Sabe-se, pela literatura, que a quantidade de bastonetes é da ordem de 13,5 Bast./ML (10 ³). Qual o índice atual da usina? Quais as dificuldades para se manter este índice neste patamar?	(Botelho e Macedo, 2002; Gallo et al., 2002; Dinardo-Miranda, 2008; Dinardo-Miranda e Fracasso, 2013)
				Quais as medidas/processos operacionais adotados para controlar este	
				Quais os controles utilizados?	(Cortez et al., 1992; Robertiello, 1982; Christofoletti et al., 2013; Cortez e Lora, 2007; Laine et al., 2011)
				Sabe-se, pela literatura, que a perda na vinhaça + flegmassa é, em média, de	
				Quais as medidas operacionais realizadas para manter este índice baixo?	(Cortez et al., 1992; Robertiello, 1982; Christofoletti et al., 2013; Cortez e Lora, 2007; Laine et al., 2011)

APÊNDICE 4 – DADOS DE 33 USINAS PESQUISADAS – SAFRAS 2010 A 2015

						ATR	
DMU	MOAGEM (ton)	ATR TOTAL (ton)	AÇÚCAR (ton)	ETANOL (m³)	SAFRA	SCORE BCC	SCORE BCC bootstrap
		Input	Output	Output		Score 3	
							escore
1	2.511.105,58	294.545.151,22	173.896,98	106.969,26	2010/2011	100	100
2	1.796.687,00	244.250.614,22	222.711,48	40.658,55	2011/2012	100	100
3	2.658.917,76	361.585.694,40	335.676,12	49.681,96	2011/2012	100	100
4	934.488,47	126.030.722,00	86.521,38	31.819,24	2012/2013	100	100
5	7.015.542,59	924.219.327,02	703.150,99	193.958,07	2012/2013	100	100
6	7.359.728,62	958.749.786,60	688.184,84	243.633,42	2013/2014	100	100
19	6.401.370,22	916.164.105,89	599.202,42	246.365,36	2014/2015	100	100
57	2.583.928,88	341.647.076,51	78.733,32	171.342,05	2014/2015	100	100
79	1.100.682,04	149.377.687,21	75.524,64	47.937,95	2011/2012	100	100
91	2.179.128,31	275.044.127,47	63.881,04	134.518,66	2013/2014	100	100
12	6.454.954,88	869.361.714,68	599.892,84	232.859,68	2010/2011	99,94	99,87
7	2.707.857,61	361.559.322,00	332.493,36	51.499,69	2012/2013	99,9	99,8
8	1.253.420,67	168.916.960,84	111.298,02	49.324,33	2010/2011	99,88	99,77
9	3.001.095,00	399.799.873,71	359.956,56	54.552,43	2013/2014	99,81	99,64
10	2.785.353,00	372.406.709,74	330.357,60	60.263,85	2010/2011	99,74	99,53
11	2.917.010,00	379.736.361,80	337.980,66	60.384,50	2014/2015	99,72	99,5
13	1.036.497,50	137.202.511,16	91.091,64	37.042,88	2013/2014	99,71	99,46
15	1.522.337,09	212.548.704,51	185.612,94	33.249,75	2014/2015	99,69	99,41
14	5.015.700,04	645.945.926,51	518.745,60	120.429,32	2012/2013	99,49	99,07
29	1.213.108,38	165.048.951,14	96.699,48	52.116,61	2010/2011	99,15	98,56
16	3.675.758,00	534.003.609,57	444.063,84	85.856,49	2010/2011	99,06	98,44
17	3.797.382,94	487.058.639,54	412.733,14	77.222,84	2013/2014	98,83	98,11
18	7.120.482,90	935.898.898,40	663.959,70	234.799,58	2012/2013	98,76	97,84
82	2.351.610,22	309.929.998,62	75.609,60	150.145,14	2012/2013	98,76	97,78
34	3.942.671,05	544.831.719,54	321.161,16	171.916,99	2010/2011	98,11	97,72
25	3.466.382,00	443.972.556,56	348.263,49	93.023,51	2013/2014	97,77	97,51
24	2.827.038,30	386.517.651,96	319.421,10	72.068,35	2010/2011	97,83	97,45
74	1.222.074,53	172.109.338,84	78.607,80	62.571,59	2010/2011	98,55	97,35
22	6.049.686,52	797.991.644,02	579.792,60	188.099,23	2011/2012	97,9	97,09
20	6.592.508,41	853.535.689,72	635.180,68	183.543,01	2013/2014	98,2	97,08
26	2.536.190,50	328.724.344,77	277.371,70	58.951,54	2012/2013	97,61	97,02
31	3.625.439,45	490.521.957,59	396.271,20	92.243,43	2011/2012	97,36	96,88
21	4.874.848,12	635.559.786,10	503.925,26	114.925,11	2011/2012	97,92	96,84
33	1.504.154,31	198.116.587,89	144.347,16	48.230,09	2012/2013	97,25	96,76
23	1.241.411,05	170.364.444,60	126.252,06	39.341,39	2011/2012	97,89	96,75
28	3.677.280,27	509.277.576,43	416.951,52	90.134,08	2013/2014	97,5	96,75
27	3.368.168,66	479.185.987,09	402.174,96	73.478,75	2011/2012	97,5	96,56
49	4.131.890,18	547.497.223,91	284.822,22	186.577,33	2013/2014	97,53	96,34
36	3.311.779,94	439.079.096,23	362.721,04	76.400,72	2014/2015	96,69	96,11
40	3.462.195,33	448.089.091,07	292.597,32	126.847,59	2011/2012	96,36	96
41	1.507.456,16	198.184.240,81	130.389,78	55.145,28	2011/2012	96,29	95,98

						ATR	
DMU	MOAGEM (ton)	ATR TOTAL (ton)	AÇÚCAR (ton)	ETANOL (m³)	SAFRA	SCORE BCC	SCORE BCC bootstrap
		Input	Output	Output		Score 3	
							escore
30	1.938.440,00	278.077.940,98	242.400,24	46.324,29	2010/2011	97,42	95,97
32	6.130.057,26	848.461.225,36	626.450,15	180.498,86	2010/2011	97,33	95,96
35	6.470.392,26	876.638.507,19	626.131,50	205.333,90	2011/2012	97,11	95,83
53	3.753.582,90	541.660.780,38	319.283,34	165.099,85	2010/2011	96,19	95,82
43	3.823.004,81	526.999.301,56	351.867,96	141.401,49	2010/2011	96,14	95,8
38	5.304.241,20	739.199.053,63	541.643,94	162.617,95	2014/2015	96,39	95,73
37	3.660.969,07	496.427.405,89	400.814,46	89.593,17	2014/2015	96,4	95,72
39	1.308.268,18	177.637.516,94	111.677,52	51.397,31	2011/2012	96,39	95,68
52	4.104.033,29	561.226.552,41	341.261,40	165.280,79	2014/2015	95,99	95,58
59	4.028.028,40	544.316.661,60	287.494,07	180.175,04	2013/2014	96,35	95,55
45	2.155.296,58	267.584.381,00	172.106,16	80.213,05	2014/2015	95,98	95,47
58	4.106.537,45	570.882.409,68	306.569,76	185.908,06	2010/2011	96,4	95,43
61	3.687.043,26	495.315.153,51	270.652,44	160.547,45	2012/2013	95,75	95,34
50	4.106.164,85	537.867.777,87	375.151,55	131.404,59	2011/2012	95,51	95,31
44	3.384.985,46	473.176.624,00	387.215,52	80.677,77	2012/2013	96,01	95,21
51	5.595.371,80	711.354.612,53	438.522,49	201.754,69	2013/2014	96,21	95,19
48	2.087.350,10	290.273.793,16	234.706,08	56.113,29	2010/2011	95,77	95,1
46	1.233.183,61	159.440.550,86	104.513,76	41.978,70	2014/2015	95,96	94,98
55	3.505.350,97	459.953.190,33	321.254,28	112.040,91	2012/2013	95	94,85
47	6.445.017,33	861.885.722,52	607.342,80	201.506,64	2014/2015	95,95	94,78
67	4.111.617,30	561.185.155,66	309.532,30	176.125,11	2012/2013	95,27	94,72
56	3.934.257,16	558.074.378,15	411.913,32	119.089,65	2014/2015	94,96	94,65
54	3.629.917,01	477.202.139,33	303.705,00	134.894,78	2013/2014	95,06	94,53
62	3.723.276,08	489.929.926,51	349.562,68	112.068,48	2012/2013	94,48	94,31
42	1.672.140,55	237.403.408,69	206.951,79	36.056,44	2012/2013	96,34	94,24
69	1.702.253,76	232.017.681,14	128.631,06	76.540,61	2011/2012	94,48	93,98
65	4.403.946,11	568.965.496,80	395.574,98	133.199,07	2013/2014	94,05	93,83
68	3.276.330,77	450.687.020,09	263.242,14	137.247,38	2011/2012	94,28	93,82
70	4.610.820,17	611.573.561,48	325.986,00	195.027,03	2013/2014	95,72	93,71
66	1.540.236,42	200.623.726,05	135.524,46	50.744,42	2012/2013	94,01	93,68
60	1.272.568,46	160.843.452,93	104.642,76	41.355,76	2012/2013	94,52	93,63
63	5.664.271,88	721.022.726,85	504.267,28	164.288,61	2013/2014	94,14	93,59
81	2.302.591,32	304.512.636,37	131.257,74	119.265,93	2013/2014	94,62	93,47
64	5.197.895,00	726.177.118,87	488.189,70	177.694,94	2010/2011	94,08	93,41
84	2.267.221,27	315.506.511,93	120.679,26	130.340,97	2014/2015	94,97	93,34
72	3.607.543,53	471.741.557,06	367.152,18	85.246,91	2012/2013	93,6	93,2
116	5.881.383,15	812.266.935,11	423.753,66	222.542,10	2010/2011	95,59	93,2
75	1.557.630,10	217.280.053,17	122.103,48	69.190,29	2010/2011	93,74	93,19
71	2.152.003,36	265.441.824,20	171.656,56	74.591,25	2013/2014	93,65	93,14
80	3.625.560,37	499.448.665,63	279.325,68	152.240,82	2011/2012	93,39	93,04
76	4.953.641,26	664.605.923,62	408.191,83	180.674,28	2010/2011	93,55	92,94
114	2.028.257,46	283.798.245,97	71.971,08	127.913,37	2011/2012	94,35	92,62

						ATR	
DMU	MOAGEM (ton)	ATR TOTAL (ton)	AÇÚCAR (ton)	ETANOL (m³)	SAFRA	SCORE BCC	SCORE BCC bootstrap
		Input	Output	Output		Score 3	
							escore
77	4.431.156,62	601.476.337,29	398.552,28	147.492,10	2014/2015	92,85	92,53
73	2.151.592,17	300.323.021,89	169.695,54	99.077,72	2010/2011	93,41	92,46
100	1.774.295,92	231.036.696,26	103.623,54	83.024,28	2013/2014	92,93	92,42
78	2.285.940,40	298.641.384,75	224.607,76	61.080,22	2013/2014	92,56	92,12
87	2.192.742,77	290.027.376,13	148.585,68	101.495,15	2012/2013	92,95	92,03
83	2.231.572,01	291.098.066,93	187.307,28	79.705,06	2012/2013	92,43	92
88	1.883.897,68	255.913.219,88	132.669,71	86.426,55	2012/2013	92,44	91,96
86	3.278.107,53	435.207.702,13	295.489,52	102.349,73	2011/2012	91,94	91,8
90	2.570.325,16	343.158.457,40	168.369,95	119.136,28	2013/2014	92,3	91,47
85	1.844.587,30	247.806.198,01	191.495,62	47.980,51	2012/2013	92,16	91,02
89	1.362.165,90	183.787.918,38	114.674,10	47.634,26	2010/2011	91,26	90,88
92	1.472.205,98	198.726.950,56	111.860,88	59.170,62	2012/2013	91,26	90,59
95	4.800.087,16	628.764.871,51	419.736,30	142.212,40	2012/2013	90,75	90,45
94	1.381.485,20	176.564.169,70	117.435,90	40.613,84	2013/2014	90,88	90,32
93	2.100.087,34	285.826.628,97	159.822,30	90.358,08	2011/2012	90,94	90,16
98	2.226.773,50	287.900.815,08	178.935,20	79.008,89	2011/2012	90,57	90,09
97	2.121.031,27	274.525.719,95	151.499,33	86.916,55	2012/2013	90,63	89,95
96	1.222.767,57	166.456.572,07	110.746,86	37.485,92	2010/2011	90,74	89,81
101	3.060.189,69	431.863.149,62	301.114,20	88.900,48	2014/2015	89,49	89,31
105	2.023.240,14	263.783.291,70	134.909,22	86.282,14	2013/2014	89,82	89,26
99	1.528.624,00	198.418.452,45	120.680,96	51.756,25	2013/2014	89,53	89,24
103	1.900.119,07	248.709.910,67	132.238,26	78.501,69	2013/2014	89,7	89,12
104	4.433.916,38	584.712.524,60	364.197,25	143.514,38	2012/2013	89,29	88,87
106	2.330.583,48	312.991.698,05	188.423,50	85.015,54	2012/2013	88,91	88,55
102	2.309.563,40	297.700.182,26	156.599,36	96.809,59	2013/2014	89,49	88,34
108	1.514.587,90	202.980.479,64	132.624,78	46.655,55	2012/2013	88,7	88,33
107	1.821.162,79	247.273.659,18	137.282,16	73.456,06	2013/2014	88,74	88,32
109	2.478.315,56	310.368.751,26	169.788,12	94.532,34	2011/2012	88,59	87,88
110	3.115.691,86	425.830.828,95	271.569,60	99.381,63	2010/2011	88,01	87,86
111	2.264.735,76	298.319.382,21	199.380,35	66.470,48	2013/2014	87,81	87,46
112	2.021.323,67	277.466.505,71	198.975,60	53.645,32	2012/2013	87,67	87,04
119	1.933.434,37	272.652.914,86	103.974,80	98.493,23	2014/2015	87,22	86,69
113	1.735.353,11	241.233.477,46	174.107,69	45.534,48	2011/2012	87,36	86,44
115	1.965.711,87	267.095.031,76	143.791,01	79.440,69	2011/2012	86,94	86,43
117	3.593.850,72	495.882.789,52	309.949,95	109.648,46	2011/2012	85,67	85,52
118	2.715.029,55	367.999.785,92	223.078,56	86.358,04	2011/2012	84,91	84,72
121	2.363.236,26	270.096.399,07	93.081,31	97.333,07	2013/2014	84,82	84,22
120	3.012.208,58	402.169.004,14	246.291,42	86.476,64	2012/2013	83,08	82,94

						ATR	
DMU	MOAGEM (ton)	ATR TOTAL (ton)	AÇÚCAR (ton)	ETANOL (m³)	SAFRA	SCORE BCC	SCORE BCC bootstrap
		Input	Output	Output		Score 3	
							escore
							SPSS
					QS		
					4		
					3		
					2		
					QI		
					QS		
					4		
					3		
					2		
					QI		
				Média		94,73181818	94,1414
				Mediana		95,72	94,78
52	4.104.033,29	561.226.552,41	341.261,40	165.280,79	2014/2015	95,99	95,58
			Benchmark (escore acima de 0,99)(21 DMUs)				MEDIANA
							MEDIA

%CANA	TEMPO DE ENTREGA DA CANA - HORAS	PUREZA	DEXTRANA		% TEMPO DE APROVEITAMENTO	FIBRA
PICADA	PONDERADA	PRENSA	mg/L na	BROCA	GERAL	
ENTREGUE	GERAL	%	Base BRIX	%		T/h
V2	V3	V10	V14	V15	V17	V21
77,35	14,55	83,03	930,17	6,30	87,33	55,42
62,79	10,04	84,58	760,92	3,70	86,78	54,92
86,76	63,50	85,56	994,29	3,61	84,04	75,93
77,13	18,46	86,28	1556,75	0,47	81,94	36,86
81,22	27,18	85,52	2151,02	0,50	80,09	192,16
99,44	8,14	86,63	639,66	2,05	85,91	169,86
99,99	10,34	86,49	620,57	2,25	90,72	156,96
91,71	12,02	83,99	507,37	6,92	87,15	76,30
75,98	3,02	84,58	712,59	3,68	81,54	34,30
90,61	8,73	82,67	571,56	0,86	85,76	73,00
92,22	11,97	85,73	518,28	6,94	81,36	167,22
91,31	32,78	86,61	879,64	2,00	79,12	76,79
92,19	11,20	86,34	626,89	4,25	85,37	40,97
94,03	33,95	86,56	897,04	1,78	75,14	85,23
82,13	34,37	85,44	788,40	5,65	84,11	78,41
91,50	23,51	85,29	498,93	1,30	73,34	83,24
83,67	20,43	85,96	1133,67	0,18	75,36	35,50
86,64	9,92	86,68	993,52	2,58	74,52	50,15
98,87	8,66	85,57	862,51	8,10	81,34	127,30
67,13	12,07	85,72	728,96	1,85	92,41	39,00
53,15	47,35	85,19	976,37	3,27	82,22	99,24
87,48	17,83	85,48	1067,11	0,55	70,37	124,13
98,69	14,29	85,20	624,82	2,20	85,83	156,75
89,23	13,09	82,00	815,94	0,49	89,02	74,11
74,75	8,34	87,18	415,91	3,00	87,00	136,39
76,34	17,68	85,04	740,92	4,42	82,50	82,20
51,55	79,40	85,21	1289,38	1,19	83,74	81,42
77,15	26,35	84,65	641,63	7,75	85,52	34,99
95,05	22,06	85,43	471,70	6,64	88,03	157,13
90,22	9,16	85,55	1381,16	0,93	75,82	192,60
51,77	33,16	84,43	777,52	4,46	80,40	72,18
87,20	6,83	85,31	652,38	1,37	77,58	119,15
97,18	36,47	84,57	625,01	10,05	90,39	132,45
99,37	8,01	87,14	886,41	3,37	78,17	42,10
99,19	29,89	85,95	840,68	0,40	80,21	39,61
80,97	38,83	85,30	1351,15	1,54	74,15	109,75
59,94	9,10	85,69	708,90	3,98	80,37	104,16
87,03	12,54	87,21	583,66	2,03	79,02	116,68
88,83	15,65	85,31	1215,05	0,93	83,63	122,23
95,53	26,74	86,65	1376,63	1,14	80,94	85,67
60,55	96,12	83,44	1747,14	3,89	43,21	50,49

%CANA	TEMPO DE ENTREGA DA CANA - HORAS	PUREZA	DEXTRANA		% TEMPO DE APROVEITAMENTO	FIBRA
PICADA	PONDERADA	PRENSA	mg/L na	BROCA	GERAL	
ENTREGUE	GERAL	%	Base BRIX	%		T/h
54,85	71,76	80,98	969,27	3,17	82,82	54,81
94,11	23,47	85,81	626,64	3,52	83,93	138,61
67,91	3,83	85,34	943,17	1,52	91,45	190,81
54,55	60,11	86,80	1055,66	8,12	89,63	101,00
91,57	21,96	87,89	1242,59	1,12	85,77	80,92
100,00	9,01	85,01	650,63	3,90	85,80	132,79
87,54	25,61	85,54	712,54	1,13	73,51	111,11
88,91	60,31	84,44	781,77	3,38	83,49	42,15
99,31	4,99	86,26	717,18	5,37	83,96	92,41
73,62	15,86	86,75	796,36	1,77	84,22	109,89
99,10	15,09	84,82	1624,78	0,73	69,84	68,11
78,76	21,25	86,10	1210,44	4,15	79,98	105,47
80,09	11,30	87,66	568,29	3,88	76,45	115,46
91,12	13,59	85,37	393,58	0,55	87,90	133,19
68,62	34,11	85,28	1001,73	2,14	73,84	100,75
96,05	20,72	85,14	1169,46	0,03	71,26	153,24
69,19	65,46	83,57	904,58	0,55	89,84	52,72
98,39	3,43	86,54	919,82	4,89	75,50	37,92
97,07	6,40	87,60	1148,86	1,03	79,33	85,23
90,34	11,61	85,43	1134,35	0,91	77,52	205,77
66,63	23,68	86,56	973,40	1,18	80,67	107,00
96,76	5,90	86,61	869,89	5,38	93,82	131,75
98,59	6,43	88,07	1023,05	2,43	73,14	85,58
89,64	18,19	85,24	757,70	1,45	73,67	114,94
68,98	23,28	87,10	675,90	3,32	79,42	48,96
88,39	32,05	83,64	955,05	2,56	83,11	54,29
93,96	9,49	85,31	552,85	2,05	76,60	126,18
79,12	6,76	87,31	489,40	4,70	88,34	130,67
97,51	4,58	86,04	820,96	3,27	75,98	113,65
93,03	14,82	84,55	784,19	6,25	76,79	41,80
93,60	6,04	86,30	1009,60	0,41	74,10	38,69
99,85	4,68	85,59	628,05	5,07	80,74	147,32
100,32	12,83	87,90	1147,10	5,84	81,71	49,80
77,31	19,40	87,06	1065,24	2,84	89,31	133,49
100,00	4,83	87,63	657,81	6,19	84,87	53,68
77,54	28,32	85,80	1127,79	0,77	74,88	122,43
77,09	72,93	85,20	858,95	1,33	83,50	150,45
81,69	25,41	84,30	936,15	5,07	84,28	40,52
96,71	16,46	85,33	1018,52	0,09	66,75	89,85
84,40	36,55	85,48	837,12	1,01	80,00	106,61
63,63	36,51	84,56	1200,25	1,86	77,64	140,59
80,43	15,01	86,10	477,22	0,07	87,81	72,00
96,49	13,79	84,97	761,48	2,08	83,26	120,17

%CANA	TEMPO DE ENTREGA DA CANA - HORAS	PUREZA	DEXTRANA		% TEMPO DE APROVEITAMENTO	FIBRA
PICADA	PONDERADA	PRENSA	mg/L na	BROCA	GERAL	
ENTREGUE	GERAL	%	Base BRIX	%		T/h
99,58	47,88	84,18	1010,98	2,39	87,70	56,01
99,58	2,57	85,17	885,96	3,39	77,30	42,22
81,75	11,40	85,69	846,47	2,74	80,40	60,10
99,87	40,37	84,26	770,96	0,58	87,72	52,71
100,88	16,37	85,97	1480,97	0,41	71,94	67,97
86,54	67,88	83,47	1114,73	3,87	81,76	56,50
86,76	6,94	84,77	552,92	4,45	78,98	108,24
65,87	81,08	84,13	778,55	3,06	82,57	64,06
61,12	21,35	85,12	740,94	3,41	85,98	54,13
28,48	92,83	85,95	1350,33	3,92	82,52	44,34
86,68	13,60	85,90	804,47	6,90	81,13	37,03
94,03	8,51	85,49	678,76	2,69	81,27	139,32
96,90	8,66	87,74	1214,04	3,66	74,38	38,32
100,00	28,06	84,73	780,52	1,47	88,67	56,01
62,99	19,37	85,01	1690,50	0,03	82,17	67,03
72,76	78,64	84,14	828,44	2,51	71,66	67,90
83,88	16,97	88,41	971,28	1,01	80,22	35,93
87,47	118,65	85,44	776,33	1,56	78,04	108,90
99,98	16,23	86,11	873,87	4,92	72,74	52,44
63,06	34,87	87,08	1672,96	1,23	73,88	45,46
97,69	11,96	84,80	1604,02	2,88	75,27	46,65
79,74	27,31	83,79	1475,75	2,13	73,03	123,65
97,27	5,88	86,80	681,18	4,45	85,04	62,12
76,33	152,52	84,47	1600,74	3,75	71,50	65,15
55,72	38,33	88,03	945,10	1,79	77,77	47,39
89,89	58,51	83,31	880,60	3,14	86,49	57,84
98,45	7,12	80,87	560,00	0,21	66,75	79,31
74,47	57,15	85,60	472,39	5,30	77,04	97,55
87,65	74,58	85,72	1212,83	2,56	81,57	57,32
84,24	75,79	85,99	1336,28	2,07	80,43	54,62
44,94	116,42	85,61	898,33	8,93	68,88	57,90
83,47	27,92	84,71	999,98	6,10	80,76	52,92
93,49	58,49	85,64	579,44	1,97	88,73	57,97
74,62	6,74	84,87	651,92	2,63	87,04	128,60
73,49	53,11	84,30	460,01	0,81	70,12	100,24
100,00	7,82	79,19	1287,04	0,37	62,86	77,63
73,94	95,13	85,50	714,42	0,82	66,41	108,87

%CANA	TEMPO DE ENTREGA DA CANA - HORAS	PUREZA	DEXTRANA		% TEMPO DE APROVEITAMENTO	FIBRA
PICADA	PONDERADA	PRENSA	mg/L na	BROCA	GERAL	
ENTREGUE	GERAL	%	Base BRIX	%		T/h
2	3	4	5	6	7	8
	FINAL SIM -					
85,47	19,48	85,30	869,04	2,98	82,53	90,16
80,13	28,84	85,48	912,74	3,32	80,98	103,72
87,87	17,60	85,89	876,45	2,70	79,58	97,73
84,32	29,23	85,51	929,90	2,86	81,15	79,19
81,48	49,48	85,01	998,08	2,61	76,96	71,23
88,36	13,69	85,54	802,17	2,23	83,13	76,55
87,12	22,77	85,39	809,10	3,09	82,66	106,96
91,12	13,59	86,04	869,89	2,43	79,33	105,47
86,61	17,93	85,41	872,46	2,79	81,74	62,08
83,68	36,60	85,23	889,47	2,10	77,41	60,05
	-	-	+	+		
83,88586777	28,83099174	85,43884	916,905702	2,8906	80,23636364	88,48
87,47	18,19	85,48	862,51	2,51	80,94	79,31
99,31	4,99	86,26	717,18	5,37	83,96	92,41
86,76	12,07	85,57	788,40	2,58	82,22	76,30
84,56	20,10	85,45	873,77	3,25	82,65	86,13

EMBEBIÇÃO	EXTRAÇÃO	%ART	TORTA	ART			% ÁLCOOL
%	TOTAL - ART	DA CANA	kg/T	PERDIDO %	IMPUREZAS	TEMPE- RATURA	NA BASE
FIBRA	%	ENSACADO	CANA	ART CANA	%	°C	BRIX
V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	V32
144,83	95,70	38,07	33,41	0,56	0,29	31,37	0,20
251,47	97,06	80,60	27,53	0,31	0,21	30,33	0,04
191,05	95,33	72,57	21,63	0,21	0,10	31,04	0,10
219,27	95,97	54,77	40,13	0,53	0,25	24,25	0,18
210,91	96,20	60,22	38,07	0,51	0,10	31,16	0,27
262,38	96,76	54,87	33,38	0,47	0,24	33,19	0,09
274,02	96,82	55,84	28,46	0,38	0,18	37,34	0,14
275,71	96,54	19,10	25,73	0,52	0,14	31,39	0,16
197,69	96,20	40,73	33,00	0,59	0,19	29,76	0,35
329,26	96,14	20,12	22,66	0,20	0,23	33,60	0,08
241,35	96,67	54,58	37,18	0,46	0,16	31,27	0,21
197,86	95,68	71,14	28,19	0,33	0,13	31,73	0,16
384,55	98,25	49,33	4,04	0,04	0,44	28,66	0,20
200,71	95,81	68,79	27,68	0,32	0,15	32,45	0,18
200,64	94,98	67,16	21,78	0,24	0,11	30,69	0,13
248,95	95,85	68,19	27,81	0,26	0,15	32,08	0,12
226,72	96,09	51,04	38,39	0,49	0,24	26,99	0,18
247,98	96,77	85,08	26,22	0,36	0,36	30,26	0,09
230,71	96,13	61,46	37,06	0,62	0,14	28,80	0,11
166,90	96,34	47,87	41,36	0,64	0,27	26,96	0,12
190,07	95,93	65,49	40,60	0,30	0,15	30,35	0,14
188,88	94,84	64,18	41,61	0,70	0,25	30,89	0,05
273,26	96,81	55,73	32,70	0,47	0,27	32,44	0,08
289,03	95,44	20,01	23,38	0,29	0,26	32,69	0,09
178,72	96,52	45,87	34,79	0,46	0,11	28,14	0,06
208,70	95,85	58,05	23,03	0,26	0,41	29,21	0,16
137,32	95,60	58,49	27,26	0,41	0,29	29,31	0,24
226,72	96,03	34,61	35,11	0,70	0,19	29,80	0,14
273,06	96,88	57,86	39,13	0,49	0,22	31,41	0,15
208,79	96,03	57,63	44,52	0,55	0,10	30,09	0,26
177,91	95,84	61,78	26,07	0,30	0,33	27,96	0,22
182,21	95,21	60,85	37,65	0,63	0,33	27,51	0,12
233,24	95,29	59,05	40,39	0,69	0,17	30,01	0,10
332,07	97,94	56,93	3,97	0,04	0,25	28,73	0,16
402,91	98,22	58,58	4,24	0,03	0,31	28,74	0,13
208,09	95,60	63,20	36,71	0,38	0,19	32,70	0,09
221,26	96,09	67,67	41,61	0,60	0,12	31,15	0,09
148,34	96,14	39,64	33,65	0,68	0,10	29,05	0,06
175,58	94,30	64,08	36,08	0,55	0,26	29,99	0,06
180,11	95,21	50,38	44,12	0,45	0,15	29,36	0,28
287,43	95,02	54,76	35,99	1,20	0,27	28,25	0,15
228,53	97,02	6,97	30,17	0,38	0,25	30,53	0,07
234,46	97,46	55,47	37,14	0,63	0,09	30,57	0,20

EMBEBIÇÃO	EXTRAÇÃO	%ART	TORTA	ART			% ÁLCOOL
%	TOTAL - ART	DA CANA	kg/T	PERDIDO %	IMPUREZAS	TEMPE- RATURA	NA BASE
FIBRA	%	ENSACADO	CANA	ART CANA	%	°C	BRIX
229,11	96,13	55,00	35,59	0,50	0,10	30,50	0,07
235,80	96,43	41,05	27,11	0,28	0,12	30,43	0,16
194,08	95,85	53,06	40,20	0,37	0,16	29,45	0,20
242,09	96,22	56,82	36,01	0,52	0,18	28,76	0,12
227,80	95,46	62,96	40,47	0,43	0,14	33,20	0,07
448,67	97,84	51,08	1,18	0,02	0,27	29,74	0,21
168,24	95,55	49,20	42,22	0,64	0,17	29,27	0,26
221,17	96,08	38,71	28,10	0,22	0,20	31,75	0,11
208,67	94,49	47,60	27,76	0,30	0,15	34,81	0,24
223,91	96,00	40,62	35,03	0,70	0,16	27,77	0,18
144,40	95,99	42,98	32,48	0,67	0,12	28,56	0,11
191,01	95,77	54,38	20,35	0,62	0,28	29,08	0,17
220,11	95,83	64,82	35,65	0,60	0,29	31,87	0,12
239,84	95,27	43,50	21,39	0,44	0,28	30,78	0,46
187,19	95,39	57,63	29,26	0,29	0,45	28,65	0,47
200,14	94,17	50,99	22,18	0,88	0,21	31,83	0,10
167,32	95,77	55,78	39,57	0,49	0,23	29,94	0,49
206,47	95,85	54,96	43,60	0,48	0,11	31,04	0,02
216,76	95,90	42,15	29,14	0,27	0,17	30,68	0,11
148,76	95,24	57,71	28,98	0,68	0,14	27,82	0,03
190,69	95,81	50,24	44,77	0,58	0,27	29,62	0,35
182,31	95,82	61,66	42,47	1,04	0,17	31,36	0,05
209,27	96,85	85,49	29,38	0,33	0,21	30,20	0,10
184,93	95,50	40,18	24,57	0,34	0,18	27,63	0,11
188,02	95,37	60,46	44,55	1,24	0,20	29,09	0,04
186,82	96,37	45,37	33,19	0,53	0,10	27,76	0,04
163,71	95,93	39,51	31,09	0,50	0,25	29,47	0,14
408,61	97,35	54,20	0,93	0,01	0,35	29,89	0,14
167,46	93,42	51,83	25,80	1,02	0,14	32,46	0,06
225,50	96,26	55,13	39,29	0,71	0,14	28,12	0,19
235,32	95,82	31,71	37,93	0,47	0,22	30,48	0,08
196,63	95,15	51,12	39,23	1,00	0,11	26,41	0,10
217,59	95,83	29,65	33,57	0,41	0,23	31,08	0,11
147,84	93,76	58,56	42,90	1,05	0,34	29,53	0,04
142,99	94,20	45,22	20,79	0,64	0,34	28,76	0,18
432,60	97,67	46,98	1,78	0,04	0,22	30,54	0,17
176,12	91,89	47,89	23,95	0,36	0,13	34,65	0,02
197,70	96,27	44,99	33,82	0,65	0,21	27,67	0,09
149,14	95,53	47,07	32,37	0,79	0,28	30,05	0,10
214,18	96,00	21,69	25,45	0,41	0,20	35,15	0,19
191,38	95,19	58,07	38,80	0,93	0,21	30,42	0,12
330,80	96,64	47,66	3,58	0,07	0,16	30,78	0,09
162,16	95,71	34,84	27,89	0,31	0,21	30,28	0,26
216,40	95,22	57,14	25,57	0,38	0,56	27,99	0,13

EMBEBIÇÃO	EXTRAÇÃO	%ART	TORTA	ART			% ÁLCOOL
%	TOTAL - ART	DA CANA	kg/T	PERDIDO %	IMPUREZAS	TEMPE- RATURA	NA BASE
FIBRA	%	ENSACADO	CANA	ART CANA	%	°C	BRIX
299,08	96,07	40,57	2,73	0,05	0,29	31,73	0,12
210,91	94,33	47,64	23,23	0,31	0,18	32,02	0,09
165,21	95,50	36,68	22,60	0,55	0,23	28,03	0,18
174,59	95,49	60,14	37,04	0,85	0,25	30,07	0,07
407,56	96,46	48,96	2,66	0,03	0,14	32,54	0,10
177,34	94,63	59,36	26,91	0,41	0,43	26,61	0,13
205,39	94,36	46,22	31,27	0,51	0,14	28,22	0,45
173,89	96,23	44,66	27,25	0,37	0,20	29,77	0,28
208,90	95,32	53,06	19,70	0,60	0,33	30,26	0,20
183,52	93,75	54,04	23,13	0,90	0,27	32,78	0,24
345,10	96,83	50,05	3,09	0,06	0,15	31,02	0,08
197,57	94,87	43,22	23,54	0,34	0,19	31,58	0,40
274,99	94,55	42,02	27,88	0,78	0,38	29,13	0,12
211,43	94,54	52,90	16,37	0,19	0,16	31,48	0,13
214,13	96,18	64,50	38,73	0,58	0,16	30,99	0,08
304,74	97,13	41,64	1,47	0,02	0,33	29,10	0,22
190,47	94,37	48,22	34,64	0,44	0,25	27,43	0,50
348,35	96,75	40,13	0,93	0,02	0,33	31,22	0,19
181,15	95,46	50,10	31,87	0,62	0,19	20,25	0,10
166,93	95,86	47,55	35,65	0,80	0,42	30,66	0,14
318,40	94,93	41,59	9,08	0,50	0,68	29,02	0,21
191,06	94,51	50,85	33,12	0,63	0,29	27,19	0,13
191,52	94,88	40,58	23,15	0,63	0,17	27,45	0,08
170,40	95,66	45,93	27,05	0,52	0,10	28,90	0,66
167,95	96,00	62,88	42,36	1,23	0,21	29,83	0,20
235,29	95,10	53,45	19,89	0,50	0,27	31,39	0,39
256,13	94,76	58,59	22,38	0,47	0,27	31,75	0,42
421,28	96,17	44,29	1,06	0,03	0,13	31,05	0,09
285,24	95,53	58,35	26,26	0,65	0,23	31,34	0,23
152,79	95,86	43,75	33,42	0,58	0,40	30,04	0,11
187,03	95,92	52,71	32,53	0,84	0,16	21,18	0,05
126,73	95,96	55,39	44,61	0,91	0,27	29,94	0,09
208,32	94,71	32,00	21,95	0,47	0,30	30,21	0,32
167,15	96,14	61,52	42,44	1,13	0,22	29,75	0,13

EMBEBIÇÃO	EXTRAÇÃO	%ART	TORTA	ART		TEMPE-	% ÁLCOOL
%	TOTAL - ART	DA CANA	kg/T	PERDIDO %	IMPUREZAS	RATURA	NA BASE
FIBRA	%	ENSACADO	CANA	ART CANA	%	°C	BRIX
9	10	11	12	13	14	15	16
		NORMAL		NORMAL		NORMAL	
			FINAL SIM +				
235,18	96,18	55,29	30,50	0,41	0,21	30,82	0,14
223,93	96,10	53,37	32,96	0,48	0,20	29,79	0,14
212,00	95,75	51,85	30,12	0,54	0,21	29,97	0,17
217,39	95,29	46,41	25,17	0,50	0,25	30,24	0,15
229,76	95,53	49,26	24,73	0,54	0,26	29,25	0,21
228,72	96,14	55,79	30,58	0,42	0,20	31,10	0,14
223,99	96,03	57,28	36,00	0,48	0,19	29,63	0,14
191,01	95,82	51,08	29,38	0,53	0,20	29,74	0,12
197,17	95,50	47,36	26,24	0,44	0,22	30,27	0,12
202,95	95,60	49,14	26,66	0,55	0,24	29,99	0,14
		+	+			+	
223,5528926	95,76991736	51,2397521	28,70710744	0,49553719	0,225041322	30,01198	0,163140496
208,67	95,85	52,71	30,17	0,49	0,21	30,09	0,13
168,24	95,55	49,20	42,22	0,64	0,17	29,27	0,26
226,72	96,14	55,84	28,46	0,38	0,18	31,04	0,14
233,00	96,25	56,52	30,21	0,40	0,20	30,65	0,15

		Relação ao Alcool Produzido		RECUPERADO	PRODUTIVIDADE	
BASTONETES	LEVEDO	VINHAÇA	FLEGMAÇA	RTC	ÁLCOOL	AÇÚCAR
X 10 ⁵ / mL	%	%	%	%	L / T	Kg / T
V33	V43	V44	V45	V49	V52	V53
49,93	32,14	0,51	0,03	86,39	66,06	91,50
235,31	32,18	0,09	0,03	93,84	86,42	114,43
122,06	38,26	0,02	0,02	94,39	80,64	112,52
80,54	35,22	0,12	0,01	93,80	81,89	109,20
0,76	27,73	0,24	0,03	94,15	78,38	106,99
36,19	38,64	0,12	0,03	93,76	81,03	106,94
46,99	39,32	0,15	0,04	93,18	87,33	118,58
66,10	30,98	0,16	0,01	92,58	81,05	112,13
4,12	37,14	0,16	0,05	90,95	78,21	105,50
62,56	35,25	0,15	0,00	90,37	76,45	104,39
52,60	41,03	0,15	0,03	93,88	82,99	111,84
139,65	35,30	0,06	0,04	95,40	80,13	111,02
1085,96	97,23	0,15	0,03	93,03	82,46	112,29
154,85	38,69	0,05	0,03	92,82	76,92	107,96
129,04	39,29	0,04	0,03	94,97	81,13	108,15
219,12	36,62	0,04	0,03	94,99	79,72	107,12
87,62	36,12	0,14	0,01	94,64	81,53	108,23
245,29	32,72	0,04	0,02	93,95	83,62	112,58
156,05	27,03	0,16	0,04	92,03	77,74	102,18
82,36	38,28	0,12	0,01	95,72	85,09	114,19
246,30	35,05	0,39	0,15	93,67	82,97	118,43
1,53	29,98	0,19	0,02	91,91	70,18	101,02
47,03	41,02	0,11	0,03	94,22	81,87	107,14
52,55	34,86	0,18	0,19	87,68	77,46	102,47
108,16	35,65	0,13	0,03	95,35	86,69	115,52
259,12	24,60	0,06	0,02	93,49	78,05	103,21
75,93	27,24	0,17	0,03	90,20	81,67	111,78
20,33	28,52	0,13	0,03	91,26	83,31	113,03
43,74	41,81	0,13	0,03	93,46	80,46	107,73
1,18	28,89	0,33	0,04	92,86	76,03	103,75
61,44	25,95	0,09	0,02	92,78	78,38	103,60
1,19	32,81	0,18	0,14	92,27	78,48	107,25
177,74	27,29	0,10	0,05	92,49	77,06	103,35
44,32	36,32	0,31	0,04	93,25	79,68	108,13
19,68	40,39	0,16	0,05	93,64	83,14	112,42
556,15	34,39	0,21	0,05	93,03	80,41	110,07
62,53	36,73	0,28	0,07	92,00	79,88	113,85
77,21	33,37	0,12	0,02	93,58	81,21	106,63
0,88	32,74	0,20	0,04	93,26	77,35	105,35
39,86	37,02	0,30	0,02	93,85	76,22	107,58

		Relação ao Alcool Produzido		RECUPERADO	PRODUTIVIDADE	
BASTONETES	LEVEDO	VINHAÇA	FLEGMAÇA	RTC	ÁLCOOL	AÇÚCAR
X 10 ⁵ / mL	%	%	%	%	L / T	Kg / T
87,06	36,58	0,30	0,04	91,29	78,61	92,08
228,71	29,77	0,05	0,01	93,60	87,29	115,37
226,76	26,20	0,20	0,06	94,03	94,44	110,42
0,57	29,51	0,25	0,03	91,32	81,82	108,42
66,69	27,09	0,16	0,04	93,02	88,66	118,58
46,61	36,02	0,03	0,03	94,39	84,39	111,65
241,33	31,25	0,16	0,04	94,17	86,01	110,01
188,90	35,32	0,07	0,01	92,22	78,47	108,58
16,05	42,10	0,09	0,04	95,11	83,37	111,28
0,50	37,05	0,22	0,06	92,81	82,25	110,55
143,83	30,21	0,11	0,04	92,41	81,10	106,09
20,30	28,20	0,18	0,06	99,52	78,75	100,00
62,49	37,15	0,21	0,01	89,92	81,09	109,18
118,47	31,47	0,15	0,03	90,91	48,92	104,80
109,07	32,43	0,16	0,01	91,10	80,58	105,54
122,25	34,66	0,18	0,03	92,23	79,57	111,14
86,63	27,00	0,21	0,03	91,32	74,18	99,42
53,32	26,43	0,16	0,10	91,10	82,55	113,82
378,86	28,93	0,35	0,00	90,53	76,74	102,13
31,36	35,84	0,32	0,04	92,23	78,05	106,14
2,24	26,40	0,30	0,07	92,34	79,13	106,14
42,77	26,67	0,11	0,05	92,92	81,02	107,03
143,71	24,41	0,07	0,01	92,65	83,40	113,23
27,23	33,52	0,23	0,05	92,84	78,46	105,92
160,51	29,65	0,28	0,01	90,83	76,26	106,81
243,93	29,97	0,03	0,01	93,08	83,28	113,82
30,24	33,35	0,16	0,03	92,24	84,84	112,99
52,18	32,52	0,32	0,02	87,78	73,75	99,88
71,49	31,20	0,09	0,03	93,29	82,49	111,41
1068,89	33,18	0,27	0,01	89,78	76,65	103,39
39,40	31,68	0,13	0,05	92,82	76,91	104,00
598,19	28,62	0,30	0,18	89,28	73,01	98,96
180,43	33,47	0,18	0,09	92,73	76,88	98,47
105,26	38,97	0,22	0,11	92,99	80,16	107,37
58,93	23,60	0,07	0,01	91,02	82,86	110,78
70,52	39,20	0,27	0,07	93,08	84,12	115,33
1,93	27,82	0,25	0,19	91,19	71,28	100,67
34,82	27,64	0,16	0,00	88,96	76,77	103,39
66,23	45,81	0,10	0,04	94,57	86,39	115,28
16,76	26,66	0,17	0,04	95,80	73,50	107,55
10,72	37,64	0,10	0,00	90,42	80,22	108,39

		Relação ao Alcool Produzido		RECUPERADO	PRODUTIVIDADE	
BASTONETES	LEVEDO	VINHAÇA	FLEGMAÇA	RTC	ÁLCOOL	AÇÚCAR
X 10 ⁵ / mL	%	%	%	%	L / T	Kg / T
90,38	31,05	0,28	0,05	90,62	78,37	106,97
125,59	30,84	0,30	0,08	86,82	81,97	109,62
22,33	33,27	0,30	0,01	87,25	76,96	108,97
170,85	32,70	0,58	0,02	92,87	85,48	113,21
148,17	38,42	0,31	0,05	91,23	75,83	100,93
281,40	24,74	0,14	0,10	91,61	76,11	102,44
269,67	36,76	0,33	0,05	92,17	77,95	105,50
10,09	26,34	0,28	0,10	95,87	77,47	103,86
121,67	32,14	0,28	0,03	90,08	81,77	110,00
71,76	29,36	0,42	0,02	84,30	80,61	106,77
867,13	37,04	0,35	0,05	92,69	80,13	103,01
39,60	29,61	0,10	0,19	89,81	79,80	106,39
173,07	31,10	0,28	0,02	90,30	78,78	104,67
8,37	36,68	0,47	0,04	91,87	78,55	105,34
63,72	34,01	0,20	0,01	90,59	73,36	99,34
779,77	28,23	0,44	0,21	90,63	71,46	98,12
92,99	39,04	0,26	0,03	93,98	83,00	110,51
4,79	25,48	0,36	0,19	91,56	73,84	100,07
79,39	34,93	0,33	0,03	92,80	77,82	102,56
104,31	30,91	0,24	0,19	85,90	78,23	100,59
64,56	28,77	0,52	0,18	89,97	77,91	108,55
877,23	34,95	0,62	0,13	91,24	76,57	104,03
205,64	27,04	0,12	0,01	91,21	73,94	97,89
121,61	38,54	0,52	0,23	89,87	75,09	101,50
159,60	34,00	0,17	0,07	91,92	74,78	100,10
63,59	30,19	0,15	0,07	91,90	77,85	103,60
56,67	38,62	0,37	0,03	91,02	74,94	103,08
126,11	28,11	0,12	0,01	89,40	75,56	99,98
39,01	30,31	0,13	0,05	88,60	78,75	105,79
2125,64	24,28	0,20	0,00	91,33	76,46	102,85
125,65	27,26	0,19	0,04	89,25	73,90	104,11
1644,99	23,99	0,33	0,04	89,98	73,96	102,08
1868,12	24,77	0,43	0,05	87,90	75,31	104,82
451,57	30,77	0,31	0,04	90,73	80,79	110,79
601,53	23,80	0,95	0,27	88,22	74,65	107,28
57,13	32,04	0,12	0,04	91,21	78,56	104,91
159,41	29,76	0,20	0,11	90,74	76,52	104,10
135,92	22,84	0,24	0,04	89,23	69,53	97,67
441,99	18,54	1,48	0,27	87,05	64,92	84,28
149,00	24,37	0,25	0,04	88,50	71,44	99,47

		Relação ao Alcool Produzido		RECUPERADO	PRODUTIVIDADE	
BASTONETE S	LEVADO	VINHAÇA	FLEGMAÇA	RTC	ÁLCOOL	AÇÚCAR
X 10 ⁵ / mL	%	%	%	%	L / T	Kg / T
17	18	19	20	21	22	23
				NORMAL		NORMAL
FINAL SIM -	FINAL SIM +		FINAL SIM -			
141,85	37,92	0,15	0,04	93,01	80,05	108,62
109,84	32,31	0,17	0,04	92,95	81,57	108,68
152,17	31,44	0,19	0,04	92,07	78,13	106,49
150,36	32,48	0,27	0,06	91,11	78,75	106,41
406,52	29,30	0,36	0,09	90,15	75,60	102,53
81,45	35,71	0,15	0,0300	93,78	81,04	108,19
64,61	32,78	0,16	0,0350	93,14	80,44	108,50
71,49	31,47	0,18	0,0300	92,24	79,13	106,14
71,14	31,62	0,28	0,0450	91,11	78,67	106,58
131,02	29,27	0,26	0,0450	90,36	75,44	102,97
-	+	-	-			
191,8192562	32,68256	0,227107438	0,05421487 6	91,8607438	78,8134710 7	106,5438843
82,36	32,14	0,18	0,04	92,22	78,61	106,81
27,23	37,05	0,22	0,06	92,81	82,25	110,55
87,62	36,12	0,14	0,03	93,80	81,05	109,20
157,30	38,30	0,15	0,03	93,26	80,56	109,34

	PERDAS			ANTIBIÓ-	PUREZA %			
	MULTIJATOS	ÁGUAS	INDETER-	TICOS	MEL	MEL		
VÁCUOS	FILTROS	RESIDUAIS	MINADAS	mg/L	RICO	POBRE		
V57	V58	V59	V60	V61	V70	V71		escore
0,67	0,04	0,28	4,92	7,43	80,76	74,50	V3	3
0,02	0,67	0,42	1,46	1,39	83,13	71,55	V10	10
0,04	0,31	0,38	0,80	2,07	77,31	68,48	V14	14
0,99	0,25	0,32	1,03	9,56	85,34	72,08	V15	15
0,22	0,10	0,46	0,09	15,76	75,34	74,78	V17	17
0,05	0,62	0,08	2,90	4,60	65,00	70,25	V21	21
0,05	0,01	0,07	3,80	3,51	68,44	63,66	V23	23
0,35	0,67	0,01	0,47	8,50	76,77	76,09	V24	24
0,42	0,67	0,47	2,44	4,01	75,59	69,38	V25	25
0,42	0,35	0,03	3,74	7,14	76,17	70,87	V26	26
0,02	0,33	0,06	1,61	5,62	75,80	70,85	V27	27
0,04	0,29	0,24	1,07	22,50	72,46	69,47	V28	28
0,02	0,01	0,44	3,04	10,90	75,60	72,83	V29	29
0,06	0,18	0,26	1,62	19,64	70,97	68,00	V32	32
0,05	0,67	0,27	1,54	9,06	74,47	71,08	V33	33
0,02	0,62	0,30	1,04	19,06	72,13	69,54	V43	43
0,28	0,17	0,23	0,40	12,95	83,32	73,06	V44	44
0,02	0,67	0,53	0,81	2,81	85,38	76,30	V45	45
0,14	0,01	0,43	3,34	7,65	86,79	71,40	V49	49
0,02	0,01	0,22	0,06	3,18	78,71	74,68	V52	52
0,41	0,06	0,62	0,07	18,79	77,17	70,25	V53	53
0,73	0,02	0,13	0,89	4,45	74,02	73,95	V57	57
0,09	0,23	0,11	2,14	3,91	80,36	68,45	V58	58
0,51	0,51	0,06	8,58	9,78	76,26	70,87	V59	59
0,39	0,01	0,14	0,44	4,71	83,81	71,04	V60	60
0,38	0,01	0,10	2,80	5,95	72,91	75,65	V61	61
0,85	0,67	0,22	5,38	2,93	75,65	70,24	V70	70
0,68	0,67	1,12	1,50	2,14	79,04	73,06	V71	71
0,08	0,60	0,09	2,17	6,42	76,61	69,55		
0,32	0,13	0,73	0,70	10,75	78,36	73,76		
0,54	0,29	0,12	1,97	6,78	77,13	66,29		
0,15	0,36	0,19	0,72	6,29	77,75	70,68		
0,06	0,01	0,38	1,17	7,40	81,14	73,79		
0,14	0,01	0,38	2,92	15,73	72,78	69,49		
0,42	0,01	0,43	2,19	9,02	79,68	71,45		
0,52	0,22	0,28	0,06	12,13	87,43	76,57		
0,28	0,01	0,18	1,64	12,31	77,16	73,76		
0,02	0,21	0,14	2,29	2,37	77,73	73,50		
0,02	0,03	0,19	0,91	7,36	78,58	74,06		
0,03	0,67	0,14	0,09	12,16	72,21	75,31		
1,30	0,01	0,58	0,12	8,24	77,64	70,45		

	PERDAS			ANTIBIÓ-	PUREZA %			
	MULTIJATOS	ÁGUAS	INDETER-	TICOS	MEL	MEL		
VÁCUOS	FILTROS	RESIDUAIS	MINADAS	mg/L	RICO	POBRE		
0,18	0,54	0,45	2,03	4,10	74,64	73,89		
0,04	0,01	0,42	1,42	5,26	76,38	72,03		
0,35	0,01	0,55	3,08	11,40	75,87	74,05		
0,60	0,31	0,17	3,11	7,84	76,52	71,95		
0,02	0,65	0,06	0,83	5,97	72,93	74,49		
0,10	0,02	0,33	0,92	4,41	85,58	73,26		
0,07	0,03	0,32	0,09	9,91	89,27	77,47		
0,02	0,01	0,94	2,00	8,95	81,25	69,57		
0,02	0,01	0,11	1,39	6,22	77,47	74,89		
0,72	0,01	0,22	2,41	3,61	79,76	72,97		
0,02	0,67	0,32	0,54	4,10	88,46	74,42		
0,02	0,67	1,20	3,98	6,36	76,14	70,48		
0,27	0,06	0,15	4,50	3,48	78,28	73,25		
0,93	0,01	1,24	2,30	0,91	74,41	72,20		
0,14	0,35	0,23	0,17	12,81	87,19	76,03		
0,41	0,09	0,24	2,19	4,13	77,64	74,52		
0,02	0,33	0,16	0,10	6,90	81,63	73,32		
0,06	0,35	0,57	1,62	57,53	76,76	73,21		
0,04	0,01	0,18	1,80	7,51	76,34	72,95		
0,40	0,18	0,65	0,29	10,75	73,74	71,75		
0,49	0,01	0,20	0,62	4,30	78,74	68,19		
0,83	0,11	0,05	0,83	4,25	80,76	72,80		
0,04	0,01	0,18	1,20	8,33	80,62	76,65		
0,50	0,01	0,58	1,39	7,72	80,82	70,80		
0,02	0,67	0,52	1,86	1,89	85,43	71,36		
0,02	0,01	0,39	1,99	6,60	74,75	69,92		
0,02	0,16	0,41	4,61	9,00	72,05	69,86		
0,02	0,27	0,21	0,53	2,80	82,31	70,44		
0,13	0,67	0,64	4,03	16,99	78,28	73,61		
0,80	0,01	0,17	3,22	14,05	68,87	68,07		
0,09	0,01	0,86	0,92	122,90	74,39	73,15		
0,10	0,01	0,39	3,78	12,32	86,98	72,36		
0,20	0,67	0,30	1,54	8,40	77,90	74,31		
0,02	0,02	0,13	2,19	0,63	75,23	70,92		
0,07	0,01	0,13	0,33	9,42	80,43	75,81		
0,46	0,06	0,17	5,03	12,52	77,00	69,40		
0,90	0,15	0,62	2,70	1,40	77,76	70,68		
0,89	0,32	0,61	2,37	9,03	74,03	68,94		
0,36	0,51	0,38	0,22	23,16	80,32	68,80		
0,22	0,01	0,57	2,61	5,51	75,47	71,44		
0,06	0,01	0,52	1,75	6,20	74,18	75,55		
0,02	0,05	2,12	5,63	14,53	73,61	73,65		

	PERDAS			ANTIBIÓ-	PUREZA %			
	MULTIJATOS	ÁGUAS	INDETER-	TICOS	MEL	MEL		
VÁCUOS	FILTROS	RESIDUAIS	MINADAS	mg/L	RICO	POBRE		
0,14	0,01	0,43	1,56	23,52	70,35	68,55		
0,33	0,43	0,43	2,21	6,50	77,10	71,06		
0,04	0,01	1,14	3,79	3,75	85,38	77,11		
0,02	0,01	0,15	0,68	18,56	77,34	70,73		
0,54	0,23	0,34	3,38	7,63	67,81	64,87		
0,02	0,08	0,32	0,66	19,94	83,01	72,70		
0,02	0,01	1,05	2,83	7,33	75,96	73,71		
0,11	0,01	0,34	1,12	12,47	76,56	73,27		
0,42	0,03	0,41	2,61	22,00	70,62	68,29		
0,02	0,67	0,11	2,44	15,16	76,10	72,15		
0,07	0,01	0,17	2,83	8,66	78,28	71,97		
0,24	0,12	0,77	2,63	3,37	81,54	74,96		
0,72	0,01	0,81	1,62	0,70	75,31	72,22		
0,11	0,40	0,50	1,26	86,00	75,95	71,73		
1,23	0,45	0,49	1,63	35,29	77,84	74,91		
0,04	0,06	0,40	0,13	13,00	73,54	71,15		
0,38	0,28	0,37	0,95	9,82	72,52	69,15		
0,02	0,38	0,58	6,14	47,00	78,97	73,45		
0,02	0,36	0,49	2,61	12,64	78,45	74,62		
0,08	0,37	0,69	3,38	16,09	75,73	72,58		
0,38	0,52	0,03	1,40	7,57	77,52	71,38		
0,32	0,01	0,95	5,17	20,29	68,53	70,33		
0,09	0,05	0,65	1,89	31,68	87,77	73,96		
0,08	0,52	0,50	2,03	8,58	75,44	71,60		
0,30	0,14	0,30	0,15	10,84	72,55	71,12		
0,02	0,05	0,17	1,03	10,55	76,08	73,57		
0,19	0,07	1,21	3,60	6,85	78,78	73,87		
0,02	0,01	0,76	1,94	16,82	76,55	73,64		
0,38	0,08	0,86	1,94	9,12	75,21	69,73		
0,10	0,10	0,60	2,12	5,00	70,64	69,03		
0,17	0,26	0,60	3,93	32,44	70,54	68,84		
0,31	0,67	0,56	3,78	23,75	72,27	66,96		
0,02	0,01	0,29	3,39	11,00	78,69	74,84		
0,02	0,33	0,64	2,78	17,00	81,61	73,90		
0,11	0,01	0,67	2,66	15,00	80,76	72,47		
0,53	0,01	0,66	2,33	28,39	75,10	71,10		
0,02	0,59	0,73	3,09	49,59	71,73	68,34		
0,02	0,62	0,82	2,73	14,55	76,55	73,57		

	PERDAS	ANTIBIÓ-	PUREZA %		29	30
	MULTIJATOS	ÁGUAS	INDETER-	TICOS	MEL	MEL
VÁCUOS	FILTROS	RESIDUAIS	MINADAS	mg/L	RICO	POBRE
0,24	0,31	0,27	1,99	8,93	76,97	71,35
0,31	0,23	0,32	1,61	7,57	78,20	72,74
0,25	0,19	0,43	1,93	13,78	78,92	72,27
0,25	0,16	0,52	2,25	13,60	76,55	71,78
0,20	0,25	0,58	2,53	18,87	75,97	71,84
0,08	0,27	0,27	1,50	7,54	76,22	70,98
0,23	0,08	0,25	1,46	7,07	77,40	73,38
0,09	0,06	0,32	1,80	6,90	78,28	72,80
0,13	0,04	0,42	2,29	8,85	76,33	71,85
0,10	0,20	0,60	2,47	14,78	75,91	72,04
+		-				
0,249256	0,226859504	0,425454545	2,061735537	12,55793	77,33694	71,99884
0,11	0,11	0,38	1,94	8,58	76,77	72,08
0,02	0,01	0,11	1,39	6,22	77,47	74,89
0,05	0,29	0,28	1,46	7,65	76,17	71,08
0,21	0,32	0,29	1,73	9,34	76,98	71,39

APÊNDICE 5 – CÁLCULO DA INEFICIÊNCIA RELATIVA DE CADA USINA – SAFRAS 2010 A 2015

Targets				
Açúcar value	Açúcar target		Etanol value	Etanol target
173896,980	173896,980		106969,260	106969,260
222711,480	222711,480		40658,550	40658,550
335676,120	335676,120		49681,960	49681,960
86521,380	86521,380		31819,240	31819,240
703150,990	703150,990		193958,070	193958,070
688184,840	688184,840		243633,420	243633,420
332493,360	332836,645		51499,690	51552,861
111298,020	111426,371		49324,330	49381,212
359956,560	360635,080		54552,430	59481,220
330357,600	331211,132		60263,850	60419,551
337980,660	338916,215		60384,500	60551,649
599892,840	600275,283		232859,680	233008,133
91091,640	91354,122		37042,880	37149,620
518745,600	521401,312		120429,320	122600,438
185612,940	186190,670		33249,750	38288,196
444063,840	448288,035		85856,490	93895,076
412733,140	417626,703		77222,840	81856,980
663959,700	672329,753		234799,580	237759,526
599202,420	599202,420		246365,360	246365,360
635180,680	646809,815		183543,010	186903,387
503925,260	514617,776		114925,110	119937,121
579792,600	592221,392		188099,230	192131,441
126252,060	128968,729		39341,390	40187,931
319421,100	326518,555		72068,350	73669,690
348263,490	356205,558		93023,510	95144,889
277371,700	284149,692		58951,540	60392,109
402174,960	412484,810		73478,750	79838,196
416951,520	427643,396		90134,080	92445,386
96699,480	97531,578		52116,610	52565,073
242400,240	248828,784		46324,290	47552,827
396271,200	407005,040		92243,430	94742,038
626450,150	643635,040		180498,860	185450,336
144347,160	148428,130		48230,090	49593,647
321161,160	327345,210		171916,990	175227,301
626131,500	644782,541		205333,900	211450,332
362721,040	375156,595		76400,720	79020,048
400814,460	415770,656		89593,170	92936,296
541643,940	561912,814		162617,950	168703,281
111677,520	115859,579		51397,310	53322,018
292597,320	303644,347		126847,590	131636,727
130389,780	135413,555		55145,280	57269,967
206951,790	214823,454		36056,440	40146,584
351867,960	365991,679		141401,490	147077,241
387215,520	403293,005		80677,770	84027,573

Targets			
Açúcar value	Açúcar target	Etanol value	Etanol target
172106,160	179322,288	80213,050	83576,251
104513,760	108916,161	41978,700	43746,956
607342,800	632988,674	201506,640	210015,531
234706,080	245074,088	56113,290	58592,063
284822,220	292033,953	186577,330	191301,491
375151,550	392798,048	131404,590	137585,641
438522,490	455785,277	201754,690	209696,924
341261,400	355501,624	165280,790	172177,660
319283,340	331941,838	165099,850	171645,497
303705,000	319481,888	134894,780	141902,303
321254,280	338148,287	112040,910	117932,878
411913,320	433769,971	119089,650	125408,700
78733,320	78733,320	171342,050	171342,050
306569,760	318008,737	185908,060	192844,811
287494,070	298370,932	180175,040	186991,664
104642,760	110704,040	41355,760	43751,232
270652,440	282664,469	160547,450	167672,827
349562,680	369968,538	112068,480	118610,521
504267,280	535681,988	164288,610	174523,418
488189,700	518923,651	177694,940	188881,713
395574,980	420583,908	133199,070	141620,143
135524,460	144156,246	50744,420	53976,419
309532,300	324898,419	176125,110	184868,493
263242,140	279208,285	137247,380	145571,699
128631,060	136152,554	76540,610	81016,199
325986,000	340558,461	195027,030	203745,269
171656,560	183288,660	74591,250	79645,836
367152,180	392261,157	85246,910	91076,816
169695,540	181657,793	99077,720	106061,951
78607,800	79760,669	62571,590	63489,271
122103,480	130256,900	69190,290	73810,449
408191,830	436323,782	180674,280	193126,073
398552,280	429233,469	147492,100	158846,277
224607,760	242654,964	61080,220	65988,008
75524,640	75524,640	47937,950	47937,950
279325,680	299107,344	152240,820	163022,416
131257,740	138720,390	119265,930	126046,787
75609,600	76558,546	150145,140	152029,553
187307,280	202639,122	79705,060	86229,234
120679,260	127068,097	130340,970	137241,304
191495,620	207794,928	47980,510	52064,411
295489,520	321378,492	102349,730	111316,983
148585,680	159860,966	101495,150	109197,015
132669,710	143519,880	86426,550	93494,801
114674,100	125653,358	47634,260	52194,914
168369,950	182410,633	119136,280	129071,276
63881,040	63881,040	134518,660	134518,660
111860,880	122569,890	59170,620	64835,324

Targets			
Açúcar value	Açúcar target	Etanol value	Etanol target
159822,300	175735,795	90358,080	99355,028
117435,900	129219,776	40613,840	44689,156
419736,300	462520,339	142212,400	156708,218
110746,860	122049,987	37485,920	41311,836
151499,330	167164,834	86916,550	95903,993
178935,200	197559,032	79008,890	87232,248
120680,960	134793,702	51756,250	57808,759
103623,540	111502,835	83024,280	89337,255
301114,200	336485,815	88900,480	99343,540
156599,360	174990,492	96809,590	108178,972
132238,260	147418,158	78501,690	87513,058
364197,250	407888,561	143514,380	160731,235
134909,220	150199,945	86282,140	96061,431
188423,500	211928,112	85015,540	95620,678
137282,160	154699,129	73456,060	82775,420
132624,780	149521,707	46655,550	52599,653
169788,120	191660,744	94532,340	106710,285
271569,600	308573,567	99381,630	112923,332
199380,350	227069,399	66470,480	75701,602
198975,600	226953,693	53645,320	61188,425
174107,690	199289,150	45534,480	52120,201
71971,080	76278,810	127913,370	135569,449
143791,010	165389,219	79440,690	91373,123
423753,660	505079,419	222542,100	232797,947
309949,950	361792,603	109648,460	127988,411
223078,560	262725,921	86358,040	101706,303
103974,800	119212,700	98493,230	112927,785
246291,420	296464,689	86476,640	104093,233
93081,310	109733,488	97333,070	114745,885

APÊNDICE 6 – COMPARAÇÃO RANKING DEA x RTC

DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC	Posição 1	DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC
45	95,98	2014/2015	99,52	1	5	100	2012/2013	94,15
83	92,43	2012/2013	95,87	2	6	100	2013/2014	93,76
71	93,65	2013/2014	95,80	3	3	100	2011/2012	94,39
29	99,15	2010/2011	95,72	4	4	100	2012/2013	93,80
7	99,9	2012/2013	95,40	5	1	100	2010/2011	86,39
34	98,11	2010/2011	95,35	6	79	100	2011/2012	90,95
39	96,39	2011/2012	95,11	7	2	100	2011/2012	93,84
11	99,72	2014/2015	94,99	8	57	100	2014/2015	92,58
10	99,74	2010/2011	94,97	9	91	100	2013/2014	90,37
13	99,71	2013/2014	94,64	10	19	100	2014/2015	93,18
75	93,74	2010/2011	94,57	11	12	99,94	2010/2011	93,88
3	100	2011/2012	94,39	12	7	99,9	2012/2013	95,40
43	96,14	2010/2011	94,39	13	8	99,88	2010/2011	93,03
18	98,76	2012/2013	94,22	14	9	99,81	2013/2014	92,82
38	96,39	2014/2015	94,17	15	10	99,74	2010/2011	94,97
5	100	2012/2013	94,15	16	11	99,72	2014/2015	94,99
32	97,33	2010/2011	94,03	17	13	99,71	2013/2014	94,64
93	90,94	2011/2012	93,98	18	15	99,69	2014/2015	93,95
15	99,69	2014/2015	93,95	19	14	99,49	2012/2013	92,03
12	99,94	2010/2011	93,88	20	29	99,15	2010/2011	95,72
40	96,36	2011/2012	93,85	21	16	99,06	2010/2011	93,67
2	100	2011/2012	93,84	22	17	98,83	2013/2014	91,91
4	100	2012/2013	93,80	23	18	98,76	2012/2013	94,22
6	100	2013/2014	93,76	24	82	98,76	2012/2013	87,68
16	99,06	2010/2011	93,67	25	74	98,55	2010/2011	91,26
23	97,89	2011/2012	93,64	26	20	98,2	2013/2014	92,86
30	97,42	2010/2011	93,60	27	34	98,11	2010/2011	95,35
49	97,53	2013/2014	93,58	28	21	97,92	2011/2012	92,49
25	97,77	2013/2014	93,49	29	22	97,9	2011/2012	93,46
22	97,9	2011/2012	93,46	30	23	97,89	2011/2012	93,64
68	94,28	2011/2012	93,29	31	24	97,83	2010/2011	90,20
36	96,69	2014/2015	93,26	32	25	97,77	2013/2014	93,49
33	97,25	2012/2013	93,25	33	26	97,61	2012/2013	92,78
19	100	2014/2015	93,18	34	49	97,53	2013/2014	93,58
42	96,34	2012/2013	93,08	35	28	97,5	2013/2014	93,03
84	94,97	2014/2015	93,08	36	27	97,5	2011/2012	92,00
8	99,88	2010/2011	93,03	37	30	97,42	2010/2011	93,60
28	97,5	2013/2014	93,03	38	31	97,36	2011/2012	92,27
53	96,19	2010/2011	93,02	39	32	97,33	2010/2011	94,03
81	94,62	2013/2014	92,99	40	33	97,25	2012/2013	93,25
67	95,27	2012/2013	92,92	41	35	97,11	2011/2012	91,32

DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC	Posição 1	DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC
73	93,41	2010/2011	92,87	42	36	96,69	2014/2015	93,26
20	98,2	2013/2014	92,86	43	37	96,4	2014/2015	92,22
54	95,06	2013/2014	92,84	44	58	96,4	2010/2011	89,92
9	99,81	2013/2014	92,82	45	38	96,39	2014/2015	94,17
66	94,01	2012/2013	92,82	46	39	96,39	2011/2012	95,11
52	95,99	2014/2015	92,81	47	40	96,36	2011/2012	93,85
97	90,63	2012/2013	92,80	48	59	96,35	2013/2014	92,41
26	97,61	2012/2013	92,78	49	42	96,34	2012/2013	93,08
63	94,14	2013/2014	92,73	50	41	96,29	2011/2012	91,29
90	92,3	2013/2014	92,69	51	51	96,21	2013/2014	91,32
56	94,96	2014/2015	92,65	52	53	96,19	2010/2011	93,02
57	100	2014/2015	92,58	53	43	96,14	2010/2011	94,39
21	97,92	2011/2012	92,49	54	44	96,01	2012/2013	92,23
59	96,35	2013/2014	92,41	55	52	95,99	2014/2015	92,81
47	95,95	2014/2015	92,34	56	45	95,98	2014/2015	99,52
31	97,36	2011/2012	92,27	57	46	95,96	2014/2015	90,53
69	94,48	2011/2012	92,24	58	47	95,95	2014/2015	92,34
44	96,01	2012/2013	92,23	59	48	95,77	2010/2011	91,10
55	95	2012/2013	92,23	60	61	95,75	2012/2013	90,91
37	96,4	2014/2015	92,22	61	70	95,72	2013/2014	89,78
87	92,95	2012/2013	92,17	62	116	95,59	2010/2011	88,96
14	99,49	2012/2013	92,03	63	50	95,51	2011/2012	91,10
27	97,5	2011/2012	92,00	64	67	95,27	2012/2013	92,92
104	89,29	2012/2013	91,92	65	54	95,06	2013/2014	92,84
17	98,83	2013/2014	91,91	66	55	95	2012/2013	92,23
106	88,91	2012/2013	91,90	67	84	94,97	2014/2015	93,08
92	91,26	2012/2013	91,87	68	56	94,96	2014/2015	92,65
78	92,56	2013/2014	91,61	69	81	94,62	2013/2014	92,99
98	90,57	2011/2012	91,56	70	60	94,52	2012/2013	89,28
109	88,59	2011/2012	91,33	71	69	94,48	2011/2012	92,24
35	97,11	2011/2012	91,32	72	62	94,48	2012/2013	90,83
51	96,21	2013/2014	91,32	73	114	94,35	2011/2012	86,82
41	96,29	2011/2012	91,29	74	68	94,28	2011/2012	93,29
74	98,55	2010/2011	91,26	75	63	94,14	2013/2014	92,73
105	89,82	2013/2014	91,24	76	64	94,08	2010/2011	91,02
100	92,93	2013/2014	91,23	77	65	94,05	2013/2014	87,78
99	89,53	2013/2014	91,21	78	66	94,01	2012/2013	92,82
115	86,94	2011/2012	91,21	79	75	93,74	2010/2011	94,57
72	93,6	2012/2013	91,19	80	71	93,65	2013/2014	95,80
48	95,77	2010/2011	91,10	81	72	93,6	2012/2013	91,19
50	95,51	2011/2012	91,10	82	76	93,55	2010/2011	90,62
64	94,08	2010/2011	91,02	83	73	93,41	2010/2011	92,87
102	89,49	2013/2014	91,02	84	80	93,39	2011/2012	90,42
79	100	2011/2012	90,95	85	87	92,95	2012/2013	92,17

DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC	Posição 1	DMU	SCORE BCC	SAFRA	RTC
61	95,75	2012/2013	90,91	86	100	92,93	2013/2014	91,23
62	94,48	2012/2013	90,83	87	77	92,85	2014/2015	87,25
117	85,67	2011/2012	90,74	88	78	92,56	2013/2014	91,61
119	87,22	2014/2015	90,73	89	88	92,44	2012/2013	90,08
94	90,88	2013/2014	90,63	90	83	92,43	2012/2013	95,87
76	93,55	2010/2011	90,62	91	90	92,3	2013/2014	92,69
95	90,75	2012/2013	90,59	92	85	92,16	2012/2013	89,81
46	95,96	2014/2015	90,53	93	86	91,94	2011/2012	84,30
80	93,39	2011/2012	90,42	94	92	91,26	2012/2013	91,87
91	100	2013/2014	90,37	95	89	91,26	2010/2011	90,30
89	91,26	2010/2011	90,30	96	93	90,94	2011/2012	93,98
24	97,83	2010/2011	90,20	97	94	90,88	2013/2014	90,63
88	92,44	2012/2013	90,08	98	95	90,75	2012/2013	90,59
111	87,81	2013/2014	89,98	99	96	90,74	2010/2011	85,90
101	89,49	2014/2015	89,97	100	97	90,63	2012/2013	92,80
58	96,4	2010/2011	89,92	101	98	90,57	2011/2012	91,56
103	89,7	2013/2014	89,87	102	105	89,82	2013/2014	91,24
85	92,16	2012/2013	89,81	103	103	89,7	2013/2014	89,87
70	95,72	2013/2014	89,78	104	99	89,53	2013/2014	91,21
108	88,7	2012/2013	89,40	105	102	89,49	2013/2014	91,02
60	94,52	2012/2013	89,28	106	101	89,49	2014/2015	89,97
110	88,01	2010/2011	89,25	107	104	89,29	2012/2013	91,92
118	84,91	2011/2012	89,23	108	106	88,91	2012/2013	91,90
116	95,59	2010/2011	88,96	109	107	88,74	2013/2014	88,60
107	88,74	2013/2014	88,60	110	108	88,7	2012/2013	89,40
120	83,08	2012/2013	88,50	111	109	88,59	2011/2012	91,33
113	87,36	2011/2012	88,22	112	110	88,01	2010/2011	89,25
112	87,67	2012/2013	87,90	113	111	87,81	2013/2014	89,98
65	94,05	2013/2014	87,78	114	112	87,67	2012/2013	87,90
82	98,76	2012/2013	87,68	115	113	87,36	2011/2012	88,22
77	92,85	2014/2015	87,25	116	119	87,22	2014/2015	90,73
121	84,82	2013/2014	87,05	117	115	86,94	2011/2012	91,21
114	94,35	2011/2012	86,82	118	117	85,67	2011/2012	90,74
1	100	2010/2011	86,39	119	118	84,91	2011/2012	89,23
96	90,74	2010/2011	85,90	120	121	84,82	2013/2014	87,05
86	91,94	2011/2012	84,30	121	120	83,08	2012/2013	88,50