UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

WILSON MILANI ZAMBIANCO

Avaliação do desempenho das regiões canavieiras do estado de São Paulo: uma
análise de variáveis econômicas, sociais e ambiental utilizando Análise
Envoltória de Dados (DEA) e Índice Malmquist

São Carlos

2018

WILSON MILANI ZAMBIANCO

Avaliação do desempenho das regiões canavieiras do estado de São Paulo: uma análise de variáveis econômicas, sociais e ambiental utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e Índice Malmquist

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Daisy A. do N. Rebelatto

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Z23a Zambianco, Wilson Milani
Avaliação do desempenho das regiões canavieiras do estado de São Paulo: uma análise de variáveis econômicas, sociais e ambiental utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e Índice Malmquist / Wilson Milani Zambianco; orientadora Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto. São Carlos, 2018.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Economia, Organizações e Gestão Conhecimento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2018.

1. Eficiência. 2. Sustentabilidade. 3. Setor sucroenergético. 4. DEA. 5. Índice Malmquist. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **WILSON MILANI ZAMBIANCO**.

Título da dissertação: "Avaliação do desempenho das regiões canavieiras do estado de São Paulo: uma análise de variáveis econômicas, sociais e ambiental utilizando análise envoltória de dados (DEA) e índice Malmquist".

Data da defesa: 08/03/2018.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**
(Orientadora)

(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Prof. Dr. **Mario Otávio Batalha**

(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Profa. Dra. **Ana Elisa Périco**

(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Araraquara)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:

Prof. Associado **Aldo Roberto Ometto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado **Luis Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela fonte de força e determinação, que me permitiu realizar esse trabalho, e à minha família pelo apoio recebido nesses dois anos e meio de mestrado. Gostaria de agradecer especialmente à minha esposa Juliana pelo companheirismo, paciência e compreensão ao longo desse tempo.

Agradeço à Universidade de São Paulo – USP e aos professores da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC pelo ensino de ponta e pelo ambiente de aprendizado e aos funcionários do Departamento de Engenharia de Produção pela presteza e disponibilidade.

Agradeço à minha orientadora Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto por ter me recebido como orientando, e também por toda atenção, paciência e valiosas contribuições ao meu trabalho. Agradeço também aos membros da banca, os professores Mário Otávio Batalha e Ana Elisa Périco, pelas dicas e contribuições que permitiram esse trabalho ficar mais completo.

Agradeço a todos os amigos e colegas, tanto do laboratório quanto do grupo de pesquisa pelo convívio e pela troca de experiências. Difícil citar todos os nomes, mas gostaria de agradecer especialmente à Jéssica, Diogo, Isotília, Paulo, Herick, Enzo, Naja, Raphael, Bruno e todos aqueles que de uma forma ou outra eu pude contar e que contribuíram para a conclusão desse trabalho. Meu muito obrigado a todos.

RESUMO

ZAMBIANCO, W. M. **Avaliação do desempenho das regiões canavieiras do estado de São Paulo:** uma análise de variáveis econômicas, sociais e ambiental utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e Índice Malmquist. 2018. 134 f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

O setor sucroenergético é um importante setor dentro da economia brasileira, e também um dos mais significativos para o estado de São Paulo, que em 2015 respondeu por 57% do valor de toda a produção agrícola do estado, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017), além de empregar mais de 220 mil pessoas e gerar cerca de R\$ 560 milhões em renda, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE (2017). A partir da década de 2000, houve um crescimento expressivo da área cultivada com cana-de-açúcar, tanto em São Paulo quanto no Brasil, se expandindo para regiões anteriormente ocupadas por outras culturas. Nesse período também ocorreu a substituição da colheita manual com uso de fogo pela colheita mecanizada sem uso de fogo. Tendo em vista tais transformações observadas pelo setor sucroenergético, este trabalho propõe o uso do método Análise Envoltória de Dados – DEA a fim de avaliar a eficiência econômica, social e ambiental das microrregiões canavieiras do estado de São Paulo, com o objetivo de identificar quais regiões foram eficientes em converter seus fatores de produção em fatores econômicos, sociais e ambientais durante o período de 2007 a 2014. Foram montados quatro modelos considerando os fatores de produção capital, terra e trabalho como *inputs* para todos eles; já como *outputs*, foram consideradas variáveis que representassem cada um dos modelos: econômico, social, ambiental e sustentável. Os resultados indicam que, de maneira geral, em determinadas regiões, sobretudo as áreas de expansão, o nível de eficiência é maior que naquelas tradicionais, demonstrando que o setor vem crescendo de maneira mais eficiente nas regiões de expansão, e que as políticas a fim de promover melhores indicadores de sustentabilidade estão apresentando resultados positivos. Contudo, o setor canavieiro ainda necessita de ações voltadas à melhoria de alguns de seus índices de sustentabilidade, sobretudo em relação aos pilares econômicos e sociais, a fim de direcioná-lo a um coerente desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Eficiência, sustentabilidade, setor sucroenergético, DEA, Índice Malmquist.

ABSTRACT

ZAMBIANCO, W. M. **Performance evaluation of the sugarcane regions of the State of São Paulo:** an analysis of economic, social and environmental variables using Data Envelopment Analysis (DEA) and Malmquist Index. 2018. 134 f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

The sugarcane industry is an important sector for the Brazilian economy, and also one of the most significant to the state of São Paulo, which in 2015 accounted for 57% of the value of all agricultural production in the state, according to data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE (2017), besides employing more than 220 thousand people and generating around R\$ 560 million in income, according to the Ministry of Labor and Employment - MTE (2017). Since the 2000s, there has been an expressive growth of the cultivated area with sugarcane, in São Paulo and Brazil, expanding to regions formerly occupied by other crops. During this period, the manual sugarcane harvest by the use of fire was replaced by the mechanized sugarcane harvest, without needing the use of fire. In order to evaluate the economic, social and environmental efficiency of sugarcane microregions in the state of São Paulo, this work proposes the use of the Data Envelopment Analysis - DEA method to identify which regions were efficient in converting their factors of production into economic, social and environmental factors during the period from 2007 to 2014. Four models were constructed considering factors of production - capital, land and labor - as inputs for all of them. In relation to the outputs, it was considered variables that represented each one of the models: economic, social, environmental and sustainable. Generally, the results indicated that in some regions, especially in the expansion areas, the level of efficiency was higher than in the traditional ones, showing that the sector has been growing more efficiently in the expansion regions, and that policies that aimed the promotion of better sustainability indicators are showing positive results. However, the sugarcane industry still needs actions aimed at improving some of its sustainability indices, especially in relation to the economic and social pillars, in order to direct it towards a coherent sustainable development.

Keywords: Efficiency, sustainability, sugarcane industry, DEA, Malmquist Index

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação dos principais estados na produção brasileira de cana-de-açúcar em 2016, em %.....	23
Figura 2 - Histórico da produção de cana-de-açúcar no Brasil e no estado de São Paulo, de 1974 a 2015, em milhões de toneladas.....	24
Figura 3 - Área plantada de cana-de-açúcar nas microrregiões do estado de São Paulo nos anos 1990, 2000, 2010 e 2015.....	25
Figura 4 - Localização das Usinas de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo em 2016.	30
Figura 5 - Modelo Proposto de Análise da Eficiência Ambiental, Econômica e Social e Sustentável.....	64
Figura 6 - Total de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2014.....	68
Figura 7 - Área plantada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 (em mil hectares).	69
Figura 8 - Custo de produção médio real de cana-de-açúcar no estado de São Paulo de 2007 a 2014 (em R\$ de 2014)	71
Figura 9 - Média de emissões de CO _{2eq} das áreas colhidas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 (em kg CO _{2eq} /ha).....	72
Figura 10 - Valor médio real da produção por tonelada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 (em R\$/ha de 2014).....	74
Figura 11 - Salário médio real das pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2014 (em R\$ de 2014).....	75
Figura 12 - Número de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo em cada uma das categorias de escolaridade inferior ao ensino fundamental completo.	77
Figura 13 - Número de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo em cada uma das categorias de escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo.	77
Figura 14 - Relação percentual entre as pessoas empregadas no estado de São Paulo com escolaridade inferior ao ensino fundamental completo e aquelas com escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo.....	78
Figura 15 - Modelo proposto de análise de eficiência Ambiental, Econômica, Social e Sustentável considerando as variáveis.....	82
Figura 16-Resultado da Análise de Eficiência Ambiental das Microrregiões do Estado de São Paulo	93
Figura 17 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da variação tecnológica (AT) e da variação da eficiência produtiva (AE) do modelo ambiental.	94
Figura 18-Resultado da Análise de Eficiência Econômica das Microrregiões do Estado de São Paulo	96
Figura 19 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da mudança tecnológica (AT) e da mudança da eficiência produtiva (AE) do modelo econômico.....	97
Figura 20-Resultado da Análise de Eficiência Social das Microrregiões do Estado de São Paulo	99

Figura 21 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da mudança tecnológica (AT) e da mudança da eficiência produtiva (AE) do modelo social.....	100
Figura 22-Resultado da Análise de Eficiência Sustentável das Microrregiões do Estado de São Paulo	102
Figura 23 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da mudança tecnológica (AT) e da mudança da eficiência produtiva (AE) do modelo sustentável.	103
Figura 24 - Resultados dos modelos Ambiental, Econômico, Social e Sustentável.	104
Figura 25 - Porcentagem de usinas signatárias do Protocolo Agroambiental e porcentagem de usinas certificadas Bonsucro, em relação ao total de usinas por microrregião.	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Tipos de iniciativas de sustentabilidade de biocombustíveis.	38
Quadro 2 - Prazos para a redução da queima da palha de cana-de-açúcar vigentes no estado de São Paulo.	40
Quadro 3- Trabalhos utilizando DEA como ferramenta de mensuração de eficiência de setores da economia.	50
Quadro 4- Trabalhos utilizando DEA como ferramenta de mensuração de eficiência regional	57
Quadro 5 - Apresentação das variáveis do modelo.	66
Quadro 6 - Apresentação do horizonte temporal das janelas do modelo.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Produção de cana-de-açúcar por microrregião do estado de São Paulo em 2016.	31
Tabela 2- Sumário estatístico das variáveis	78
Tabela 3- Matriz de correlação das variáveis utilizadas no modelo.....	79
Tabela 4 - Resultados das estimativas do modelo ambiental.	87
Tabela 5 - Resultados das estimativas do modelo econômico.	88
Tabela 6 - Resultados das estimativas do modelo econômico/social.	89
Tabela 7 - Resultados das estimativas do modelo social.....	90
Tabela 8- Resultado da Análise de Janela para o Modelo Ambiental.	91
Tabela 9- Resultado da Análise de Janela para o Modelo Econômico.....	95
Tabela 10- Resultado da Análise de Janela para o Modelo Social.....	98
Tabela 11 - Resultado da Análise de Janela para o Modelo Sustentável	101
Tabela 12 - Taxa de crescimento anual da produção de cana-de-açúcar das microrregiões canavieiras do estado de São Paulo entre 2000 e 2015 e sua respectiva posição no ranking de cada modelo.	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	Efeitos de mudança de eficiência produtiva
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AT	Efeitos de mudança tecnológica
BCC	Banker, Charnes e Cooper
BRIC	Brasil, Rússia, Índia e China
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CNA	Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
COP21	21ª Conferência das Partes
COT	Custo Operacional Total
CP	Custo de Produção
CRS	Constant Returns to Scale
DEA	Análise Envolvória de Dados
DMU	Decision Making Unit
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
EUA	Estados Unidos da América
GBEP	Global Bioenergy Partnership
GEE	Gases do efeito estufa
GRP	Produto regional bruto
HA	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IM	Índice Malmquist
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
LCA	Avaliação do ciclo de vida
LCFS	Low Carbon Fuel Standard
MADEA	Modelo multi-atividade de análise envoltória de dados
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério de Minas e Energia
MQGF	Mínimos Quadrados Generalizados Factíveis
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Ácido nítrico
NIFDI	National Institute for Direct Instruction

NO2	Dióxido de nitrogênio
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMC	Organização Mundial do Comércio
ORPLANA	Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
PECEGE	Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas
PIB	Produto Interno Bruto
PM10	Partículas de até 10 micrometros
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNUMA	Painel Internacional para a gestão de Recursos Sustentáveis
Proálcool	Programa Nacional do Alcool
PTF	Produtividade Total dos Fatores
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RDSS	Rural Development Support Scheme
RED	Diretiva da União Européia sobre Energias Renováveis
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials
RSF	Renewable Fuel Standard
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
SAA	Secretaria da Agricultura e Abastecimento
SBM	Slacks-Based Measure
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SO2	Dióxido de enxofre
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
TBT	Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio
UDOP	União dos Produtores de Bioenergia
UE	União Europeia
UNICA	União da Indústria de Cana-de-açúcar
USP	Universidade de São Paulo
VRS	Variable Returns to Scale
WCED	Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento

SUMÁRIO

1. Introdução.....	23
1.1 Problema de pesquisa.....	27
1.2 Objetivo da pesquisa	28
2. Revisão Bibliográfica.....	29
2.1 Perfil do setor sucroenergético no Brasil e no estado de São Paulo	29
2.1.1 O Setor Sucroenergético no estado de São Paulo.....	29
2.2 Bioenergia e sustentabilidade	31
2.2.1 Iniciativas de Sustentabilidade no Setor Sucroenergético	37
2.2.2 Iniciativas no estado de São Paulo	39
2.2.2.1 Lei nº 11.241 de 2002.....	39
2.2.2.2 Protocolo Etanol Verde	41
2.2.2.3 Certificação Bonsucro	42
2.3 Análise de eficiência utilizando a ferramenta DEA.....	42
2.3.1 DEA como ferramenta de mensuração de eficiência dos setores da economia..	44
2.3.2 O Método DEA como ferramenta de mensuração de eficiência regional	54
3. Método	63
3.1 Modelo proposto	63
3.1.1 Variáveis de pesquisa	64
3.1.2. Análise das variáveis	78
3.1.3. Validação dos dados dos modelos de DEA.....	80
3.1.4. Aplicação do método DEA.....	81
4. Resultados e Discussão	87
4.1. Resultados da Análise Econométrica.....	87
4.1.1. Resultados da regressão para o modelo ambiental	87
4.1.2. Resultados da regressão para o modelo econômico	88
4.1.3. Resultados da regressão para o modelo econômico/social.....	88
4.1.4. Resultados da regressão para o modelo social.....	89
4.2. Resultados da Análise Envoltória de Dados (DEA)	90
4.2.1. Resultados do Modelo Ambiental	90
4.2.2. Resultados do Modelo Econômico	94
4.2.3. Resultados do Modelo Social	97
4.2.4. Resultados do Modelo Sustentável.....	100

4.2.5. Discussão dos Resultados DEA.....	103
5. Conclusões	111
Referências Bibliográficas.....	115
ANEXO	123

1. INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar tem se expandido pelas regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte do Sul do Brasil, sendo São Paulo o estado com a maior produção dessa matéria-prima no país. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017), o estado de São Paulo foi responsável por 58% da produção brasileira de cana-de-açúcar no ano de 2016, seguido por Goiás (9%), Minas Gerais (9%), Mato Grosso do Sul (7%) e Paraná (6%). Na Figura 1 é possível notar a participação dos principais estados na produção brasileira de cana-de-açúcar em 2016.

Figura 1 - Participação dos principais estados na produção brasileira de cana-de-açúcar em 2016, em %.

Fonte - IBGE, 2017 (elaborado pelo autor)

A cultura canavieira se destaca também como a principal atividade agrícola dentre as atividades econômicas dominantes no estado de São Paulo. Em 2015, de acordo com o IBGE, o cultivo da cana respondeu por 57% do valor de toda a produção agrícola do estado. No mesmo ano, o setor sucroenergético empregou mais de 220 mil pessoas no estado, entre trabalhadores das áreas agrícola e industrial, movimentando cerca de R\$ 560 milhões em renda, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE (2017).

Torquato, Martins, Ramos (2009) afirmam que o estado de São Paulo já figurava como um dos principais produtores desta matéria-prima desde a década de 1950 e também possui algumas das regiões mais tradicionais da produção de cana-de-açúcar do país,

representado principalmente pelas regiões de Ribeirão Preto, Jaú, Jaboticabal e Piracicaba. Desde a segunda metade do século XX essas regiões foram responsáveis por grande parte da produção desta matéria-prima no estado de São Paulo, de acordo com dados do IBGE (2017). Pela Figura 2 é possível acompanhar o histórico da produção de cana-de-açúcar no Brasil e no estado de São Paulo a partir de 1974.

Figura 2 - Histórico da produção de cana-de-açúcar no Brasil e no estado de São Paulo, de 1974 a 2015, em milhões de toneladas.

Fonte - IBGE, 2017 (elaborado pelo autor)

A partir do início do século XXI, entretanto, a acelerada expansão da produção de cana em São Paulo, sobretudo na região oeste do Estado, provocou a concorrência entre as antigas e as novas regiões produtoras (Torquato, Martins, Ramos, 2009), além da expansão sobre áreas degradadas e de pastagens. Segundo os autores, a entrada de novos grupos econômicos e a introdução de modernos sistemas de produção vem contribuindo para o aumento da eficiência produtiva do setor, resultando em uma melhora na gestão de custos e de adequações técnicas e tecnológicas. Além disso, os autores ainda argumentam que tais práticas podem trazer melhores resultados de indicadores da sustentabilidade ambiental e econômica, mitigando externalidades negativas.

Após a desregulamentação em 1999, o setor sucroenergético sofreu uma forte expansão em várias regiões do território brasileiro em decorrência de diversos fatores como o incentivo à produção de etanol. Segundo dados do IBGE (2017) a área plantada com cana-de-açúcar no Brasil cresceu 109% de 2000 a 2015; no estado de São Paulo, esse crescimento foi

de 124%. Na Figura 3 podemos verificar a evolução da área plantada de cana-de-açúcar nas microrregiões do estado de São Paulo.

Figura 3 - Área plantada de cana-de-açúcar nas microrregiões do estado de São Paulo nos anos 1990, 2000, 2010 e 2015.

Fonte - IBGE, 2017 (elaborado pelo autor)

Tal corrida pela produção de cana-de-açúcar no território brasileiro foi influenciada pelo aumento da procura por etanol combustível, por sua vez, demandado pela elevação da cotação do barril de petróleo, da tecnologia flexfuel para veículos automotores e a valorização do preço do açúcar no mercado internacional (JANK, 2010). Gonçalves (2009) também atribui esse crescimento da produção de cana-de-açúcar à crescente demanda tanto interna quanto externa do etanol combustível, e acrescenta a publicidade em torno do papel dos biocombustíveis em relação ao aquecimento global como um fator que explique esse fenômeno. Além disso, houve uma grande exploração do potencial da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável, conforme apontado pelos trabalhos desenvolvidos por Goldemberg; Lucon (2007) e Seabra; Macedo (2011). A partir de então, o setor vem ocupando novos espaços dentro do cenário estratégico nacional, deixando de ser somente fornecedor de açúcar e etanol.

Diversos estudos têm demonstrado a crescente preocupação com aspectos sustentáveis no ambiente produtivo da cana-de-açúcar. Neste aspecto, vários trabalhos levantam a questão dos princípios da sustentabilidade dentro setor sucroenergético, seja no âmbito ambiental (SMEETS ET. AL., 2008; MARTINELLI, FILOSO, 2008; GOLDEMBERG, COELHO, GUARDABASSI, 2008; FIGUEIREDO, SCALA JUNIOR, 2011), econômico (BACCHI, CALDARELLI, 2015) e social (MARTINELLI, FILOSO, 2008; MACEDO, CIPOLA, FERREIRA, 2010; MORAES, 2011; MORAES, OLIVEIRA, DIAZ-CHAVEZ, 2015).

O conceito de sustentabilidade está baseado em um tripé composto pelo equilíbrio dos aspectos econômicos, sociais e ambientais. A definição do Relatório Brundtland, organizado pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento - WCED em 1987, também chamado de “Nosso Futuro Comum”, diz que “o desenvolvimento sustentável deve satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras” (WCED, 1987, p.43). Várias outras definições já foram utilizadas em diversos trabalhos, contudo, este trabalho parte do princípio que a sustentabilidade é formada pelo equilíbrio das dimensões econômicas, sociais e ambientais (CLARO, CLARO, AMÂNCIO, 2008).

Almeida (2002) explora essas dimensões, de modo a torná-las palpáveis às organizações. Segundo o autor, a dimensão econômica, para as organizações, deve compreender não apenas questões pertinentes a informações financeiras, mas também indicadores de eficiência, produtividade, despesas e investimentos com colaboradores, além de investimentos em inovação. A dimensão ambiental deve abranger, dentre outras, informações sobre impactos sobre os recursos naturais, como ar, água, solo e biodiversidade. Já a dimensão social deve englobar informações a respeito de saúde e segurança do trabalhador, direitos humanos e condições de trabalho.

A partir do início do século XXI, várias iniciativas por parte de órgãos governamentais e não governamentais têm requerido que o setor sucroenergético esteja engajado na questão da sustentabilidade e diminua os impactos negativos relacionados às esferas econômica, social e ambiental. No estado de São Paulo, desde 2006, uma grande parcela de usinas e associações de produtores de cana-de-açúcar firmou um compromisso com o Governo do Estado de São Paulo, por meio da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e da Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SAA) a fim de eliminar a queima da palha da cana-de-açúcar no estado. Com o nome de Protocolo Agroambiental, essa parceria ganhou destaque com a entrada da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), com a finalidade de direcionar ações para superar os desafios da mecanização da colheita da cana-de-açúcar, além de servir como orientação para a restauração das matas ciliares no estado de São Paulo.

No final de 2016 o programa Renovabio entrou na agenda de debates e discussões dos governantes do país, a fim de se tornar uma iniciativa para a substituição da matriz energética nacional, conforme a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2017b). Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), juntamente com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), esse programa pretende expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, considerando os aspectos de sustentabilidade (EPE, 2017c). Esta é uma iniciativa que tem como objetivo cumprir a meta nacional de substituição do uso de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, firmado durante a COP21 em Paris no final de 2015¹ (EPE, 2017a). De acordo com a União da Indústria de Cana-de-açúcar–UNICA (2016), o compromisso assumido pelo Brasil durante essa conferência pode transformar a biomassa da cana-de-açúcar em uma das principais fontes de energia para ajudar a cumprir o acordo de redução do uso de combustíveis fósseis.

A proposta desse estudo é contribuir com a discussão sobre importância de cada uma das esferas da sustentabilidade: ambiental, econômica e social para o setor sucroenergético nas microrregiões do estado de São Paulo. Esse estudo propõe o uso do método Análise Envoltória de Dados – DEA para avaliar a eficiência das microrregiões canavieiras do estado de São Paulo em cada uma dessas esferas considerando as variáveis emissões de dióxido de carbono equivalente – CO_{2eq}, valor da produção, salário médio das pessoas empregadas no setor e escolaridade dessas pessoas, número de pessoas empregadas no setor, área de terra utilizada para o cultivo de cana e custo de produção de cana-de-açúcar. Dessa forma, a contribuição desse trabalho se dá pelas informações a respeito da eficiência das microrregiões canavieiras em cada uma das esferas da sustentabilidade.

1.1 Problema de pesquisa

O estado de São Paulo, além de ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, também ocupa a primeira posição na produção e comercialização de açúcar e produção de etanol derivado da cana em todo o mundo, de acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2017). Apesar do grande investimento que houve ao longo da década de 2000, e do avanço da produção e do crescimento do setor em várias

¹Durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) foi celebrado o Acordo de Paris, em Paris (França), que traz o compromisso assumido pela maioria das nações do planeta no combate às mudanças climáticas. Nesse acordo, o Brasil se comprometeu cortar em 43% suas emissões de gases de efeito estufa (GEEs) até 2030. (<http://www.cop21paris.org/>)

regiões brasileiras, há poucos estudos que exploram o desempenho e a eficiência das regiões canavieiras do estado de São Paulo em relação às variáveis econômicas, sociais e ambientais.

1.2 Objetivo da pesquisa

O objetivo principal desse trabalho é identificar a eficiência relativa das regiões canavieiras do estado de São Paulo em melhorar seus fatores de produção (trabalho, capital e área plantada) em indicadores ambientais, econômicos e sociais, de forma a analisar o nível de desempenho econômico, ambiental e social do setor sucroenergético nas microrregiões do estado de São Paulo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Perfil do setor sucroenergético no Brasil e no estado de São Paulo

A indústria sucroenergética tem grande participação na economia brasileira. O Produto Interno Bruto (PIB) do setor na safra 2013/2014 foi de U\$ 43,36 bilhões, representando 2% do PIB nacional de 2013, além de gerar 1,2 milhões de empregos diretos (NEVES, TROMBIN, 2014). O setor ainda coloca o país em um patamar de maior exportador de açúcar e um dos principais produtores de etanol, além de ser um dos pioneiros na cogeração de energia elétrica (JANK, 2010).

De acordo com Jank (2010), o etanol é um dos principais produtos do setor sucroenergético brasileiro e, assim como a energia elétrica proveniente da cogeração, é uma fonte de energia renovável, limpa e reúne vários requisitos para ser um dos principais representantes da sustentabilidade na área energética frente aos combustíveis derivados do petróleo. Este combustível pode servir também como fonte de energia alternativa estratégica dentro da matriz energética brasileira, seja por meio do etanol hidratado e do etanol celulósico como combustível carburante quanto pela energia resultante da cogeração via queima do bagaço e da palha de cana-de-açúcar para comercialização em linhas de transmissão.

No Brasil, segundo Jank (2010), o setor sucroenergético se privilegia pelo grande potencial de demanda pelo etanol, tanto interna quanto externa. Do lado da demanda interna, tal potencial pode ser mensurado pelo incentivo ao crescimento da frota nacional de veículos flex-fuel durante a década de 2000, além da pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e novos usos – como o bioplástico – e pela ampliação do uso do etanol em indústrias químicas. O potencial oriundo da demanda externa surge pelo reconhecimento internacional das vantagens competitivas do etanol e também pelo aumento do consumo mundial do combustível. Ainda de acordo com o autor, a questão da bioeletricidade ainda é um grande potencial energético a ser explorado, utilizando como matéria-prima a palha e o bagaço da cana-de-açúcar. Tal exploração poderia auxiliar o Brasil nas políticas de economia de baixo carbono, dado o potencial de geração de energia. Dentre outras vantagens, essa energia gerada serviria como complemento energético em épocas de baixa oferta de energia pelas hidrelétricas.

2.1.1 O Setor Sucroenergético no estado de São Paulo

O estado de São Paulo é formado por 645 municípios, divididos em 64 microrregiões (IBGE, 2016). Dessas microrregiões, 41 possuem canaviais plantados em seu território

(IBGE, 2017). Segundo o cadastro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2017), o estado de São Paulo possui 160 usinas e destilarias de etanol, 42% do número de usinas do país. De acordo com dados da UNICA (2017), na safra 2016/2017 no estado de São Paulo foram processadas cerca de 366 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, representando 60% do total moído na região Centro-Sul² e 56% da cana moída em todo o Brasil. Também nessa safra foram produzidas mais de 24 milhões de toneladas de açúcar e mais de 13 milhões de m³ de etanol. Na Figura 4 podemos identificar a localização das usinas e destilarias de cana-de-açúcar do estado de São Paulo.

Figura 4 - Localização das Usinas de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo em 2016.

Fonte - União dos Produtores de Bioenergia - UDOP (2017)

De acordo com dados do IBGE (2017), as cinco principais regiões do setor sucroenergético, em relação ao volume de cana-de-açúcar produzido, são as microrregiões de São José do Rio Preto, São Joaquim da Barra, Presidente Prudente, Ribeirão Preto e Jaboticabal, conforme apresentado na Tabela 1. No ano de 2016, essas microrregiões juntas concentraram 32% do volume de cana colhida em todo o estado, e possuíam 41 usinas.

²O setor sucroenergético brasileiro é dividido geograficamente em duas regiões: Norte-Nordeste e Centro-Sul. A região Norte-Nordeste é formada pelos estados de Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e Tocantins. Já a região Centro-Sul compreende os estados do Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo (UNICA, 2017).

Tabela 1 Produção de cana-de-açúcar por microrregião do estado de São Paulo em 2016.

Microrregião Geográfica	Quantidade produzida (Mil toneladas)	Participação (%)
São José do Rio Preto	39.759	9,0%
São Joaquim da Barra	27.688	6,3%
Presidente Prudente	26.903	6,1%
Ribeirão Preto	24.568	5,6%
Jaboticabal	23.393	5,3%
Araraquara	23.324	5,3%
Assis	18.351	4,1%
Jaú	17.969	4,1%
Andradina	14.964	3,4%
Araçatuba	13.385	3,0%
Bauru	11.927	2,7%
Birigui	11.326	2,6%
Barretos	11.230	2,5%
Catanduva	11.118	2,5%
Piracicaba	10.143	2,3%
Lins	9.629	2,2%
Ituverava	9.563	2,2%
São Carlos	9.526	2,2%
Novo Horizonte	9.466	2,1%
Ourinhos	8.896	2,0%
Batatais	8.662	2,0%
Demais Microrregiões	100.494	22,7%
Total do Estado de São Paulo	442.282	100,0%

Fonte—Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Produção Agrícola Municipal (IBGE-PAM), 2017

2.2 Bioenergia e sustentabilidade

De acordo com o relatório de mudanças climáticas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC referente ao ano de 2014, o uso de bioenergia oferece um potencial significativo para a mitigação das mudanças climáticas. Contudo, caso haja uma grande corrida por implantação de sistemas de geração de bioenergia, alguns riscos consideráveis podem surgir, pois exigiria um extensivo uso de resíduos agrícolas, biocombustíveis de segunda geração e processamento de biomassa com carvão ou gás natural, demandando dióxido de carbono (PACHAURI, 2015).

A mitigação, assim como a sustentabilidade, é fundamental para a proteção do carbono terrestre, exigindo cuidados na aplicação de fertilizantes, uma interação com os mercados de

alimentos e uma boa gestão da terra e da água. Especificamente, as emissões decorrentes da mudança do uso do solo, as emissões de óxido nitroso do solo e os fertilizantes, o uso de combustível do processo, a tecnologia de uso final e o sistema de referência podem influenciar as emissões totais do ciclo de vida atribuído ao uso da bioenergia (WALTER, et. al., 2011). Dessa forma, o impacto da bioenergia no aquecimento global só pode ser avaliado em uma configuração abrangente que também atende aos efeitos de equilíbrio. De acordo com o autor, a sustentabilidade foi reconhecida como um aspecto essencial para o futuro da bioenergia, principalmente no que diz respeito à consolidação de fontes de bioenergia nos mercados internacionais. A discussão sobre a sustentabilidade tornou-se ainda mais intensa devido ao rápido crescimento da produção de biocombustíveis na última década e à sua potencial concorrência com a produção de alimentos, ganhando impulso durante e após a crise alimentar em 2007-2008.

As principais demandas de fornecimento sustentável de biomassa para energia partiram dos setores mais organizados da sociedade e induziram ações específicas na Europa e na América do Norte. Nos Estados Unidos da América (EUA), as preocupações se limitaram às emissões de gases do efeito estufa (GEE) evitadas em relação aos combustíveis fósseis, enquanto a Diretiva da União Europeia sobre Energias Renováveis (EU-RED), mais abrangente, abordou também os potenciais impactos na biodiversidade, nos recursos hídricos e no abastecimento de alimentos, além do respeito dos direitos humanos, trabalhistas e de uso do solo. Tais iniciativas de sustentabilidade motivaram a proposição de esquemas de certificação, prevendo que sem uma produção certificada não seria possível alcançar os mercados mais importantes.

Estudos recentes buscaram levantar quais os principais impactos da produção da bioenergia sobre as variáveis do tripé da sustentabilidade. Um dos principais argumentos utilizados por aqueles que são contrários aos biocombustíveis é que a expansão da agricultura pode causar desmatamento, trazendo impactos negativos à biodiversidade, conforme apontado pelos trabalhos de Searchinger, et.al. (2008), Fargione, et.al. (2008) e Crutzen, et.al., 2007. Alguns exemplos utilizados pelos autores são: o desmatamento na Indonésia e na Malásia em decorrência da expansão da palma, impactando sobre a população de orangotangos; as emissões de óxido nitroso (N_2O) provocadas pelo uso de fertilizantes nitrogenados de maneira intensiva no plantio de cana-de-açúcar, que anulam eventuais emissões evitadas de GEE; os impactos negativos que a expansão da agricultura pode causar sobre os recursos hídricos – tanto sob o aspecto de disponibilidade quanto de qualidade – e biodiversidade, associados ao uso de agroquímicos, introdução de espécies invasoras e não preservação das áreas de

proteção. Esses pesquisadores também alegam que a produção em larga escala dos biocombustíveis pode não trazer benefícios sociais, oferecendo condições de trabalho insatisfatórias, com uso de obra escrava ou infantil e desrespeito aos direitos de uso da terra.

Renouf, Wegener e Nielsen (2008) compararam os resultados da avaliação do ciclo de vida (LCA) do etanol de cana-de-açúcar australiano com os de outras culturas. O trabalho dos autores mostra que a cana-de-açúcar tem uma vantagem em relação à entrada de energia, as emissões de gases de efeito estufa e, possivelmente, ao potencial de acidificação devido ao seu alto rendimento de sacarídeos e ao deslocamento de combustíveis fósseis com energia renovável excedente de fibra de cana (bagaço). Contudo, os autores destacam que a cana australiana pode apresentar emissões elevadas de óxido nitroso, reduzindo as vantagens de gases de efeito estufa em algumas regiões.

No âmbito da produção brasileira de biocombustíveis, o trabalho desenvolvido por Goldemberg, Coelho e Guardabassi (2008) procura esclarecer os aspectos da sustentabilidade da produção de etanol a partir da cana no Brasil, sobretudo no estado de São Paulo. Os autores enumeram alguns impactos positivos, que são a eliminação de compostos de chumbo da gasolina e a redução das emissões nocivas, além da redução de emissões de CO₂, uma vez que o etanol requer apenas uma pequena quantidade de combustíveis fósseis para a sua produção, sendo assim um combustível renovável. Tais impactos podem ser sentidos com a melhoria da qualidade do ar nas áreas metropolitanas e rurais, onde está sendo introduzida a colheita mecanizada de cana crua, eliminando a queima de cana. Por outro lado, como impacto negativo da produção de etanol, os autores alertam que uma futura produção em larga escala de etanol a partir da cana pode trazer prejuízos ambientais, como a destruição ou danificação de áreas de alta biodiversidade, desmatamento, degradação ou danos aos solos através do uso de produtos químicos, contaminação da água ou esgotamento, competição com a produção de alimentos e produção de combustível, comprometendo a segurança alimentar e agravando as condições de trabalho nos campos.

Martinelli e Filoso (2008) também defendem que os impactos ambientais e sociais associados ao setor podem se tornar um obstáculo para a produção sustentável de biocombustíveis no mundo, sobretudo pela grande busca e produção de energia renovável. Apesar dos aspectos positivos como o sucesso do uso do etanol no Brasil desde a década de 1970, o equilíbrio energético positivo e custos de produção relativamente baixos, o autor também aponta seus aspectos negativos. Dentre eles, poluição atmosférica causada pela queima de cana-de-açúcar para colheita, degradação de solos e sistemas aquáticos e a

exploração de cortadores de cana. Por outro lado, alguns desses pontos, pelo menos no Estado de São Paulo já começaram a apresentar soluções, como é o caso da queimada da cana (FIGUEIREDO E SCALA, 2011) e as questões trabalhistas (MORAES, 2011).

O estudo desenvolvido por Figueiredo, Scala (2011) mostra que em relação ao balanço de gases do efeito estufa, a eliminação da queima da palha para a colheita da cana-de-açúcar pode trazer grandes benefícios ambientais. Os autores estimaram a quantidade de dióxido de carbono equivalente - $\text{CO}_{2\text{eq}}$ emitido tanto pela colheita de cana-de-açúcar queimada quanto pela colheita sem uso do fogo nos canaviais do Estado de São Paulo, considerando as emissões dos gases dióxido de carbono - CO_2 , metano - CH_4 e óxido nitroso - N_2O . De acordo com os seus resultados, os autores indicaram que os principais emissores são representados pelo adubo nitrogenado sintético e pela queima de resíduos: 1.167,6 e 941,0 $\text{kg CO}_{2\text{eq ha}^{-1} \text{ y}^{-1}}$, respectivamente. A colheita de cana queimada representa o maior escopo de emissão: 3.103,9 $\text{kg de CO}_{2\text{eq ha}^{-1} \text{ y}^{-1}}$. O autor ainda indica que a conversão da colheita queimada para sem queima pode reduzir 310,7, quando não se considera o sequestro de carbono do solo, ou 1.484,0 $\text{kg CO}_{2\text{eq ha}^{-1} \text{ y}^{-1}}$ considerando o sequestro de carbono do solo. Os autores também apontam que futuramente essas emissões podem se reduzir, considerando a substituição do uso do diesel por biocombustíveis, o uso de tecnologias para a otimização de operações e fertilização mais eficiente.

O trabalho de Smeets et. al. (2008) avaliou os impactos ambientais e socioeconômicos da produção de etanol de cana no estado de São Paulo, além de procurar determinar em que medida estes impactos se mostra um gargalo para a produção sustentável e certificada de etanol. Os resultados mostram que a absorção de energia pode ser aumentada e as emissões de gases de efeito estufa reduzidos através do aumento da produção de etanol por tonelada de cana, além da maior utilização de resíduos de cana para produção de eletricidade. Um gargalo importante para uma produção sustentável e certificada levantada pelos autores foi a geração de possíveis impactos sobre a biodiversidade e a competição com a produção de alimentos, considerando um aumento na produção de cana. Outro gargalo que poderia se tornar realidade seria o uso de cana geneticamente modificada, mas no momento da pesquisa ainda não era utilizada.

Demirbas, Balat e Balat (2009) pesquisaram a respeito do potencial global e da contribuição do uso desse tipo de energia para o desenvolvimento de energia sustentável por meio da apresentação do seu desenvolvimento histórico. De acordo com os autores, a biomassa pode ser considerada como a melhor opção e que tem o maior potencial, podendo servir como fornecedora de energia para combustível no futuro. Além disso, a modernização

das tecnologias de biomassa em países em desenvolvimento pode levar à produção mais eficiente. A argumentação dos autores parte da hipótese de que a utilização dos recursos de biomassa será um dos fatores mais importantes para a proteção do ambiente no século 21, pois a biomassa ajuda a reciclagem de CO₂ atmosférico e não contribui para o efeito estufa.

O trabalho desenvolvido por Walter, et. al. (2011) analisou a sustentabilidade da produção de etanol no Brasil, a partir dos três aspectos da sustentabilidade. Os resultados mostram que a recente expansão da cana pelas regiões do país tem ocorrido principalmente sobre pastagens e outras culturas temporárias, não confirmando a hipótese de desmatamento. Além disso, segundo o estudo, o fato do Brasil utilizar etanol misturado à gasolina fez com que as emissões de gases do efeito estufa fossem 78% menores do que poderia ter sido emitido caso o país utilizasse gasolina pura. Adicionalmente, considerando os impactos diretos da mudança do uso da terra, as emissões poderiam ser entre 2,2% a 164,8% maiores e nas regiões onde ocorreu a expansão da cana-de-açúcar continuassem as antigas atividades agrícolas, considerando a mudança de gestão do solo e também o tempo de cultivo de cana-de-açúcar. Destaca-se ainda a presença de aspectos socioeconômicos positivos no estado de São Paulo. Foi concluído que uma parte significativa da produção de etanol no Brasil pode ser considerada sustentável, em especial em relação aos três aspectos avaliados; contudo, ressalta-se que tais resultados não podem ser generalizados, pois as condições de produção no país são extremamente heterogêneas. Entretanto, pelo fato do escopo de estudo deste trabalho se restringir ao estado de São Paulo, considerou-se válido.

Janssen e Rutz (2011) forneceram uma visão geral das principais questões de conflitos na produção de biocombustíveis na América Latina, por meio de uma investigação sob a ótica das iniciativas de sustentabilidade e suas ferramentas disponíveis atualmente. De acordo com os autores, vários países latino-americanos estão criando programas de biocombustíveis para estabelecer mercados alternativos para *commodities* agrícolas, além de outros programas ambiciosos que podem ser criados pelos Estados Unidos (EUA) e pela União Europeia (UE). A maioria desses países está concentrando seus programas a partir da produção de etanol de cana-de-açúcar, embora existam programas a partir da produção de biodiesel de soja, como é o caso da Argentina. Contudo, segundo os autores, ainda não há sistemas de certificação que garantam a sustentabilidade dos biocombustíveis na América Latina, e o uso predominante de culturas alimentares para a sua produção levanta preocupações sobre a sustentabilidade da produção de biocombustíveis relacionados aos aspectos ambientais e sociais.

Rovere, Pereira, Simões (2011) avaliaram as três décadas do Programa Nacional do Alcool (Proálcool) no Brasil, mostrando que a adoção de políticas públicas adequadas em relação à produção de biomassa pode trazer benefícios diretos, como a melhoria da segurança energética e geração de emprego local, além de reduzir a poluição do ar urbano e evitar emissões de CO₂. Além disso, os autores mostram que a produção do etanol brasileiro tem enfrentado economias de escala, progresso técnico e ganhos de produtividade, porém não é mais dependente de subsídios para ser competitivo. Os autores ainda avaliam o potencial de produção brasileiro de outros biocombustíveis, como o biodiesel, bem como as suas implicações no desenvolvimento de energia sustentável.

O trabalho de Huang, et. al. (2012) buscou prever os impactos futuros da produção de biocombustíveis no setor agrícola e regional ao longo da próxima década, com um foco específico em regiões vulneráveis dos países em desenvolvimento. De acordo com o estudo, os níveis de produção de biocombustíveis dependem da suposição sobre o preço futuro da energia e do potencial de substituição entre biocombustíveis e petróleo no uso para transportes. Assim, níveis baixos de preço de energia podem reduzir a procura por biocombustíveis e, portanto, podem demandar apoio governamental para cumprir as metas de produção desejadas; por outro lado, preços de energia elevados somados a um apelo para a substituição dos combustíveis à base de petróleo para biocombustíveis podem provocar um excesso de produção de biocombustíveis. O trabalho também indica que existem vias de impacto que vão muito além das fronteiras dos principais produtores, como os preços das *commodities* e não-*commodities* em países desenvolvidos, ou o valor adicionado do setor agrícola.

Nesse mesmo sentido, o estudo desenvolvido por Zhang, et. al. (2013) realizou uma análise da perspectiva dos impactos dos biocombustíveis em *commodities* agrícolas, baseada em modelos de equilíbrio geral e parcial. O estudo conciliou a diferença sistemática nos impactos estimados de crescimento de produção dos biocombustíveis sobre os preços futuros e a produção de três principais grupos de *commodities*: milho, cana-de-açúcar e oleaginosas. Embora todos os modelos analisados apontem para impactos positivos sobre preços e produção, existem grandes diferenças entre os modelos. Os resultados apontam para uma série de pressupostos fundamentais e diferenças estruturais que parecem conduzir conjuntamente as variações observadas. As diferenças entre os modelos de equilíbrio parcial ocorrem pela concepção de cenários, à presença ou ausência do comércio de biocombustíveis, e pela estrutura da modelagem que unem os mercados agrícolas e de energia. Já as diferenças entre os modelos equilíbrio geral são causadas pelas suposições do modelo de oferta de áreas

agrícolas, pela inclusão de subprodutos, e pelas suposições sobre o preço do petróleo bruto e a elasticidade de substituição entre petróleo e biocombustíveis.

Por fim, o trabalho mais recente desse tema é o de Moraes, Oliveira, Diaz-Chavez (2015). O estudo teve por objetivo analisar os impactos socioeconômicos da indústria canavieira no Brasil, examinando as características da força de trabalho, remuneração e condições de trabalho. Os autores analisaram o papel da família através de modelos econométricos utilizando dados socioeconômicos, de forma a comparar os resultados entre as diferentes gerações de trabalhadores e também dentro do setor agrícola como um todo. Os dados utilizados foram da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). Os resultados encontrados mostram que juntos, os três setores-chave que compõem a indústria da cana no país (cultivo de cana-de-açúcar, a produção de açúcar e de produção de etanol) empregaram cerca de um milhão de trabalhadores em 2012. Os autores também encontraram que o contexto familiar desempenha um papel nas escolhas feitas por trabalhadores da segunda geração relacionados ao trabalho e, assim, impactam sobre os indicadores socioeconômicos dos setores, pois acabam por ter melhores escolhas e condições do que os trabalhadores da primeira geração. Além disso, a partir da comparação entre os modelos realizada pelos autores, pode-se concluir que os trabalhadores do setor de cana-de-açúcar possuem melhores condições socioeconômicas que os demais trabalhadores do setor agrícola.

2.2.1 Iniciativas de Sustentabilidade no Setor Sucroenergético

O fator gerador das iniciativas de sustentabilidade para os biocombustíveis foi a redução das emissões dos GEE. Conceitualmente, essas iniciativas compreendem todos os requerimentos e exigências que demandam ou indicam que bens e serviços relacionados à produção, ao comércio e ao consumo de biocombustíveis sejam sustentáveis (CORREIA, 2015). De acordo com a autora, elas possuem as características atribuídas à *soft Law* (quase direito) e são previstas pelas normas da Organização Mundial do Comércio (OMC), particularmente pelo Acordo sobre Barreiras Técnicas ao Comércio (TBT), como exceções ao livre comércio, permitidas quando forem essenciais para alcançar objetivos que a própria OMC reconhece como legítimos. Essas iniciativas podem ser classificadas de acordo com o seu tipo, natureza, sujeição e funções. Correia (2015) ainda define cada um dos tipos de iniciativa. Segundo a autora, existem três tipos: regulamentos técnicos, normas técnicas e procedimentos de avaliação de conformidade. Os regulamentos técnicos são legislações que

constituem barreiras técnicas ao comércio e que possuem natureza pública e sujeição obrigatória nos territórios em que exercem sua competência. Já as normas técnicas se caracterizam por serem consideradas barreiras técnicas ao comércio de natureza mista e internacional, com aplicabilidade sempre voluntária. Por fim, os procedimentos de avaliação de conformidade e são barreiras técnicas ao comércio de natureza privada, pública ou mista e também possuem aplicabilidade voluntária. No Quadro 1 estão sintetizados os exemplos dos tipos de iniciativas de sustentabilidade de biocombustíveis.

Quadro 1- Tipos de iniciativas de sustentabilidade de biocombustíveis.

Tipo de Iniciativa Sustentável	Exemplos
Regulamentos técnicos	• Diretiva 2009/CE/28 da União Europeia (EU-RED)
	• <i>Renewable Fuel Standard</i> (RSF)
	• <i>Low Carbon Fuel Standard</i> (LCFS)
Normas técnicas	• ISO 13065
	• Painel Internacional para a gestão de Recursos Sustentáveis (PNUMA)
	• <i>Global Bioenergy Partnership</i> (GBEP)
Procedimentos de avaliação de conformidade	• <i>Roundtable on Sustainable Biomaterials</i> (RSB)
	• Padrão de Produção Bonsucro
	• <i>International Sustainability and Carbon Certification</i> (ISCC)

Fonte—Adaptado de Correia (2015)

A seguir são apresentadas as principais iniciativas de sustentabilidade para biocombustíveis adotadas no mundo.

a) EU-RED

A Diretiva de Energia Renovável da União Europeia (EU-RED) é uma iniciativa governamental que rege sobre os aspectos da sustentabilidade da produção de biocombustíveis, incluindo pré-requisitos ambientais e sociais relacionado à sua produção. Pode ser considerada uma das mais importantes iniciativas governamentais que contribuíram para o desenvolvimento de mercados de biomassa e bioenergia. Em 2015 a Comissão Europeia alterou a RED, visando a migração para o uso de biocombustíveis até 2020, desde que sejam capazes de emitir uma menor taxa de GEE em seu ciclo de vida, incluindo as emissões estimadas com a mudança de uso da terra.

b) ISO 13065

A ISO 13065 (*Sustainability Criteria for Bioenergy*) é um padrão internacional aprovado em 2015, com o objetivo de fornecer uma estrutura que considere os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Suas normas podem ser usadas a fim de avaliar e comparar os tipos de produção e produtos de bioenergia, cadeias de suprimentos e aplicações. Sua estrutura é composta por capítulos, que seguem os temas ambientais, sociais e econômicos, e possui vários anexos relacionados ao assunto de cada capítulo, chamados de “*Guidance related to indicators*”. Este padrão internacional visa facilitar a produção, o uso e o comércio sustentável de bioenergia, o que permitirá aos usuários identificar as áreas para melhoria contínua dentro do escopo da sustentabilidade da bioenergia.

c) Certificações

O principal objetivo das iniciativas de sustentabilidade para a bioenergia é a redução das emissões de GEE. A partir dessas iniciativas surgiram regulamentos, normas e procedimentos para avaliação de conformidade, que podem abranger outros aspectos ambientais, sociais e econômicos. Alguns trabalhos como o de Scarlat, Dallemand (2011) e o de Oliveira (2013) estudaram a respeito dessas iniciativas, sobretudo em relação às certificações no setor de biocombustíveis no mundo. De maneira geral, ambos os trabalhos apontam que essas iniciativas surgiram em resposta aos questionamentos acerca da efetiva sustentabilidade da bioenergia, principalmente após a crise dos preços dos alimentos, quando se questionou o impacto dos biocombustíveis sobre a segurança alimentar, desmatamento e impactos sociais. O estudo desenvolvido por Oliveira (2013) elencou as quatro principais certificações existentes ao setor: a *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO), a *Roundtable on Sustainable Biomaterials* (RSB), a *Certified Sustainability – Certified GHG Savings* e a Certificação Bonsucro. O trabalho de Scarlat, Dallemand (2011) contribuiu para a discussão a respeito das certificações com algumas recomendações, no sentido de internacionalizar e monitorar o processo de certificação e sua execução, garantindo, assim, a sustentabilidade dos biocombustíveis e da bioenergia.

2.2.2 Iniciativas no estado de São Paulo

2.2.2.1 Lei nº 11.241 de 2002

O estado de São Paulo criou uma legislação, regulamentada em 11 de março de 2003, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. De acordo com essa lei, os plantadores de cana-de-açúcar que utilizem o fogo em seu método de pré-colheita devem reduzir seu uso em até 30 anos, respeitando os prazos apresentados no Quadro 2:

Quadro 2 - Prazos para a redução da queima da palha de cana-de-açúcar vigentes no estado de São Paulo.

Ano	Área mecanizável*	Percentagem de eliminação da queima
1º ano (2002)	20% da área cortada	20% da queima eliminada
5º ano (2006)	30% da área cortada	30% da queima eliminada
10º ano (2011)	50% da área cortada	50% da queima eliminada
15º ano (2016)	80% da área cortada	80% da queima eliminada
20º ano (2021)	100% da área cortada	Eliminação total da queima
Ano	Área não mecanizável**	Percentagem de eliminação da queima
10º ano (2011)	10% da área cortada	10% da queima eliminada
15º ano (2016)	20% da área cortada	20% da queima eliminada
20º ano (2021)	30% da área cortada	30% da queima eliminada
25º ano (2026)	50% da área cortada	50% da queima eliminada
30º ano (2031)	100% da área cortada	100% da queima eliminada

*Onde não se pode efetuar a queima.

**Com declividade superior a 12% e/ou menor de 150 hectares, onde não se pode efetuar a queima.

Fonte – Lei nº 11.241 de 2002 - SÃO PAULO (2017)

As áreas mecanizáveis consideradas pela legislação são aquelas que possuem área acima de 150 hectares e com declividade menor ou igual a 12%, desde que possuam condições de terem o corte da cana mecanizável. Já as áreas não mecanizáveis são definidas como terrenos com declividade superior a 12% e que não comportem a mecanização da colheita da cana. Além disso, dentro desse prazo estipulado quando ainda é permitida a queima, os plantadores de cana devem atender a uma série de regras para que possam utilizar o fogo na colheita, incluindo um plano de queima que deve ser aprovado pela Secretaria do Meio Ambiente.

Tais regras se aplicam a todas as áreas plantadas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo, sobretudo aos canaviais plantados após a regulamentação dessa lei, mesmo sendo área de expansão. De acordo com a legislação, os plantadores que não cumprirem as determinações dentro dos prazos estabelecidos devem apresentar um plano de adequação à

Secretaria do Meio Ambiente, e está sujeito a um Termo de Ajuste de Conduta – TAC, de modo a resguardar os impactos sócio-político-econômicos e ambientais. Assim, o estado de São Paulo contribui com a mitigação dos efeitos das queimadas de cana-de-açúcar.

2.2.2.2 Protocolo Etanol Verde

O Protocolo Etanol Verde, ou Protocolo Agroambiental é uma parceria entre entidades do setor sucroenergético e o Governo do Estado de São Paulo³. Firmado em 2007, tem como objetivo criar mecanismos a fim de estimular e consolidar o desenvolvimento sustentável da produção e da indústria da cana no estado. O protocolo, restrito apenas às áreas canavieiras e indústrias do estado de São Paulo, possui uma série de diretrizes e são monitoradas por meio do Certificado Etanol Verde, cuja principal diretriz se firma na eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar. A adesão das unidades agroindustriais ao Protocolo é feita individualmente e de forma voluntária, e conta com planos de ações, cuja implementação e cumprimento são fiscalizados pelos órgãos do governo paulista. De acordo com dados da SMA (2017), esse protocolo conta com a assinatura de 129 usinas signatárias em 2017, que representam 81% do total das usinas do estado. Em 2017 a CETESB entrou nessa parceria, a fim de direcionar ações para superar os desafios da mecanização da colheita da cana-de-açúcar e também para orientar quanto à restauração das áreas ciliares no estado de São Paulo. A partir disso, foram definidas algumas diretrizes para as usinas e para as associações de fornecedores de cana signatárias do Protocolo, conforme apresentado a seguir:

- Eliminação da queima
- Adequação ao Novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012)
- Proteção e restauração das áreas ciliares
- Conservação do solo
- Conservação e reuso da água
- Aproveitamento dos subprodutos da cana-de-açúcar
- Responsabilidade socioambiental e certificações
- Boas práticas no uso de agrotóxicos
- Medidas de proteção à fauna
- Prevenção e combate aos incêndios florestais

³As entidades que representam o setor sucroenergético são a União da Indústria da Cana de Açúcar (UNICA) e a Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA), enquanto o Governo do Estado de São Paulo é representado pela Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SAA).

Dessa forma, a CETESB contribui para que o protocolo agregue, a partir de 2017, maiores proteções ao meio ambiente, envolvendo questões além das queimadas da cana-de-açúcar.

2.2.2.3 Certificação Bonsucro

A certificação Bonsucro é uma iniciativa global, de adesão voluntária que tem como objetivo reduzir os impactos ambientais e sociais da produção de cana-de-açúcar. A iniciativa possui um conjunto de princípios, critérios e indicadores a fim de avaliar o desempenho dos afiliados nos três pilares da sustentabilidade, chamado de padrão de produção. Os princípios desse padrão de produção são cinco: 1. Respeito à legislação; 2. Respeito aos direitos humanos e às normas de trabalho; 3. Gerenciamento da eficiência das entradas, produção e processamento para aumentar a sustentabilidade; 4. Gerenciamento ativo da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos; 5. Melhoria contínua das principais áreas do negócio. Além disso, possui alguns requisitos obrigatórios adicionais para biocombustíveis sob a Diretiva de Energia Renovável da União Europeia (EU-RED), e sua revisão relativa à qualidade do combustível. O escopo do padrão de produção aplica-se às usinas e suas áreas de fornecimento de cana-de-açúcar, sendo a usina o tomador de certificação. Além disso, a aplicação dos princípios, critérios e indicadores é realizada por órgãos certificadores competentes, segundo a versão 4.2 de dezembro de 2016 do Padrão de Produção Bonsucro.

O processo de certificação Bonsucro das usinas do estado de São Paulo foi iniciado em 2011, sendo o Brasil o país com o maior número de usinas certificadas no mundo. Em 2017, o número de usinas brasileiras certificadas foi de 49, ante 70 usinas certificadas no mundo todo. Somente no estado de São Paulo existiam 35 usinas certificadas⁴ com o padrão de produção Bonsucro em 2017. (BONSUCRO, 2017).

2.3 Análise de eficiência utilizando a ferramenta DEA

O método de Análise Envoltória de Dados (DEA) foi proposto inicialmente pelos autores Abraham Charnes (1917-1992), William Cooper (1914-2012) e Edwardo L. Rhodes em uma publicação no *European Journal of Operational Research*, intitulada *Measuring the efficiency of the decision making units*, no ano de 1978. Essa publicação foi derivada da tese de Rhodes, cujo objetivo foi analisar a eficiência de escolas que tinham aderido a um

⁴ Além dessas 35 usinas certificadas no estado de São Paulo, havia mais 5 usinas, porém essas tiveram sua certificação cancelada.

programa social chamado de “*follow through*”⁵, comparando-as com escolas que não tinham aderido a esse programa. A base teórica para esse método foi fornecida pela publicação de Farrel em 1957⁶, que discursava a respeito da eficiência produtiva.

Seguindo, dessa forma, a definição de eficiência produtiva dada por Farrel (1957), o método DEA tem por finalidade avaliar o desempenho de determinadas unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs), que podem ser consideradas como um sistema que transforma um conjunto de entradas em um conjunto de saídas. Assim, o método DEA analisa a eficiência de uma DMU em converter insumos produtivos (*inputs*) em produtos (*outputs*). A DEA é também definida como uma técnica não paramétrica, ou seja, seus resultados não permitem inferência estatística, sendo válida somente para a amostra analisada. A ferramenta básica utilizada para operar o método é a programação matemática e seu principal resultado é a eficiência produtiva, podendo ser adaptado a outras utilizações.

Os principais resultados da DEA permitem identificar as DMUs eficientes e as ineficientes, além de fornecer metas para que as DMUs ineficientes atinjam o grau de eficiência. Outro resultado fornecido pelo método são os *benchmarks* para cada DMU, além da contribuição relativa de cada *input* e *output*.

Há vários modelos que podem ser utilizados na aplicação da DEA, conforme levantado por Mariano e Rebelatto (2013). Segundo os autores, esses modelos podem se diferenciar de acordo com o tipo de retorno de escala, sua orientação ou a forma de se combinar *inputs* e *outputs*. Os modelos de retorno à escala são o CRS (*Constant Returns to Scale* – Retornos Constantes de Escala), ou CCR (em referência a Charnes, Cooper e Rhodes (1978)); e o VRS (*Variable Returns to Scale* – Retornos Variáveis de Escala), ou BCC (em referência a Banker, Charnes e Cooper (1984)). Já a respeito da sua orientação, os modelos podem ser radiais, que buscam a minimização dos *inputs* ou maximização dos *outputs* separadamente. A orientação ao *input* permite que o modelo determine o quanto ele deveria ser reduzido para ser otimizado, mantendo os valores do *output* constantes, enquanto os modelos orientados ao *output* permitem determinar o quanto ele pode ser aumentado sem

⁵De acordo com o *National Institute for Direct Instruction* – NIFDI (<http://www.nifdi.org/>), esse programa foi criado em 1968 com o objetivo de garantir que os estudantes menos favorecidos terminassem o ensino fundamental. Foi patrocinado pelo governo federal dos Estados Unidos, que concedeu ajuda financeira para complementar os orçamentos locais e apoiar as implementações do programa. Além disso, forneceu serviços de saúde que incluía apoio de nutricionistas e assistência médico-odontológica.

⁶O trabalho intitulado “*The measurement of productive efficiency*” foi publicado pelo *Journal of the Royal Statistical Society* em 1957. O objetivo desse trabalho foi elaborar uma função de produção a fim de mensurar a eficiência produtiva e mostrar como ela pode ser posta em prática.

interferir no nível atual dos *inputs*. Já os modelos não-radiais consideram a redução dos *inputs* e aumento dos *outputs* simultaneamente (COOPER, SEIFORD e TONE, 2007).

Vários estudos encontrados utilizaram o método DEA a fim de analisar a eficiência dos sistemas produtivos, conforme será mostrado ao longo dessa seção. Isso mostra que a DEA pode ser bastante útil para mensurar a eficiência a partir de diversas perspectivas.

2.3.1 DEA como ferramenta de mensuração de eficiência dos setores da economia

Na etapa do levantamento bibliográfico, foram encontrados vários trabalhos realizados com o intuito de medir a eficiência de alguns dos setores agroindustriais de vários países. Encontraram-se alguns trabalhos que analisaram a produtividade agrícola, como o de Chen, et al. (2008) e Vicente (2012), outro que avaliou a sustentabilidade da produção agrícola (GERDESSEN e PASCUCI, 2013), e também trabalhos que mensuraram a eficiência da produção de biodiesel (COSTA, et. al., 2013), pecuária (GOMES, et. al., 2015), cana-de-açúcar (YE, et. al., 2016) e recursos florestais (LI, HAO e CHI, 2017).

O estudo desenvolvido por Chen, et. al. (2008) analisou o crescimento da produtividade agrícola entre 1990 e 2003, utilizando dados em painel de 29 províncias na China. Os autores calcularam o índice de produtividade de Malmquist e realizaram uma decomposição utilizando a metodologia DEA-CRS orientada a maximizar a variável *output*, representada no estudo pelo valor adicionado. As variáveis *inputs* consideradas foram as quantidades de trabalho, máquinas, animais de tração e área plantada, essa última medida em hectares. Os resultados obtidos pelos autores indicam que a principal fonte de crescimento da produtividade é o progresso técnico e que as disparidades regionais no crescimento da produtividade pioram com o tempo.

Vicente (2012) utilizou o método DEA orientado ao *input*, sob retornos constantes à escala, para mensurar os níveis de produtividade total de fatores e de eficiências técnica, alocativa e econômica na produção agrícola de lavouras do Brasil em 2006. A variável *output* considerada no modelo foi a quantidade produzida, enquanto os *inputs* foram terra, trabalho, mecanização, fertilizantes, defensivos e investimentos em culturas perenes. Os resultados sugerem que, de maneira geral, o setor sofreu ineficiência técnica moderada e ineficiência alocativa forte. Constatou-se que a produção de lavoura poderia ter sido 5% maior, caso a eficiência técnica fosse atingida, além da sobre utilização de trabalho. A agricultura do estado de São Paulo era a única operando com eficiência econômica plena. Por fim, o autor aponta para um processo de convergência nos índices de produtividade e de eficiência em 2006 comparado com 1995.

Os autores Gerdessen e Pascucci (2013) procuravam uma forma de medir a sustentabilidade de um sistema agrícola considerando a complexidade de sua avaliação, ao adotarem uma perspectiva multidimensional. Assim, eles buscaram contribuir para o desenvolvimento de uma abordagem metodológica que pode simplificar o procedimento de avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, considerando uma perspectiva multidimensional. O sistema utilizado pelos autores utiliza as três dimensões da sustentabilidade, definido por dois indicadores econômicos (valor adicionado e formação bruta de capital fixo), dois indicadores sociais (relação etária e treinamento/educação), e quatro indicadores ambientais (risco de erosão, intensidades de uso da terra para produção vegetal e animal e relevância das áreas irrigadas). O método DEA foi utilizado tanto da forma CRS quanto da forma VRS, dependendo de cada um dos cinco cenários baseados nas três dimensões da sustentabilidade. Assim, foi medida a eficiência dessas variáveis em 252 regiões agrícolas europeias, divididas em subconjuntos de regiões eficientes e não eficientes em cada um dos cinco cenários. A partir dos resultados, os autores concluíram que a combinação de uma perspectiva multidimensional com a ferramenta DEA permitiu operacionalizar o conceito complexo e sofisticado de sustentabilidade.

A fim de mensurar a eficiência da produção do biodiesel no Brasil, o trabalho de Costa, et al. (2013) avaliou 13 diferentes *inputs* para a produção do combustível, utilizando DEA na versão VRS orientada ao *output*. Tais *inputs* estavam agrupados de acordo com cinco diferentes origens de matéria-prima para a produção de biodiesel: fontes residuais, extracultura, culturas perenes, culturas anuais mecanizadas e culturas anuais intensiva em trabalho manual. Os resultados mostraram que o maior custo associado com o processo de produção do biodiesel a partir de resíduos, assim como sua pequena escala de produção, é compensado pelo seu menor custo de aquisição, além da sua disponibilidade imediata nos centros urbanos e também pelo grande potencial de mitigação de gases de efeito estufa.

O estudo de Gomes, et. al. (2015) avaliou o desempenho de 21 modais de sistemas de produção de bovinos de corte, representados por 21 municípios em sete estados brasileiros. Foram utilizados dois modelos DEA BCC diferentes, correspondentes a diferentes pontos de vista. Os autores utilizaram um modelo econômico a fim de medir a capacidade de um sistema de produção para gerar receita com a preservação da floresta nativa, utilizando mão de obra, capital e despesas correntes como entradas. O outro modelo abordou a questão socioambiental, utilizando o fator trabalho como uma saída. O intuito desse último modelo foi avaliar a geração de benefícios econômicos, ambientais e sociais a partir dos custos de capital.

Os resultados apontaram fontes de ineficiência em termos de trabalho de baixa qualificação e a utilização de touros de qualidade questionável, fatores que são comuns em sistemas extensivos, sendo estes alguns dos principais pontos de estrangulamento nos sistemas de produção animal como um todo.

O trabalho desenvolvido por Ye, et. al. (2016) aplicou o método DEA utilizando tanto a forma CRS quanto a forma VRS, além do Índice de Malmquist (IM), com base em uma análise de séries temporais, a fim de analisar a eficiência da produção e a tendência da indústria de açúcar da China no período de 2004 a 2013. As regiões analisadas foram as quatro principais províncias canavieiras (Guangxi, Yunnan, Guangdong e Hainan), que juntas representam cerca de 90% da produção chinesa de cana. As variáveis utilizadas foram os custos relacionados ao material, ao serviço e ao trabalho como entradas, e como saída foi utilizada a produção de cana por hectare. A análise revelou que a eficiência global da produção de cana na China foi relativamente baixa, e os escores resultaram em um impacto negativo sobre o desenvolvimento da indústria de açúcar chinesa. Além disso, a análise baseada no Índice Malmquist também demonstrou um declínio na tendência da produtividade da cana durante 2004-2013. Dessa forma, o estudo dos autores indica claramente que a produtividade da cana chinesa precisa de melhorias significativas.

Ainda na área agroindustrial, Li, Hao e Chi (2017) avaliaram os dados de recursos florestais da China sob a ótica da melhoria de eficiência e desenvolvimento sustentável desses recursos. Os autores utilizaram a abordagem do *Big Data* para analisar os dados relevantes de 31 províncias entre 2005 e 2013, após analisar os fatores econômicos, sociais e ecológicos para escolher os índices de avaliação e processar os dados em conformidade. A primeira análise foi realizada com a ajuda do método DEA-VRS para investigar a eficiência dos recursos florestais de cada uma das províncias, utilizando como *inputs* as variáveis: investimentos, número de trabalhadores e área de floresta, e como *outputs* as variáveis: valor da produção, produção de madeira e estoque florestal. Em seguida, foi realizada uma segunda análise dessas variáveis utilizando o Índice de Malmquist de produtividade dos fatores. Os resultados apontam a necessidade de elevar os investimentos em ciência e tecnologia, a fim de melhorar a eficiência global dos recursos florestais, juntamente com a melhoria da operação e gestão, a fim de melhorar a utilização dos recursos tecnológicos.

Foram encontrados também trabalhos que utilizaram DEA para mensurar a eficiência em outros setores além do agropecuário. Nesse sentido, pode-se citar o trabalho desenvolvido por Alam, Sikder e Goulias (2004) e Tatari, Egilmez e Kurmapu (2016) que analisaram o setor de infraestrutura de transportes e rodovias; os trabalhos de Tao e Zhang (2013) e Xie, et.

al. (2014) que estudaram a eficiência ambiental do setor de energia elétrica; os estudos desenvolvidos por Dong, Qiao e Yang (2015) sobre a indústria aeroespacial e o trabalho de Camioto, Mariano e Rebelatto (2014) analisando a eficiência do setor industrial brasileiro.

O trabalho desenvolvido por Alam, Sikder e Goulias (2004) examinou a eficiência técnica dos investimentos no desenvolvimento de infraestrutura regional de transportes de Bangladesh. Os autores utilizaram o modelo DEA-CRS orientado aos *inputs*, aplicado às variáveis de entrada – área, população, capital industrial e índice de acessibilidade de cada região – relacionadas ao produto interno bruto de cada um dos setores demandantes da infraestrutura de transportes (agropecuária, indústria, serviço e total), representando as variáveis de saída. Dessa forma, os autores usaram o método DEA para identificar os investimentos prioritários para cada região e avaliar seus impactos relativos, sendo que os investimentos em regiões menos eficientes tendem a ser mais eficazes, pois apresentam uma taxa de retorno maior.

Tatari, Egilmez e Kurmapu (2016) desenvolveram um modelo utilizando DEA-VRS a fim de avaliar a sustentabilidade do setor de rodovias dos Estados Unidos da América. Os autores consideraram metas de sustentabilidade relativas às três dimensões da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. Utilizando o modelo desenvolvido, os autores buscaram demonstrar que a avaliação de sustentabilidade poderia ser útil para avaliar as rodovias e ajudar nas metas de planejamento estratégico de agências de transporte. Além disso, os resultados indicaram que os impactos sociais e ambientais podem ser reduzidos nas rodovias ineficientes.

Tao e Zhang (2013) aplicaram os métodos DEA-CRS e DEA-VRS a fim de medir a eficiência ambiental dos fatores de produção da indústria de energia elétrica no Delta do Rio Yangtze, na China, de 2000 a 2010. As variáveis de entrada consideradas foram capacidade instalada e consumo de carvão, enquanto as variáveis de saída foram divididas em dois grupos: a desejável, representada pela geração de energia, e as indesejáveis, que foram as emissões de CO₂, águas residuais, fuligens e resíduos sólidos. Os autores utilizaram os dois modelos DEA considerando tanto retornos constantes e retornos variáveis de escala. De acordo com os resultados, os modelos foram capazes de demonstrar que a eficiência ambiental geral das regiões analisadas apresentou melhora no período, contudo, tal melhora foi lenta e nos últimos anos reduziu ainda mais sua velocidade.

O estudo desenvolvido por Xie, et. al. (2014) analisou a eficiência ambiental das indústrias de energia elétrica em diferentes países, de modo a servir como um ponto de

referência para avaliar os seus esforços de redução de emissões. Os autores adotaram o Índice Malmquist ambiental, baseado em um modelo DEA baseado em folgas - SBM (*Slacks-Based Measure*), a fim de investigar um índice de produtividade total dos fatores ambientais das indústrias de energia elétrica em 26 países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e do bloco de países composto por Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) de 1996 a 2010. As variáveis de *output* consideradas foram energia gerada e emissões de carbono, respectivamente como desejáveis e indesejáveis. Além disso, foi utilizado um modelo de regressão Tobit para analisar a influência dos fatores relacionados, a Produtividade Total dos Fatores (PTF) e suas decomposições. Os resultados encontrados indicam que as mudanças da matriz energética e o progresso tecnológico são as principais forças motrizes para promover a dinâmica da eficiência ambiental. Além disso, os autores concluíram que os preços da energia e a situação e mudanças econômicas também são fatores que afetam significativamente a dinâmica da eficiência ambiental.

Dong, Qiao e Yang (2015) estudaram a eficiência operacional da indústria aeroespacial chinesa e compararam as diferenças de eficiência entre as empresas aeroespaciais privadas e estatais, utilizando a Análise Envoltória de Dados e o Índice Malmquist de Produtividade. Os resultados mostraram que tanto a eficiência de escala quanto o nível de eficiência técnica da indústria aumentaram durante o período analisado, principalmente influenciado pelo crescimento das empresas estatais. Contudo, ao mesmo tempo em que a escala aumentou, a produtividade total dos fatores diminuiu, causado principalmente pelo desempenho da condução regressiva das empresas. Sobretudo, a eficiência operacional da indústria ainda é relativamente baixa. Comparando as empresas privadas e as estatais, em termos de escala as empresas privadas são piores que as estatais. Por outro lado, considerando a eficiência operacional, as privadas foram mais eficientes, indicando um descompasso no desenvolvimento da indústria.

Camoto, Mariano e Rebelatto (2014) avaliaram, por meio do DEA, a eficiência do setor industrial brasileiro entre 1996 e 2009, levando em consideração o consumo de energia e as respectivas contribuições para os aspectos econômicos e sociais do país. As variáveis selecionadas para o *input* foram: (1) redução do consumo de energia e (2) redução das emissões de CO₂ resultante do consumo de combustíveis fósseis, enquanto as variáveis de saída (*output*) foram: (a) o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) por setor, (b) o número de pessoas empregadas, e (c) as despesas pessoais. Para chegar ao objetivo proposto, foram utilizados o modelo DEA-SBM e a análise de janela. Os resultados indicaram que o setor têxtil foi o mais eficiente no Brasil no período analisado, seguido pelos setores de alimentos e

bebidas, químico, mineração, papel e celulose, não metálicos (cimento e cerâmica) e metalúrgico. De acordo com os autores, apesar do índice proposto apresentar limitações, é útil ao promover discussões relacionadas à avaliação da sustentabilidade, principalmente em setores industriais, além de orientar decisões políticas em relação à incentivos governamentais para promover o desenvolvimento em busca de uma produção mais sustentável.

Nota-se que alguns desses estudos utilizaram o método DEA combinado com o Índice de Malmquist a fim de mensurar a evolução da eficiência dos setores produtivos em séries históricas, conforme pôde ser verificado nos estudos de Chen, et. al. (2008), Ye, et. al. (2016), Li, Hao e Chi (2017), Xie, et. al. (2014) e Dong, Qiao e Yang (2015). No Quadro 3 é apresentada uma compilação dos estudos apresentados nessa subseção:

Quadro 3- Trabalhos utilizando DEA como ferramenta de mensuração de eficiência de setores da economia.

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Chen, et. al., 2008	Crescimento da produtividade total dos fatores	Setor agrícola chinês	DEA-CRS e Índice Malmquist	Output	Valor adicionado (RMB)		output
					Trabalho (nº)		input
					Maquinário (nº)		input
					Área plantada (ha)		input
					Animais de tração (nº)		input
Vicente, 2012	Produtividade total dos fatores e eficiência	Setor de lavouras da agricultura brasileira	DEA-CRS	Input	Quantidade produzida		output
					Terra (área colhida)		input
					Trabalho		input
					Mecanização (estoque de maquinário)		input
					Fertilizantes (quantidade)		input
					Defensivos (quantidade)		input
Gerdessen, Pascucci, 2013	Sustentabilidade	Setor agrícola europeu	DEA-CRS e DEA-VRS	input e output	Investimentos em culturas perenes (R\$)		input
					Dimensão econômica	Valor adicionado bruto por trabalhador	input
						Formação de capital fixo bruto na agricultura	input
					Dimensão social	Relação agricultores < 35 anos / > 55 anos	input
						Treinamento e educação na agricultura	input
					Dimensão ambiental	Risco de erosão do solo	input
						Intensidade do uso da terra para produção vegetal	input
						Intensidade do uso da terra para produção animal	input
						Relevância das áreas irrigadas	input

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis	Tipo de Variável
Costa, et al., 2013	Sustentabilidade	Produção de biodiesel no Brasil	DEA-VRS	<i>Output</i>	Quantidade de matéria-prima de fontes residuais	<i>input</i>
					Quantidade de matéria-prima da extracultura	<i>input</i>
					Quantidade de matéria-prima de culturas perenes	<i>input</i>
					Quantidade de matéria-prima de culturas anuais mecanizadas	<i>input</i>
					Quantidade de matéria-prima de culturas anuais intensiva em trabalho manual	<i>input</i>
Gomes, et. al., 2015	Desempenho de sistemas produtivos	Produção de bovino de corte no Brasil	DEA-VRS	<i>input e output</i>	Número de trabalhadores	<i>input</i>
					Área de pastagem (ha)	<i>input</i>
					Valor de compra de animais (BRL)	<i>input</i>
					Outras despesas (BRL)	<i>input</i>
					Área de conservação de vegetação nativa (ha)	<i>output</i>
					Receita Bruta da Pecuária (BRL)	<i>output</i>
Ye, et. al., 2016	Eficiência de Regiões Produtivas	Produção de cana-de-açúcar na China	DEA-CRS e DEA-VRS e Índice Malmquist	<i>Input</i>	Custo de Material por hectare	<i>input</i>
					Custo de Serviço por hectare	<i>input</i>
					Custo de Trabalho por hectare	<i>input</i>
					Produção de cana por hectare	<i>output</i>
Li, Hao, Chi, 2017	Eficiência e Desenvolvimento Sustentável de Regiões Produtivas	Produção de Recursos Florestais na China	DEA-VRS e Índice Malmquist	<i>Input</i>	Investimentos na Área Florestal	<i>input</i>
					Número de Trabalhadores	<i>input</i>
					Área de Floresta	<i>input</i>
					Valor da Produção Florestal	<i>output</i>
					Produção de Madeira	<i>output</i>
					Estoque Florestal	<i>output</i>

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Alam, Sikder e Goulías, 2004	Eficiência Econômica Regional	Setor de infraestrutura de transporte em Bangladesh	DEA-CRS	Input	GDP total		output
					GDP agropecuário		output
					GDP indústria		output
					GDP serviço		output
					Área efetiva		input
					População		input
					Capital industrial		input
					Índice de Acessibilidade		input
Tatari, Egilmez e Kurmapu, 2016	Sócio-eco-eficiência	Setor de rodovias dos Estados Unidos	DEA-VRS	Output	Econômica	Eficiência do transporte por caminhão	input
						Condições do asfalto	input
					Social	Índice de tempo de viagem	output
						Falhas anuais/milhas	output
					Ambiental	Emissões de Nox, CO e VOC	output
						Emissões de CO2 diárias	output
						Nível médio de ruído	output
Tao e Zhang, 2013	Eficiência Ambiental de Fatores de Produção	Indústria de Energia Elétrica do Delta do Rio Yangtze, na China	DEA-CRS e DEA-VRS	Output	Geração de Energia		output desejável
					Capacidade instalada		input
					Consumo de carvão		input
					Emissão de CO2		output indesejável
					Emissão de águas residuais		output indesejável
					Emissão de fuligens		output indesejável
					Emissão de resíduos sólidos		output indesejável

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis	Tipo de Variável
Xie, et. al., 2014	Eficiência Ambiental de Fatores de Produção	Indústria de Energia Elétrica de 26 países da OCDE e do BRIC	DEA-SBM e Índice Malmquist	-	Trabalho	<i>input</i>
					Capacidade instalada	<i>input</i>
					Uso de fontes combustíveis e nucleares	<i>input</i>
					Geração de Energia	<i>output</i> desejável
					Emissões de Carbono	<i>output</i> indesejável
Dong, Qiao e Yang, 2015	Eficiência de Setores Produtivos	Indústria aeroespacial da China	Índice Malmquist e DEA-VRS	<i>Output</i>	Custos operacionais	<i>input</i>
					Ativos	<i>input</i>
					Salários acumulados	<i>input</i>
					Lucro operacional	<i>output</i>
					Número de patentes	<i>output</i>
Camioto, Mariano e Rebelatto, 2014	Eficiência de Setores Produtivos	Setores Industriais no Brasil	DEA-SBM	-	Redução do consumo de energia	<i>input</i>
					Redução das emissões de CO2 resultante do consumo de combustíveis fósseis	<i>input</i>
					Produto Interno Bruto (PIB)	<i>output</i>
					Número de pessoas empregadas	<i>output</i>
					Despesas pessoais	<i>output</i>

Fonte - elaborado pelo autor com dados da pesquisa.

2.3.2 O Método DEA como ferramenta de mensuração de eficiência regional

O método DEA também foi utilizado a fim de mensurar a eficiência de regiões, como foi o caso do trabalho desenvolvido por Falavigna, Manello e Pavone (2013), que avaliou os efeitos das políticas regionais sobre a agricultura italiana. Os *inputs* do modelo foram as áreas cultivadas de três categorias de produtos agrícolas. Como *outputs*, foram consideradas as quantidades produzidas, e como um *output* indesejável, considerou-se as emissões de ácido nítrico - NHO_3 . Os resultados mostraram que há uma diferença considerável de performances ambientais entre as regiões da Itália, e que a produtividade estimada difere quando são consideradas as emissões. A quantidade de fundos públicos concedidos pelo Programa de Desenvolvimento Rural durante o período de 2000-2006 é em geral atribuída às áreas mais desfavorecidas. Mesmo assim, os resultados obtidos sugerem que o crescimento da produtividade total dos fatores não necessariamente segue a direção dos fundos públicos e algumas políticas são necessárias.

O trabalho de Charles e Zegarra (2014) utilizou um modelo DEA para construir um índice composto a fim de mensurar a competitividade das regiões do Peru em cinco pilares: (1) economia, (2) firmas, (3) governo, (4) infraestrutura e (5) pessoas. O método utilizado foi o DEA-BCC orientado ao *output*, e os resultados indicaram que as regiões costeiras são mais competitivas em relação às regiões montanhosas ou de selva. O modelo proposto foi útil para apontar algumas necessidades para uma abordagem unificada de modo a serem desenvolvidas estratégias para o aumento da produtividade de todas as regiões peruanas.

Sueyoshi e Yuan (2015) avaliaram o desempenho regional das cidades chinesas, a fim de alcançar a sustentabilidade social em termos de desenvolvimento econômico e prevenção ambiental, considerando quatro diferentes tipos de classificações regionais: (1) municípios e outros, (2) regiões econômicas, (3) áreas administrativas e (4) distritos econômicos. Os autores utilizaram o método DEA para estimar um modelo de abordagem econômica, social e ambiental, cujas variáveis de *input* foram: população total, investimento para prevenção de poluição, consumo de eletricidade e despesas finais das pessoas, e as variáveis de *output* foram: produto regional bruto – GRP, e as emissões diárias de partículas de até 10 micrometros – PM_{10} , de dióxido de enxofre – SO_2 e de dióxido de nitrogênio – NO_2 , sendo a primeira um *output* desejável e as emissões *outputs* indesejáveis. Os resultados encontrados sugerem ações e medidas ao governo chinês, sendo as principais: alocação correta de recursos econômicos para as cidades que se localizam na região noroeste, e o reforço da regulamentação sobre o consumo de energia a fim de prover a prevenção ambiental nas grandes cidades. O principal argumento dos autores é que a mudança da política industrial a

partir do crescimento econômico para a proteção do ambiente é essencial para o futuro da China, que é atualmente a segunda maior potência econômica do mundo.

O estudo de Li, et. al. (2015) analisou a produtividade total dos fatores da economia marítima de 11 cidades da costa chinesa durante o período chamado "11º Plano De Cinco Anos", analisando comparativamente as diferenças regionais de eficiência econômica nestas áreas. Os resultados mostram que o nível global de eficiência de desenvolvimento da economia marítima das cidades costeiras da China não é alto. De acordo com a decomposição da PTF, a maioria das regiões possui uma distribuição de recursos urbana razoável, sendo o progresso da tecnologia o principal impulso para o desenvolvimento da economia das regiões marítimas.

Chen (2017) mediu a eficiência das regiões e municípios de Taiwan em quatro áreas: (1) desenvolvimento econômico, (2) segurança pública, (3) bem estar social e (4) educação, através da aplicação de um modelo multi-atividade de análise envoltória de dados (MADEA). O modelo também considera o índice de Malmquist-Luenberger a fim de analisar a produtividade das regiões ao longo do tempo. O autor analisou as variáveis de cada uma das quatro áreas estudadas de 20 regiões e municípios em Taiwan para o período 1999-2013. Foi encontrado que o departamento de segurança pública é o mais eficiente na maioria dos municípios no período 1999-2013, seguido pelo departamento de desenvolvimento econômico, em 2002-2005 e depois de 2009. Além disso, existem lacunas urbano-rurais de eficiência entre as regiões e municípios, e também entre o tipo de serviço e o tipo de não-serviço das regiões e municípios e entre as diferentes regiões. O autor descobriu que as fronteiras de produção do bem-estar social e departamentos de educação em regiões e municípios de Taiwan expandiram de forma contínua durante o período pesquisado, considerando as eficiências ao longo do tempo. Por fim, também foi encontrado que as diferenças urbano-rurais e as lacunas entre o tipo de serviço e o tipo de não-serviço das regiões e municípios existem em termos de mudanças tecnológicas e índices de produtividade Malmquist-Luenberger nos departamentos de bem-estar social e de ensino. As diferenças de mudanças tecnológicas na área existem em quatro departamentos e em geral, e contribuiu a fim de auxiliar tomadores de decisão no entendimento dos pontos fortes e fracos de cada região.

O estudo de Deilmann, et. al. (2016) analisou o desempenho econômico das cidades e as suas implicações sociais e ambientais, buscando quantificar as vantagens do desempenho do crescimento e do tamanho, enquanto se considera o impacto das economias de escala. Para

tal análise, os autores aplicaram a Análise Envoltória de Dados (DEA) a fim de estudar a eficiência dos recursos das cidades. Os dados utilizados foram resultados de uma pesquisa em 116 cidades da Alemanha, resultando em dois modelos distintos, um econômico e outro ecológico, a fim de permitir a identificação mais precisa da relevância dos parâmetros individuais durante o processo de avaliação. Os autores apresentaram os resultados na forma de um ranking de cidades acompanhado de uma matriz com a estimativa dos rateios de eficiência econômica e ecológica das cidades analisadas, a fim de compreender os fatores comuns que determinam o nível de eficiência, bem como aprender sobre a diferença qualitativa e características específicas das cidades nos quadrantes da matriz particulares.

Vennesland (2005) analisou a eficiência das cidades norueguesas que utilizaram os recursos do programa federal de suporte ao desenvolvimento rural, o chamado RDSS (*Rural Development Support Scheme*), um programa que visa ajudar a agricultura tradicional do país, já que é um setor estratégico tanto social quanto culturalmente. O autor utilizou o modelo DEA-CRS para a análise, adotando como *inputs*: (a) quantidade de recursos aplicada e (b) população do município; e como *outputs*: (1) renda e (2) empregos gerados pelo programa. Os resultados dos autores indicaram que das dezoito cidades analisadas, cinco foram eficientes.

Xinjian e Junhai (2011) avaliaram a eficiência do desenvolvimento econômico das 17 cidades da província de Shandong, na China utilizando *Principal Components Analysis* (PCA) e DEA-CRS. Nesse estudo, os autores selecionaram 16 indicadores a partir de aspectos envolvendo o total da economia, o comércio regional e finanças, bem como a qualidade de vida, a fim de montar um sistema de avaliação com 4 indicadores abrangentes. Os autores apontam que os resultados são razoáveis para validar a racionalização do sistema de indicador global. No Quadro 4 é apresentada uma compilação desses estudos citados acima:

Quadro 4- Trabalhos utilizando DEA como ferramenta de mensuração de eficiência regional

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Falavigna, Manello, Pavone, 2013	Eficiência de Políticas Agrícolas Regionais	Agricultura Italiana	DEA e Índice Malmquist	-	Área cultivada de cereais, arroz e oleaginosas		Input
					Área cultivada de frutas e vegetais		Input
					Área cultivada de alimentos		Input
					Produção de cereais, arroz e oleaginosas		Output
					Produção de frutas e vegetais		Output
					Produção de alimentos		Output
					Emissão de NHO3		output indesejável
Charles, Zegarra, 2014	Níveis de eficiência regionais	Competitividade Regional do Peru	DEA-BCC	Output	Economia	Tamanho	Output
						Crescimento	Output
						Exportações	Output
						Diversificação	Output
						Emprego	Output
					Firmas	Produtividade	Output
						Ambiente de Negócio	Output
						Habilidades gerenciais	Output
						Inovação	Output
						Geração de Emprego	Output
					Governo	Recursos	Output
						Autonomia	Output
						Gastos	Output
						Segurança	Output
						Justiça	Output
					Infraestrutura	Energia	Output
						Rede rodoviária	Output
						Transporte	Output
						Turismo	Output
						Comunicações	Output
					Pessoas	Educação escolar	Output
						Educação terciária	Output
						Treinamento profissional	Output
						Realizações educacionais	Output
						Saúde	Output

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Sueyoshi, Yuan, 2015	Desempenho regional	Sustentabilidade social em termos de desenvolvimento econômico e prevenção ambiental	DEA-CRS e VRS	<i>Input e output</i>	Produto Regional Bruto (GRP)		<i>Output desejável</i>
					Emissões diárias de PM10		<i>Output indesejável</i>
					Emissões diárias de SO ₂		<i>Output indesejável</i>
					Emissões diárias de NO ₂		<i>Output indesejável</i>
					População total		<i>Input</i>
					Investimento para prevenção de poluição		<i>Input</i>
					Consumo de eletricidade		<i>Input</i>
					Despesas finais das pessoas		<i>Input</i>
Li, et. al., 2015	Produtividade total dos fatores	Economia marítima de 11 cidades da costa chinesa	DEA-CRS e Índice Malmquist	<i>Input</i>	Pessoal empregado		<i>Input</i>
					Área de maricultura		<i>input</i>
					Descarte de Águas Residuais da Indústria		<i>input</i>
					Produto Bruto do setor marítimo		<i>output</i>
					Área de preservação de natureza marítima		<i>output</i>
Chen, et. al., 2017	Desempenho regional	Eficiência das áreas de desenvolvimento econômico, segurança pública, bem estar social e educação	MADEA	-	Desenvolvimento econômico	Despesas anuais com desenvolvimento econômico	<i>Input</i>
						Capital registrado total	<i>Input</i>
						Emprego total	<i>Input</i>
						Consumo total de energia	<i>Input</i>
						Renda regional	<i>Output desejável</i>
						Vendas	<i>Output desejável</i>
						Emissões de CO ₂	<i>Output indesejável</i>
						Número de autônomos	<i>Variável ambiental</i>

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Chen, et. al., 2017	Desempenho regional	Eficiência das áreas de desenvolvimento econômico, segurança pública, bem estar social e educação	MADEA	-	Segurança pública	Número total de crimes	Input
						Despesas anuais de policiamento	Input
						Número de processos criminais esclarecidos	Output desejável
						Número de casos de assaltos esclarecidos	Output desejável
						Número de crimes violentos esclarecidos	Output desejável
						População	Variável ambiental
					Bem estar social	Despesas anuais de assistência social	Input
						Número de trabalhadores sociais	Input
						Número de voluntários	Input
						Número de idosos beneficiários	Output desejável
						Montante de benefício pago aos idosos	Output desejável
						Deficientes mentais empregados	Output desejável
					Educação	Despesas com educação, ciência e cultura	Input
						Número de professores	Input
						População maior de 15 anos com ensino superior	Output desejável
						Número de empregados com ensino superior	Output desejável
						Número de alunos do ensino médio com deficiência visual	Output indesejável
					Inputs compartilhados	Emprego de funcionários executivos	Input
						Despesas anuais administrativas gerais	Input

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Deilmann, et. al., 2016	Desempenho econômico	Eco-eficiência regional da Alemanha	DEA-VRS e CRS	Input	Econômico	Área urbana/de tráfego	Input
						Superfície impermeabilizada	Input
						Valor bruto adicionado	Output
						Número de desempregados	Output
						Número de trabalhadores que pagam seguro social	Output
					Ecológico	Área urbana/de tráfego	Input
						Superfície impermeabilizada	Input
						Áreas recreativas	Output
						Volume de espaço verde nas áreas urbanas	Output
Vennesland, 2005	Eficiência do desenvolvimento econômico rural de municípios	Uso de recursos do programa federal norueguês de suporte ao desenvolvimento rural	DEA-CRS	Output	Quantidade de recursos aplicada		Input
					População municipal		Input
					Renda		Output
					Empregos gerados pelo programa		Output
Xinjian, Junhai, 2011	Eficiência do desenvolvimento econômico	Sistemas de indicadores de avaliação da eficiência do desenvolvimento econômico na província de Shandong - China	Principal Components Analysis (PCA) + DEA-CRS	Input e output	Economia Total	Investimento total de ativos fixos	Input
						Despesas orçamentais geral dos governos locais	Input
						Investimento estrangeiro utilizado real	Input
						Produto Interno Bruto	Output
						Valor adicionado da indústria primária	Output
						Valor adicionado da indústria secundária	Output
						Valor adicionado da indústria terciária	Output
						Receita orçamental geral dos governos locais	Output
					Comércio regional e finanças	Depósito de poupança em troca Renminbi e estrangeiros em instituições financeiras	Input
						Vendas totais de bens de consumo no varejo	Output
						Valor total de importação e exportação	Output
						Empréstimos em Renminbi e bolsas estrangeiras em instituições financeiras	Output

Autor	Análise	Contexto	Modelo	Orientação	Variáveis		Tipo de Variável
Xinjian, Junhai, 2011	Eficiência do desenvolvimento econômico	Sistemas de indicadores de avaliação da eficiência do desenvolvimento econômico na província de Shandong - China	Principal Components Analysis (PCA) + DEA-CRS	<i>Input e output</i>	Qualidade de vida	Receita líquida per capita dos residentes rurais	<i>Input</i>
						Rendimento disponível per capita dos residentes urbanos	<i>Input</i>
						Despesas de estar per-capita dos residentes rurais	<i>Output</i>
						Despesas de estar per-capita dos residentes urbanos	<i>Output</i>

Fonte - elaborado pelo autor com dados da pesquisa.

3. MÉTODO

3.1 Modelo proposto

O modelo proposto busca desenvolver um critério de mensuração da eficiência das microrregiões canavieiras do estado de São Paulo, sustentada pelos três pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. De acordo com a literatura, considerando os setores agropecuários, a eficiência pode ser medida utilizando *inputs* produtivos, como terra, capital, trabalho e outros insumos e *outputs* físicos ou monetários (Lopes, 2014). Segundo a autora, a realidade brasileira permite mensurar a eficiência dos setores agropecuários considerando as relações clássicas de capital e trabalho, sendo os *inputs* mais referenciados a mão-de-obra, área plantada, capital e insumos agrícolas, sendo esse último o mais crescente nos últimos anos. Como *output*, geralmente são utilizados a produção agropecuária, tanto em unidade física quanto monetária.

A fim de se atingir os objetivos propostos, serão construídos quatro modelos que, juntos, representarão o modelo representativo do sistema produtivo do setor sucroenergético. Para isso, foram considerados os pilares que englobam o conceito de sustentabilidade, ou seja, os pilares ambiental, econômico e social. Assim, cada um dos pilares representa um modelo, e a junção das variáveis dos três representa o modelo sustentável, formando os quatro modelos propostos: ambiental, econômico, social e sustentável. Optou-se, dessa forma, por considerar como *inputs* os indicadores de produção, ou seja, as variáveis que representem valores de trabalho, terra e capital, enquanto os *outputs* são referentes a cada um dos pilares da sustentabilidade, ou seja, as variáveis ambientais, econômicas e sociais. O modelo proposto nesse trabalho pode ser representado de acordo com o esquema apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Modelo Proposto de Análise da Eficiência Ambiental, Econômica e Social e Sustentável.

Fonte – elaborado pelo autor

3.1.1 Variáveis de pesquisa

A partir da literatura, foi possível selecionar uma cesta de variáveis que poderiam integrar a análise de eficiência, considerando a disponibilidade de dados e o maior período temporal.

Considerando o tripé da sustentabilidade, procurou-se incluir variáveis que representem os impactos do setor em cada um dos pilares. Em relação ao pilar ambiental, vários estudos recentes trataram dos impactos ambientais provocados pelo setor sucroenergético e de bioenergia, como os trabalhos realizados por Smeets et. al., (2008), Goldemberg, Coelho, Guardabassi (2008), Martinelli, Filoso (2008); Renouf, Wegener, Nielsen (2008) e Figueiredo, Scala (2011). Os principais impactos levantados foram em relação às emissões de CO₂, do uso da água e do desmatamento. Considerando a disponibilidade de dados, optou-se por considerar como uma variável da esfera ambiental as emissões de dióxido de carbono equivalente - CO_{2eq}, estimadas por meio das áreas colhidas com e sem uso do fogo, englobando todos os passos de manejo. As emissões foram calculadas baseando-se nos resultados do estudo de Figueiredo, Scala (2011).

Em relação ao pilar econômico, Bacchi, Caldareli (2015) apontam variáveis relacionadas aos aspectos de renda, tanto da remuneração da mão-de-obra quanto da remuneração da terra. Dessa forma, foram consideradas como variáveis econômicas a renda média mensal dos trabalhadores do cultivo da cana-de-açúcar, e a remuneração da área cultivada, ou seja, o valor da produção por hectare de cana plantada.

Já em relação ao pilar social, Martinelli, Filoso (2008); Macedo, Cipola, Ferreira (2010); Moraes (2011); Moraes, Oliveira, Diaz-Chavez (2015) sinalizam que questões relacionadas à mão-de-obra do setor sucroenergético pode ser um importante indicador dos seus impactos socioeconômicos. Buscou-se, então, utilizar variáveis que reflitam o impacto do setor ao nível social. Dessa forma, considerou-se novamente a variável renda média mensal dos trabalhadores do cultivo da cana-de-açúcar, que apesar de já estar relacionada ao pilar econômico, também desempenha um grande papel a nível social entre a mão-de-obra. Outra variável relacionada à mão de obra do setor considerada no modelo foi a escolaridade dos trabalhadores do cultivo da cana, calculada como uma relação entre o número de trabalhadores que possuem uma escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo e o número de trabalhadores do cultivo da cana que possuem uma escolaridade inferior ao ensino fundamental completo.

O universo da pesquisa se refere às microrregiões do estado de São Paulo⁷ que produzem cana-de-açúcar. Dessa forma, foram consideradas como regiões canavieiras as microrregiões do estado de São Paulo que possuíam pelo menos 1.000 hectares de área cultivada com cana-de-açúcar no ano de 2014. Assim, foram selecionadas as seguintes microrregiões: Adamantina, Andradina, Araçatuba, Araraquara, Assis, Auriflama, Avaré, Barretos, Batatais, Bauru, Birigui, Botucatu, Campinas, Catanduva, Dracena, Fernandópolis, Franca, Itapetininga, Ituverava, Jaboticabal, Jales, Jaú, Limeira, Lins, Marília, Moji Mirim, Nhandeara, Novo Horizonte, Ourinhos, Piracicaba, Pirassununga, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Rio Claro, São Carlos, São João da Boa Vista, São Joaquim da Barra, São José do Rio Preto, Tatuí, Tupã, Votuporanga.

Os dados considerados na pesquisa foram levantados por órgãos de pesquisa do estado de São Paulo e da União, relatórios técnicos e pesquisas científicas. Os dados relativos a produção de cana-de-açúcar, área plantada, área colhida e valor da produção são oriundos da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) realizada pelo IBGE (2017). Os dados referentes ao número de pessoas empregadas, salário e escolaridade estão disponíveis nas bases da Relação Anual de Informações Sociais e no Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (RAIS/CAGED) do MTE (2017). Os dados de custo de produção da cana-de-açúcar foram levantados pela equipe do Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (PECEGE/ESALQ/USP), nos relatórios apresentados à Confederação Nacional da Agricultura

⁷A relação dos municípios que compõem as Microrregiões, segundo a classificação do IBGE é apresentada no ANEXO.

e Pecuária do Brasil (CNA) como parte integrante do projeto “Campo Futuro”, e disponíveis em Marques et. al. (2009); Xavier et. al. (2009) e Pecege (2010-2015). Os dados relativos às porcentagens da área de cana-de-açúcar colhida com e sem o uso do fogo foram levantadas pelo Projeto Canasat e disponibilizados por Aguiar et. al. (2011), e os dados de emissões de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) foram calculadas e disponibilizadas por Figueiredo, Scala (2011). Todas as variáveis compreenderam os anos de 2007 a 2014.

No Quadro 5 são apresentadas as variáveis consideradas no modelo, incluindo a mensuração e a fonte de cada variável.

Quadro 5 - Apresentação das variáveis do modelo.

Dimensão	Tipo de Variável	Variável	Mensuração da Variável	Fontes
Trabalho	<i>Input</i>	Pessoas empregadas	Número de pessoas empregadas no cultivo da cana-de-açúcar / Produção de cana (mil toneladas)	RAIS/CAGED - MTE, 2017; PAM - IBGE, 2017
Terra	<i>Input</i>	Área plantada	Área plantada (ha) / Produção de cana (mil toneladas)	PAM - IBGE, 2017
Capital	<i>Input</i>	Custo de produção	Custo operacional total real (em 2014 R\$) / Produção de cana (mil toneladas)	MARQUES, ET. AL. (2009); XAVIER, ET. AL. (2009); PECEGE (2010-2015); PAM - IBGE, 2017
Ambiental	<i>Output Indesejável</i>	Emissões de CO2	Emissões de kg CO2 equivalente da área colhida de cana-de-açúcar / Área colhida (ha)	AGUIAR ET. AL. (2011); PAM - IBGE, 2017; FIGUEIREDO, SCALA (2011)
Econômico	<i>Output</i>	Valor da produção	Valor real (em 2014 R\$) da produção de cana-de-açúcar / Área plantada (ha)	PAM - IBGE, 2017
Econômico/ Social	<i>Output</i>	Salário médio	Salário mensal real (em 2014 R\$) das pessoas empregadas no cultivo da cana-de-açúcar / Número de pessoas empregadas no cultivo da cana-de-açúcar	RAIS/CAGED - MTE, 2017
Social	<i>Output</i>	Escolaridade	Número de pessoas empregadas com ensino fundamental completo ou mais / Número de pessoas empregadas com 6º a 9º fundamental ou menos	RAIS/CAGED - MTE, 2017

Fonte - elaborado pelo autor.

3.1.1.1. Inputs do modelo

A seguir é apresentada uma descrição de cada uma das variáveis de *input* adotadas no modelo. Optou-se por balancear as variáveis de *input* para evitar que um valor de *input* muito alto ou muito baixo interfira na eficiência de determinada microrregião. Dessa forma, as

variáveis de trabalho, terra e capital foram divididas pela quantidade de cana produzida em cada microrregião, conforme mostrado na descrição de cada uma delas:

3.1.1.1.1. Trabalho

a) Pessoas Empregadas

Essa variável é medida pelo número total de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar sobre a quantidade de cana produzida (em mil toneladas) em cada ano. Os dados sobre o número de empregados foram coletados do banco de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) fornecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)⁸, enquanto os dados de quantidade de cana produzida é disponibilizado pela Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pode ser representado pela Equação 1:

$$PE_j^i = \frac{PET_j^i}{PCT_j^i} \quad (1)$$

Onde:

PE_j^i é o número de pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana-de-açúcar por tonelada de cana-de-açúcar produzida no ano i na microrregião j ;

PET_j^i é o número total de pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana-de-açúcar no ano i na microrregião j ;

PCT_j^i é a quantidade de cana-de-açúcar produzida (em toneladas) no ano i na microrregião j .

O número total de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos de 2007 a 2014 pode ser verificado na Figura 6:

⁸Os dados da RAIS/MTPS relacionados aos trabalhadores do setor sucroenergético foram selecionados de acordo com a classificação CNAE 2.0 (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) das atividades econômicas pertencentes ao setor. Dessa forma, para determinar o número de trabalhadores foi considerado o código CNAE subclasse 0113-0 (Cultivo de cana-de-açúcar).

Figura 6 - Total de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2014.

Fonte – RAIS/MTE (2017)

3.1.1.1.2. Terra

b) Área

Refere-se ao valor de área plantada (ha) sobre a quantidade de cana produzida (em mil toneladas), ambos fornecidos pela base de dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). É representada pela equação 2:

$$AP_j^i = \frac{APT_j^i}{PC_j^i} \quad (2)$$

Onde:

AP_j^i é a área plantada de cana-de-açúcar (em hectares) por tonelada de cana-de-açúcar produzida no ano i na microrregião j ;

APT_j^i é a área total plantada de cana-de-açúcar (em hectares) no ano i na microrregião j ;

PC_j^i é a quantidade de cana-de-açúcar produzida (em toneladas) no ano i na microrregião j .

Os valores de área plantada com lavoura de cana-de-açúcar nas microrregiões selecionadas entre os anos de 2007 e 2014 pode ser verificada na Figura 7:

Figura 7 - Área plantada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 (em mil hectares).

Fonte – IBGE (2017)

Optou-se pelo uso da área plantada de cana-de-açúcar por ela representar o uso do solo por esta cultura, ou seja, a área em lavoura dessa atividade. Caso optasse pela área colhida, corria-se o risco de não alcançar toda a área dispendida para a produção de cana, pois não inclui as áreas de cana em plantio e em reforma⁹.

3.1.1.1.3. Capital

c) Custo de Produção

Essa variável foi estimada considerando o Custo Operacional Total – COT real em R\$/t/ano, em valores de 2014, referentes ao estado de São Paulo. Esse valor é levantado pela equipe de custos de produção do Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (PECEGE), da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), em parceria com a Confederação Nacional da Agricultura (CNA). O cálculo dessa variável pode ser representado pela Equação 3:

⁹ O plantio e reforma da cana pode ser feito utilizando o sistema chamado “ano e meio”. Nesse sistema, a lavoura de cana-de-açúcar somente será colhida após passar um ano e meio do seu plantio. Além disso, após a reforma do canavial, a área geralmente é cultivada com alguma cultura de verão antes do novo plantio de cana-de-açúcar, como soja ou amendoim (RUDORFF, et. al., 2005). Dessa forma, o intervalo entre a última colheita antes da reforma e a primeira colheita após o plantio será de dois anos.

$$CP_j^i = [(COT_j^i \text{cana usina} \times \%usina_j^i) + (COT_j^i \text{cana forn} \times \%forn_j^i)] \quad (3)$$

Onde:

CP_j^i corresponde ao custo de produção (R\$, em valores de 2014) por tonelada de cana-de-açúcar produzida no ano i na microrregião j ;

$COT_j^i \text{cana usina}$ é o custo operacional total (R\$, em valores de 2014) por tonelada de cana-de-açúcar produzida no ano i na microrregião j correspondente à cana produzida pela usina;

$\%usina_j^i$ é a participação da cana produzida pela usina no ano i na microrregião j ;

$COT_j^i \text{cana forn}$ é o custo operacional total (R\$, em valores de 2014) por tonelada de cana-de-açúcar produzida no ano i na microrregião j correspondente à cana produzida por fornecedor;

$\%fornec_j^i$ é a participação da cana produzida por fornecedor no ano i na microrregião j ;

O custo operacional total calculado pelo PECEGE considera os custos com plantio, tratamentos culturais, colheita, administrativos e outros (MARQUES, 2009). A metodologia de cálculo adotada pela instituição também considera a diferença de custos entre o sistema adotado pela usina e o adotado por fornecedores¹⁰, por essa razão, no cálculo da variável custo de produção considera-se uma média ponderada do Custo Operacional Total (COT) dos dois sistemas.

O custo de produção médio do Estado de São Paulo (em R\$ de 2014) por tonelada de cana-de-açúcar produzida correspondente aos anos analisados é apresentado pela Figura 8.

¹⁰ O PECEGE considera que os sistemas de produção de cana-de-açúcar da usina e dos fornecedores são diferentes, considerando os termos de produtividade, escala de produção, uso de subprodutos industriais como fertilizantes por parte da usina, época de colheita e configuração administrativa (MARQUES, 2009). Por essa razão, no cálculo do CT considera-se uma média ponderada do COT dos dois sistemas.

Figura 8 - Custo de produção médio real de cana-de-açúcar no estado de São Paulo de 2007 a 2014 (em R\$ de 2014)

Fonte – MARQUES, 2009; XAVIER, 2009; PECEGE, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015.

3.1.1.2. *Outputs* do modelo

Em relação aos *outputs*, foram consideradas variáveis econômicas, ambientais e sociais, de acordo com a disponibilidade de informações e relevância ao tema estudado:

3.1.1.2.1. Variável ambiental

a) Emissões de CO₂ eq

A partir dos dados disponibilizados pelo Projeto Canasat o primeiro passo foi calcular as quantidades de área de cana-de-açúcar colhida tanto com o uso do fogo quanto sem o uso de fogo, seguindo a metodologia proposta por Aguiar et.al. (2011). Segundo Figueiredo e Scala (2011), as emissões resultantes da colheita da cana queimada são de 3,104 toneladas de dióxido de carbono equivalente¹¹ por hectare por ano ($\text{CO}_{2\text{eq}} \cdot \text{há}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$), enquanto as emissões decorrentes da colheita da cana crua são de 1,620 toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}} \cdot \text{há}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$, já considerando o balanço de emissões decorrentes das atividades agrícolas. Dessa forma, foi possível estimar as emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ provenientes das áreas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo colhidas tanto com o emprego de fogo quanto sem uso do fogo em cada ano. A Equação 4 que representa essa variável é apresentada a seguir:

¹¹ Figueiredo e Scala (2011) consideraram como emissões de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), – dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) – convertidos em equivalente CO_2 . Essas emissões são resultantes das práticas agrícolas de queima de resíduos da cana-de-açúcar; das emissões diretas e indiretas de N_2O provenientes do uso de fertilizante sintético nitrogenado, compostos orgânicos e resíduos da cultura; da aplicação de calcário e do uso de combustíveis fósseis. Além disso, foi considerado o potencial de sequestro de carbono do solo das áreas de colheita de cana crua.

$$ECO2_j^i = (Aq_j^i * 3,104) + (Ac_j^i * 1,620) \quad (4)$$

Onde:

$ECO2_j^i$ é o valor das emissões de CO_{2eq} provenientes do processo de colheita da cana-de-açúcar no ano i pela microrregião j

Aq_j^i corresponde à área colhida de cana-de-açúcar (em hectares) com uso do fogo no ano i pela microrregião j

Ac_j^i corresponde à área colhida de cana-de-açúcar (em hectares) sem uso do fogo no ano i pela microrregião j

As emissões médias de CO_{2eq} das áreas colhidas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 são apresentadas pela Figura 9:

Figura 9 - Média de emissões de CO_{2eq} das áreas colhidas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 (em kg CO_{2eq}/ha).

Fonte – Elaborado pelo autor com dados de Aguiar et.al. (2011) e Figueiredo e Scala (2011).

Contudo, essa variável se caracteriza como uma variável indesejável, pois espera-se que as emissões de CO_{2eq} sejam do tipo “quanto menor, melhor”. Para evitar o problema de maximizar as variáveis indesejáveis, Seiford e Zhu (2002) sugerem uma técnica que eles chamam de transformação monotônica decrescente, também chamada de multiplicativa inversa. Nessa técnica, os valores dos outputs indesejados são transformados no inverso do

seu valor, de modo que $f_k^u(U) = 1/u_i^k$. Assim, a variável emissões de CO_{2eq} será minimizada ao invés de ser maximizada.

3.1.1.2.2. Variáveis econômicas:

Optou-se por utilizar duas variáveis para a dimensão econômica, pois cada uma tem sua importância no impacto da atividade à sociedade: a primeira em relação à remuneração do detentor da terra, que é remunerado de acordo com sua área destinada ao plantio, e a segunda em relação à remuneração da força de trabalho das pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana-de-açúcar. As variáveis são apresentadas a seguir:

b) Valor da produção

Essa variável foi calculada com base no valor da produção real (R\$, em valores de 2014) sobre a área plantada de cana (ha), ambas disponibilizadas pela Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sua representação é dada em R\$ por hectare, e apresentada pela Equação 5:

$$VP_j^i = \frac{VPT_j^i}{APT_j^i} \quad (5)$$

Onde:

VP_j^i é o valor médio da produção de cana-de-açúcar (em R\$ de 2014 por hectare) produzida no ano i na microrregião j

VPT_j^i corresponde ao valor total da produção de cana-de-açúcar (em R\$ de 2014) produzida no ano i na microrregião j

APT_j^i corresponde ao total de área cultivada com cana-de-açúcar (ha), no ano i na microrregião j

Os dados de valor médio real da produção por tonelada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 são apresentados pela Figura 10.

Figura 10 - Valor médio real da produção por tonelada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014 (em R\$/ha de 2014).

Fonte – IBGE (2017)

c) Salário Médio

A variável salário médio foi calculada utilizando os dados da Relação Anual de Informações Sociais – RAIS, fornecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego – MTE. Para calculá-la, foram utilizados os dados de salário real (R\$, em valores de 2014)¹² das pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana-de-açúcar (CNAE subclasse 0113-0) e o número de pessoas empregadas na mesma atividade, de acordo com a Equação 6:

$$SM_j^i = \frac{ST_j^i}{PET_j^i} \quad (6)$$

Onde:

SM_j^i é o salário médio (em R\$ de 2014) por pessoa empregada no ano i na microrregião j

ST_j^i é o salário total (em R\$ de 2014) recebido pelas pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana-de-açúcar no ano i na microrregião j

¹² As variáveis monetárias foram inflacionadas ao ano base de 2014 considerando o Índice de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA, divulgado pelo IBGE (2017)

PET_j^i é o número total de pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana-de-açúcar no ano i na microrregião j

A Figura 11 mostra o salário médio real das pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos 2007 e 2014.

Figura 11 - Salário médio real das pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos de 2007 e 2014 (em R\$ de 2014).

Fonte – RAIS/MTE (2017)

A variável salário médio além de ser uma variável econômica, também pode ser classificada como uma variável social, pois além de ser a renda do trabalhador e refletir o seu poder de compra, ela também determina o nível de acesso do trabalhador a bens e serviços, impactando em seu bem-estar social.

3.1.1.2.3. Variáveis sociais:

d) Salário Médio

Conforme explicado no tópico anterior (3.1.1.1.2.c), a variável salário médio foi adotada tanto como uma variável econômica quanto uma variável social. Sua representação segue a descrição do tópico citado.

e) Escolaridade (IE)

Essa variável foi calculada na forma de um índice, através do número de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar (CNAE subclasse 0113-0) com escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo sobre o número de pessoas empregadas na mesma atividade com escolaridade inferior ao ensino fundamental completo. Tais informações estão disponíveis no banco de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) fornecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A variável de escolaridade pode ser descrita através da Equação 7:

$$IE_j^i = \frac{FC_j^i}{FI_j^i} \quad (7)$$

Onde:

IE_j^i corresponde ao índice de escolaridade das pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar (CNAE subclasse 0113-0) no ano i na microrregião j

FC_j^i é o número total de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar (CNAE subclasse 0113-0) no ano i na microrregião j com escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo

FI_j^i é o número total de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar (CNAE subclasse 0113-0) no ano i na microrregião j com escolaridade inferior ao ensino fundamental completo

Os dados referentes ao número de pessoas empregadas em cada uma das categorias de escolaridade são apresentados nas Figuras 12 e 13. De acordo com essas informações, é possível notar a expressiva redução de uma maneira geral no número de pessoas empregadas na mesma atividade com escolaridade inferior ao ensino fundamental completo. Já em relação ao número de pessoas empregadas na atividade com escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo, percebe-se que de maneira geral se manteve constante, sendo relevante a redução do número de pessoas com ensino fundamental completo ao mesmo tempo que há um aumento no número de pessoas com ensino médio completo.

Figura 12 - Número de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo em cada uma das categorias de escolaridade inferior ao ensino fundamental completo.

Fonte – RAIS/MTE (2017)

Figura 13 - Número de pessoas empregadas no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo em cada uma das categorias de escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo.

Fonte – RAIS/MTE (2017)

Na Figura 14 podemos notar os efeitos do menor número de pessoas empregadas na atividade de cultivo de cana com escolaridade inferior ao ensino fundamental completo sobre o número daqueles que possuem escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo.

Figura 14 - Relação percentual entre as pessoas empregadas no estado de São Paulo com escolaridade inferior ao ensino fundamental completo e aquelas com escolaridade igual ou superior ao ensino fundamental completo.

Fonte – RAIS/MTE (2017)

3.1.2. Análise das variáveis

Os dados utilizados são caracterizados por serem não probabilísticos, pois partem de um universo naturalmente restrito, considerando que foram selecionadas todas as Microrregiões produtoras de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, que representam as DMUs do modelo. O sumário estatístico das variáveis é apresentado na Tabela 2:

Tabela 2- Sumário estatístico das variáveis

Dimensão	Variável	Número de Observações	Média	Desv. Pad.	Mínimo	Máximo
Trabalho	Pessoas empregadas	328	0,53	0,46	0,01	2,67
Terra	Área plantada	328	12,39	1,20	8,17	17,30
Insumo	Custo de produção	328	65.685,16	6.871,94	56.448,17	74.787,02
Ambiental	Emissões de CO2	328	2.145,78	236,85	1.686,98	2.723,31
Econômico	Valor da produção	328	4.173,08	814,98	2.069,63	7.327,49
Econômico/Social	Salário médio	328	1.514,61	294,37	728,51	2.450,07
Social	Escolaridade	328	0,87	0,89	0,13	11,20

Fonte - elaborado pelo autor.

A fim de verificar se a quantidade de variáveis utilizadas no modelo é satisfatória, foi utilizada a *trumbrule*, também chamada de regra do dedão. De acordo com essa regra, o número de DMUs deve ser representado por $n \geq \max\{3(m + s), m * s\}$, onde n é o número de DMUs, m é o número de *inputs* e s é o número de *outputs* (Cooper, Sieford e Tone, 2007 e Toloo e Tichý, 2015). Dessa forma, número de DMUs do modelo proposto deveria ser $n \geq \max\{3(3 + 4), 3 * 4\}$, ou seja, $n \geq 21$. Dado que o modelo tem 41 DMUs, então o número de DMUs do modelo é satisfatório. Contudo, essa regra não tem validade estatística, devendo ser utilizada somente como um indicador conveniente (Cook, Tone e Zhu, 2014).

Optou-se também por analisar as variáveis através da análise da matriz de correlação, que é apresentada pela Tabela 3:

Tabela 3- Matriz de correlação das variáveis utilizadas no modelo.

	Pessoas empregadas	Área plantada	Custo de Produção	Emissões CO ₂	Valor da Produção	Salário Médio	Escolaridade
Pessoas empregadas	1,000						
Área plantada	-0,200* (0.000)	1,000					
Custo de produção	-0,222* (0.000)	0,331* (0.000)	1,000				
Emissões de CO ₂	0,485* (0.000)	-0,357* (0.000)	-0,606* (0.000)	1,000			
Valor da produção	0,019***** (0.729)	-0,274* (0.000)	0,380* (0.000)	-0,179** (0.001)	1,000		
Salário médio	0,225* (0.000)	0,086***** (0.119)	0,442* (0.000)	-0,444* (0.000)	0,245* (0.000)	1,000	
Escolaridade	-0,458* (0.000)	0,236* (0.000)	0,368* (0.000)	-0,509* (0.000)	0,130*** (0.019)	0,151** (0.006)	1,000

Obs: Nível de significância: * 0,001; ** 0,01; *** 0,05; **** 0,1; ***** não significante.

Fonte - elaborado pelo autor.

Uma análise preliminar da matriz de correlação demonstra que a variável “pessoas empregadas” apresenta uma correlação positiva significativa a nível de 0,1% de significância com a variável “emissões de CO₂” e uma correlação negativa também significativa a nível de 0,1% de significância com a variável “escolaridade”. Uma hipótese para esse fato pode ser a

mecanização da colheita de cana-de-açúcar, pois ao passo que houve uma redução no número de pessoas empregadas na atividade, houve também uma redução nas emissões de CO₂, enquanto a escolaridade relativa aumentou. É importante notar as correlações negativas significativas entre a variável de emissões de CO₂ com escolaridade, salário médio e custo de produção. Nota-se também a baixa correlação entre escolaridade e salário médio, levantando a hipótese de que elas não estejam contribuindo mutuamente, ou seja, o salário médio não está sendo uma resposta à escolaridade relativa maior e vice-versa. Por fim, destaca-se as correlações positivas significativas entre o custo de produção e salário médio e valor da produção. Uma hipótese para isso é a de que o custo de produção, por ser uma variável relacionada à quantidade produzida e o salário médio uma variável relacionada ao número de trabalhadores e o valor da produção à área plantada, tais correlações indicam uma melhora nos índices de produtividade tanto agrícola quanto de mão-de-obra, que deverá ser melhor aprofundada com a análise do Índice Malmquist.

3.1.3. Validação dos dados dos modelos de DEA

As análises econométricas foram utilizadas a partir de três óticas: ambiental, econômica e social. Foi utilizada uma função de produção Cobb-Douglas modificada, conforme demonstrado pela Equação 8:

$$Y = F(K, L, A) = K^{\alpha} L^{\beta} A^{\gamma} \quad (8)$$

Onde:

Y é o produto

K é o insumo

L é o trabalho

A é a terra

Nesse modelo, K é representado pelo custo de produção, que corresponde ao dispêndio monetário necessário para manter a atividade, L é representado pelo número de pessoas empregadas, que corresponde à força de trabalho empregada e A é representada pela área plantada, que corresponde à área ocupada pela lavoura de cana-de-açúcar, ou seja, o uso da terra por essa cultura. Considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais da análise, os produtos são representados pelas emissões de CO₂, pelo valor da produção, pelo salário

médio e pela escolaridade dos trabalhadores. Sendo assim, foram estimadas quatro equações para o modelo econométrico, conforme demonstrado pelas Equações 9, 10, 11 e 12:

$$\ln Y_{\text{ambiental}} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln K + \alpha_2 \ln L + \alpha_3 \ln A + \varepsilon \quad (9)$$

$$\ln Y_{\text{econômico}} = \beta_0 + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln A + \varepsilon \quad (10)$$

$$\ln Y_{\text{econ/social}} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln K + \gamma_2 \ln L + \gamma_3 \ln A + \varepsilon \quad (11)$$

$$\ln Y_{\text{social}} = \delta_0 + \delta_1 \ln K + \delta_2 \ln L + \delta_3 \ln A + \varepsilon \quad (12)$$

Onde:

$\alpha_n, \beta_n, \gamma_n, \delta_n$ ($n = 0, \dots, 3$) são os coeficientes estimados

$Y_{\text{ambiental}}$ é a emissão de CO₂

$Y_{\text{econômico}}$ é o valor da produção

$Y_{\text{econ/social}}$ é o salário médio do setor

Y_{social} é a relação de trabalhadores com pelo menos o ensino fundamental completo sobre os trabalhadores com ensino fundamental incompleto ou analfabetos

K é o custo de produção

L é o número pessoas empregadas por tonelada de cana

A é a área plantada com cana-de-açúcar

Os modelos foram estimados com dados configurados em painel, considerando a transformação dos valores das variáveis em logaritmos naturais, a fim de se obter a sua elasticidade. A estimativa dos modelos foi realizada através do software estatístico Stata® 12.1, considerando os métodos de Mínimos Quadrados Ordinários – MQO e Mínimos Quadrados Generalizados Factíveis – MQGF. Esse método permite a estimativa do modelo com as correções da presença de autocorrelação dentro de painéis e correlação transversal e heterocedasticidade em painéis.

3.1.4. Aplicação do método DEA

O método DEA mostra qual o nível de eficiência de uma DMU, de acordo com seus *inputs* e *outputs*, em relação às outras DMUs. Desse método, resulta um indicador que varia de zero a um, sendo que somente as DMUs que obtiverem um índice de eficiência igual a um são efetivamente eficientes. O modelo pode ser reescrito incluindo as variáveis, conforme a Figura 15:

Figura 15 - Modelo proposto de análise de eficiência Ambiental, Econômica, Social e Sustentável considerando as variáveis.

Fonte – elaborado pelo autor

O modelo considerado nesse trabalho é o DEA-BCC orientado aos *outputs*. De acordo com Coelli et. al. (2005), não é recomendado utilizar o modelo CCR em mercados que possuem algum grau de imperfeição ou sejam regulamentados, pois as eficiências técnicas e de escala podem se confundir. O mercado sucroenergético é desregulamentado no Brasil desde 1999, conforme Moraes (2000), porém, possui grandes variações de tamanho entre as regiões do estado de São Paulo. Dessa forma, para esses tipos de mercado deve-se considerar as variações de escala no modelo, e o modelo BCC cumpre com essa exigência.

Assim, é possível escrever o modelo em linguagem matemática, de acordo com a Equação 13:

$$\min E_0 = \frac{\sum v_i x_{i0}}{\sum u_j y_{j0}} - w \quad (13)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum v_i x_{ik}}{\sum u_j y_{jk}} \geq 1, k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

$$u_j, v_i \geq \varepsilon, \forall j, i \quad (15)$$

Onde:

x_i é a quantidade do *input* i

y_j é a quantidade do *output* j

v_i é a utilidade (peso) do *input* i

u_j é a utilidade (peso) do *output* j

w é a variável de escala

ε é um número não-arquimediano (muito próximo de zero)

Nesse modelo, a eficiência é calculada como sendo o inverso da função objetivo, ou seja, a eficiência é igual a $1/E$. Como nesse estudo busca-se o máximo da eficiência econômica e social, dados os *inputs* disponíveis, busca-se também os pontos ótimos de utilização dos *inputs* de cada microrregião, por isso sua orientação ao *output*. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) afirmam que esse é um problema fracionário de difícil solução, mas que pode ser resolvido se transformado em uma função linear quando se considera que o denominador da função objetivo é igual a um. Esse tipo de problema é chamado de problema dos multiplicadores. Assim, o modelo pode ser representado pela Equação 16:

$$\min E_0 = \sum_{j=1}^n v_j x_{ij} - w \quad (16)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{i0} = 1 \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{ij} - \sum_{j=1}^n v_j x_{ij} + w \leq 0, \text{ para } k = 1, 2, \dots, z \quad (18)$$

$$u_i \text{ e } v_j \geq \varepsilon \quad (19)$$

w sem restrição de sinal

Considerando que os dados das DMUs estão dispostos ao longo de uma série histórica, ou seja, são dados em painel, pode-se realizar a análise da eficiência das DMUs por meio da análise de janela (*window analysis*) a fim de incluir o fator tempo dentro da análise. A análise de janela possui uma ideia semelhante à de médias móveis. De acordo com Cooper, Seiford e Tone (2007), a análise de janela consiste em múltiplas aplicações do DEA com DMUs de vários anos juntos. Segundo os autores, uma janela é composta por k observações de n DMUs, que na aplicação do DEA serão consideradas como k diferentes DMUs, se repetindo em cada troca de períodos, sendo k o número de períodos e n o número de DMUs. Assim, de acordo com os autores, pode-se calcular a amplitude da amostra, o número de janelas e o número de DMUs por janela a partir das Equações 20, 21 e 22, respectivamente:

$$p = \frac{k+1}{2} \quad (20)$$

$$w = k - p + 1 \quad (21)$$

$$d = n * p \quad (22)$$

Onde:

p é a amplitude da amostra

k é o número de períodos

w é o número de janelas

d é o número de DMUs por janela

n é o número de DMUs

O modelo proposto está disposto em dados em painel, sendo 41 microrregiões ao longo de 8 anos (2007 – 2014), ou seja, $n = 41$ e $k = 8$. Assim, conforme apresentado, o modelo proposto foi composto por 4 janelas ($w = 8 - 5 + 1 = 4$), com amplitude de 5 anos por janela ($p = \frac{8+1}{2} = 4,5 \cong 5$), totalizando 205 DMUs em cada janela ($d = 41 * 5 = 205$). O horizonte temporal das janelas é apresentado no Quadro 6:

Quadro 6 - Apresentação do horizonte temporal das janelas do modelo.

Janela	Amplitude
1	2007 - 2011
2	2008 - 2012
3	2009 - 2013
4	2010 - 2014

Para medir as mudanças de produtividade total dos fatores (PTF) Cooper, Seiford e Tone (2007) sugerem o uso de uma ferramenta intertemporal, o Índice Malmquist-DEA. Esse índice é formado pelo produto de dois sub-índices: o índice de mudança tecnológica e o índice de mudança de eficiência técnica, sendo o primeiro a mensuração do deslocamento da fronteira de eficiência e o segundo a amplitude da eficiência das DMUs em dois períodos.

O Índice Malmquist (IM) pode ser representado de acordo com a Equação 23:

$$IM_0 = \sqrt{\frac{d_0(x^t, y^t)}{d_0(x^0, y^0)} \frac{d_t(x^t, y^t)}{d_t(x^0, y^0)}} \quad (23)$$

Para valores de $IM_0 > 1$ indicam aumento da PTF e para valores $IM_0 < 1$ sinalizam para um decréscimo da PTF.

O índice pode ser decomposto a fim de se obter os efeitos de mudança tecnológica (AT) e de mudança de eficiência produtiva (AE), respectivamente pelas Equações 24 e 25:

$$AT_0 = \frac{d_t(x^t, y^t)}{d_0(x^0, y^0)} \quad (24)$$

$$AE_0 = \sqrt{\frac{d_0(x^t, y^t)}{d_t(x^t, y^t)} \frac{d_0(x^0, y^0)}{d_t(x^0, y^0)}} \quad (25)$$

Assim, é possível alcançar o objetivo proposto pelo trabalho, de modo a calcular e encontrar as eficiências econômicas, sociais, ambientais e sustentáveis das regiões canavieiras de cada uma das microrregiões do Estado de São Paulo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados da Análise Econométrica

Para a análise econométrica foram utilizados os dados em painel das 41 microrregiões do estado de São Paulo definidas como regiões canavieiras ao longo dos anos de 2007 a 2014, a fim de modelar matematicamente as variáveis envolvidas na análise DEA e verificar o nível de contribuição das variáveis de *input* a cada uma das variáveis de *output*.

4.1.1. Resultados da regressão para o modelo ambiental

Nesse modelo foi estimada a função que considera as emissões de CO_{2eq} como variável dependente e as variáveis de trabalho, terra e capital como variáveis independentes. Nessa função, quanto menor forem as emissões de CO_{2eq}, melhor será o modelo ambiental. Os resultados obtidos com a estimativa do modelo ambiental são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Resultados das estimativas do modelo ambiental.

Variável Dependente: Emissões de CO _{2eq}		
	MQO	MQGF
Intercepto	13,528* (0.000)	10,944* (0.000)
Custo de Produção	-0,490* (0.000)	-0,261* (0.000)
Área plantada	-0,223* (0.000)	-0,209* (0.000)
Pessoas empregadas	0,038* (0.000)	0,041* (0.000)
R ²	0,314	-
Wald Chi ² (gl) ou F(gl)	390,370 (0.000)	224,860 (0.000)

Obs: Nível de significância: * 0,001; ** 0,01; *** 0,05; **** 0,1; ***** não significante.

A partir dos resultados apresentados, podemos notar que todas as variáveis apresentaram significância a 99,9%, tanto para o modelo MQO quanto para o modelo MQGF, que é robusto à autocorrelação e à heterocedasticidade. Dessa forma, podemos considerar todas as variáveis válidas para o cálculo das eficiências utilizando DEA.

As variáveis independentes custo de produção e área plantada possuem relação positiva com a variável dependente emissões de CO₂, enquanto a variável independente pessoas empregadas possui relação positiva. A variável custo de produção foi a que

apresentou maior impacto às emissões de CO₂ nos dois modelos, assim, pelo valor do parâmetro ser negativo, quanto maior o custo de produção, menor é o valor das emissões de CO₂.

4.1.2. Resultados da regressão para o modelo econômico

No modelo econômico foi estimada uma função considerando como variável dependente o valor da produção, e como variáveis independentes as variáveis representativas de trabalho, terra e capital. Os resultados da regressão são apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 - Resultados das estimativas do modelo econômico.

Variável Dependente: Valor da Produção		
	MQO	MQGF
Intercepto	-0,710***** (0.440)	0,981***** (0.219)
Custo de Produção	1,037* (0.000)	0,874* (0.000)
Área plantada	-0,993* (0.000)	-0,937* (0.000)
Pessoas empregadas	0,009***** (0.423)	0,003***** (0.616)
R ²	0,129	-
Wald Chi ² (gl) ou F(gl)	184,250 (0.000)	219,800 (0.000)

Obs: Nível de significância: * 0,001; ** 0,01; *** 0,05; **** 0,1; ***** não significante.

Os resultados demonstram que as variáveis custo de produção e área plantada são significativas a 99,9%, enquanto a variável pessoas empregadas é não-significante para os dois modelos. Contudo, como o objetivo do estudo é estimar a eficiência das regiões canavieiras considerando as variáveis de trabalho, terra e capital, na aplicação do modelo DEA essa variável será mantida. Das variáveis significativas, nos dois modelos a variável custo de produção possui relação positiva com a variável dependente - valor da produção - enquanto a variável área plantada possui relação negativa.

4.1.3. Resultados da regressão para o modelo econômico/social

O modelo econômico social considerou como variável independente a variável salário médio. Essa variável é um output tanto do modelo econômico quanto do modelo social na aplicação do método DEA, por isso na análise econométrica é representante do modelo

econômico/social. Os resultados das estimativas da função desse modelo são apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Resultados das estimativas do modelo econômico/social.

Variável Dependente: Salário Médio		
	MQO	MQGF
Intercepto	-2,499** (0.003)	1,202***** (0.107)
Custo de Produção	0,834* (0.000)	0,526* (0.000)
Área plantada	0,186*** (0.044)	0,048***** (0.471)
Pessoas empregadas	0,024*** (0.033)	0,040* (0.000)
R ²	0,191	-
Wald Chi ² (gl) ou F(gl)	154,980 (0.000)	71,970 (0.000)

Obs: Nível de significância: * 0,001; ** 0,01; *** 0,05; **** 0,1; ***** não significante.

De acordo com os resultados apresentados, todas as variáveis independentes do modelo MQO foram significativas ao nível de 95%, enquanto no modelo MQGF todas foram significativas ao nível de 99,9%, com exceção da variável Área plantada, que foi não significante. Para o efeito de análise via método DEA todas as variáveis foram consideradas no modelo. Além disso, todas as variáveis apresentaram relação positiva com a variável salário médio, sendo que o parâmetro da variável Salário Médio foi o maior para os dois modelos.

4.1.4. Resultados da regressão para o modelo social

O modelo social contou com a variável Indicador de escolaridade como sendo a variável dependente da sua função, enquanto as variáveis independentes do modelo foram representadas pelo trabalho, área e capital. Os resultados de suas estimativas são apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 - Resultados das estimativas do modelo social.

Variável Dependente: Indicador de escolaridade		
	MQO	MQGF
Intercepto	-15,302* (0.000)	-5,923** (0.003)
Custo de Produção	1,686* (0.000)	0,857* (0.000)
Área plantada	0,705*** (0.011)	0,620** (0.004)
Pessoas empregadas	-0,280* (0.000)	-0,284* (0.000)
R ²	0,187	-
Wald Chi ² (gl) ou F(gl)	222,770 (0.000)	156,780 (0.000)

Obs: Nível de significância: * 0,001; ** 0,01; *** 0,05; **** 0,1; ***** não significante.

As variáveis custo de produção e pessoas empregadas foram significativas ao nível de 99,9% nos dois modelos, enquanto a variável área plantada foi significativa ao nível de 95% no modelo MQO, e ao nível de 99% no modelo MQGF. As variáveis custo de produção e área plantada apresentaram parâmetros positivos nos dois modelos, já a variável pessoas empregadas mostrou ser negativamente relacionada com o indicador de escolaridade. Além disso, o custo de produção foi a variável de maior impacto no indicador de escolaridade, cujos parâmetros foram 1,686 para o modelo MQO e 0,857 para o modelo MQGF.

4.2. Resultados da Análise Envoltória de Dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados deste trabalho foi realizada em quatro aplicações: uma para cada um dos três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) e uma para a sustentabilidade como uma unidade. A partir da análise dos dados, foi possível estabelecer um ranking das microrregiões do Estado de São Paulo a partir da eficiência de cada uma delas em converter seus fatores de produção em desenvolvimento sustentável.

4.2.1. Resultados do Modelo Ambiental

A aplicação do modelo ambiental levou em conta o número de pessoas empregadas no setor, a área plantada de cana-de-açúcar e o custo de produção como variáveis de *input*, e as emissões de CO_{2eq} como variável de *output*. Na Tabela 8 estão listados os índices de eficiência desse modelo:

Tabela 8- Resultado da Análise de Janela para o Modelo Ambiental.

Ranking de eficiência	Microrregião	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4	Eficiência Média
1	Marília	1.000	1.000	0.995	0.994	0.997
2	Tupã	0.935	0.953	0.964	0.986	0.959
3	Jales	0.879	0.942	0.983	0.994	0.948
4	Votuporanga	0.926	0.907	0.918	0.936	0.922
5	Fernandópolis	0.866	0.912	0.933	0.968	0.919
6	Araraquara	0.850	0.885	0.913	0.950	0.899
7	Andradina	0.847	0.885	0.905	0.945	0.895
8	Lins	0.863	0.881	0.886	0.901	0.883
9	Barretos	0.827	0.855	0.882	0.930	0.873
10	Dracena	0.824	0.857	0.872	0.907	0.864
11	São José do Rio Preto	0.831	0.853	0.870	0.903	0.864
12	São Joaquim da Barra	0.826	0.847	0.863	0.906	0.860
13	Ituverava	0.823	0.846	0.858	0.892	0.854
14	Pirassununga	0.826	0.838	0.863	0.887	0.853
15	Presidente Prudente	0.831	0.840	0.838	0.877	0.846
16	Araçatuba	0.813	0.834	0.840	0.877	0.841
17	Franca	0.794	0.816	0.840	0.894	0.835
18	Bauru	0.805	0.818	0.834	0.864	0.830
19	Campinas	0.828	0.830	0.824	0.835	0.829
20	Limeira	0.821	0.825	0.823	0.843	0.828
21	Rio Claro	0.809	0.815	0.829	0.859	0.828
22	São João da Boa Vista	0.816	0.823	0.826	0.839	0.826
23	Novo Horizonte	0.800	0.816	0.827	0.853	0.824
24	Botucatu	0.824	0.825	0.814	0.830	0.823
25	Tatuí	0.807	0.820	0.830	0.834	0.823
26	Jaboticabal	0.786	0.808	0.828	0.859	0.820
27	São Carlos	0.801	0.808	0.818	0.845	0.818
28	Ribeirão Preto	0.806	0.809	0.809	0.832	0.814
29	Catanduva	0.786	0.802	0.817	0.846	0.812
30	Birigui	0.815	0.810	0.801	0.813	0.810
31	Assis	0.760	0.787	0.812	0.867	0.805
32	Batatais	0.773	0.787	0.805	0.833	0.799
33	Auriflama	0.790	0.799	0.793	0.814	0.799
34	Moji Mirim	0.807	0.804	0.790	0.793	0.798
35	Avaré	0.757	0.784	0.808	0.843	0.797
36	Piracicaba	0.791	0.793	0.791	0.806	0.795
37	Nhandeara	0.782	0.777	0.767	0.781	0.777
38	Itapetininga	0.781	0.767	0.768	0.782	0.774
39	Ourinhos	0.730	0.750	0.777	0.827	0.770
40	Adamantina	0.757	0.751	0.735	0.749	0.748
41	Jaú	0.726	0.733	0.740	0.768	0.742

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

Constatou-se que a microrregião de Marília foi a mais eficiente na redução de emissão de CO_{2eq} pelo consumo de seus *inputs*, seguida por Tupã, Jales, Votuporanga e Fernandópolis. Dentro do conjunto de microrregiões mais eficientes, as cinco melhores posicionadas fazem parte da região geográfica que iniciou ou intensificou suas atividades no setor sucroenergético a partir do início dos anos 2000, ou seja, são regiões mais “jovens” do setor. É interessante notar que regiões tradicionais, como Ribeirão Preto, Jaboticabal, Piracicaba e Jaú apresentaram baixa eficiência, sendo que Jaú foi o menos eficiente. Em algumas regiões esse fato pode ser explicado pelo uso da queima da palha da cana-de-açúcar na colheita, como é o caso de Piracicaba. Essa microrregião ainda utilizava a queima na colheita da cana-de-açúcar em 2014 (último ano dos dados utilizados na pesquisa), sobretudo, pela dificuldade em utilizar máquinas para esse fim. Esse fato decorria devido à declividade dos terrenos plantados com cana e também pelo tamanho das áreas cultivadas, inferiores a 150 hectares, que inviabilizam o corte com máquinas (FREDO e CASER, 2017). A Figura 16 ilustra a eficiência ambiental das microrregiões do estado de São Paulo.

Figura 16-Resultado da Análise de Eficiência Ambiental das Microrregiões do Estado de São Paulo

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

Considerando a análise da produtividade total dos fatores através do Índice Malmquist (IM), nota-se que houve um crescimento acumulado de 17% entre 2007 e 2009, contudo, em 2010 e 2011 houve duas reduções consecutivas, voltando a crescer novamente em 2012 e 2013 e se estabilizando em 2014, conforme ilustrado pela Figura 17. Nesse mesmo período, a eficiência produtiva manteve-se em tendência de crescimento de maneira constante, chegando em 2014 com uma variação positiva acumulada de 15% em relação a 2007.

Figura 17 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da variação tecnológica (AT) e da variação da eficiência produtiva (AE) do modelo ambiental.

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

4.2.2. Resultados do Modelo Econômico

No modelo econômico foram adotados o número de pessoas empregadas no setor, a área plantada de cana-de-açúcar e o custo de produção como variáveis de *input*, e o valor da produção e o salário médio das pessoas empregadas no setor como variáveis de *output*. Os índices de eficiência desse modelo podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9- Resultado da Análise de Janela para o Modelo Econômico

Ranking de eficiência	Microrregião	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4	Eficiência Média
1	Marília	0,947	0,957	0,947	0,947	0,949
2	Jales	0,770	0,851	0,893	0,819	0,832
3	Votuporanga	0,840	0,834	0,817	0,788	0,820
4	Andradina	0,727	0,846	0,832	0,788	0,797
5	Tupã	0,714	0,792	0,838	0,841	0,795
6	Tatuí	0,711	0,793	0,779	0,732	0,753
7	São Carlos	0,692	0,723	0,754	0,748	0,729
8	Auriflama	0,747	0,741	0,736	0,692	0,729
9	Ituverava	0,672	0,745	0,740	0,721	0,719
10	Nhandeara	0,691	0,729	0,744	0,700	0,715
11	Limeira	0,701	0,725	0,743	0,693	0,715
12	Catanduva	0,679	0,719	0,737	0,694	0,707
13	Bauru	0,700	0,732	0,717	0,666	0,703
14	Assis	0,665	0,691	0,714	0,721	0,697
15	Piracicaba	0,649	0,711	0,719	0,695	0,693
16	Moji Mirim	0,700	0,685	0,678	0,664	0,681
17	Avaré	0,650	0,648	0,688	0,737	0,680
18	Araçatuba	0,666	0,684	0,690	0,652	0,673
19	Jaboticabal	0,634	0,668	0,693	0,696	0,672
20	Dracena	0,702	0,675	0,678	0,631	0,671
21	Botucatu	0,645	0,661	0,685	0,679	0,667
22	Pirassununga	0,630	0,646	0,685	0,710	0,667
23	São José do Rio Preto	0,629	0,651	0,677	0,680	0,659
24	São Joaquim da Barra	0,635	0,644	0,671	0,678	0,657
25	Adamantina	0,648	0,655	0,660	0,632	0,649
26	Presidente Prudente	0,608	0,632	0,652	0,660	0,638
27	Araraquara	0,540	0,601	0,679	0,736	0,635
28	Ribeirão Preto	0,599	0,618	0,622	0,644	0,620
29	Lins	0,631	0,615	0,620	0,593	0,615
30	Itapetininga	0,627	0,600	0,615	0,609	0,613
31	São João da Boa Vista	0,591	0,610	0,619	0,609	0,607
32	Birigui	0,628	0,620	0,608	0,572	0,607
33	Barretos	0,544	0,583	0,639	0,656	0,604
34	Campinas	0,581	0,590	0,612	0,624	0,601
35	Ourinhos	0,582	0,586	0,589	0,626	0,595
36	Fernandópolis	0,519	0,581	0,594	0,646	0,583
37	Novo Horizonte	0,502	0,598	0,611	0,624	0,582
38	Jaú	0,566	0,552	0,568	0,582	0,567
39	Batatais	0,520	0,551	0,561	0,577	0,552
40	Rio Claro	0,515	0,513	0,534	0,575	0,534
41	Franca	0,568	0,542	0,479	0,453	0,508

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

Podemos constatar a partir dos resultados que as regiões mais eficientes em gerar rendimentos foram Marília, Jales e Votuporanga. De maneira geral os resultados foram relativamente baixos, se destacando somente essas três regiões que apresentaram eficiência média acima de 0,8. Novamente as microrregiões mais recentes na atividade canavieira foram as mais eficientes. A ilustração da eficiência econômica das microrregiões paulistas é apresentada na Figura 18.

Figura 18-Resultado da Análise de Eficiência Econômica das Microrregiões do Estado de São Paulo

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

Em relação à análise da produtividade total dos fatores, observa-se que no ano de 2008 – que foi afetado pela crise econômica mundial – o Índice Malmquist apresentou queda em

quase todas as microrregiões, acumulando média de 3% de redução em relação a 2007, segundo observa-se na Figura 19. De maneira geral, houve um grande aumento do índice no ano de 2009, se mantendo nos anos seguintes até 2013, e por fim apresentando uma queda mais acentuada em 2014, ano em que se aprofundaram as crises brasileira e do setor sucroenergético.

Figura 19 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da mudança tecnológica (AT) e da mudança da eficiência produtiva (AE) do modelo econômico.

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

4.2.3. Resultados do Modelo Social

O modelo social considerou como variáveis de *input* o número de pessoas empregadas, a área plantada e o custo de produção, e como variáveis de *output* o salário médio e o indicador de escolaridade das pessoas empregadas no setor. Na Tabela 10 está listado o *ranking* de eficiência das microrregiões para o modelo social.

Tabela 10- Resultado da Análise de Janela para o Modelo Social

Ranking de eficiência	Microrregião	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4	Eficiência Média
1	Marília	0,970	0,954	0,933	0,921	0,944
2	Jales	0,831	0,954	0,991	0,991	0,939
3	Tupã	0,851	0,909	0,970	0,987	0,928
4	Votuporanga	0,920	0,839	0,873	0,871	0,875
5	São João da Boa Vista	0,854	0,871	0,883	0,854	0,865
6	Pirassununga	0,840	0,869	0,887	0,854	0,862
7	Andradina	0,839	0,860	0,868	0,856	0,856
8	São Joaquim da Barra	0,802	0,855	0,877	0,870	0,850
9	Limeira	0,836	0,826	0,852	0,859	0,843
10	Catanduva	0,814	0,842	0,843	0,832	0,832
11	Avaré	0,804	0,841	0,840	0,815	0,825
12	Araraquara	0,823	0,818	0,822	0,798	0,815
13	Fernandópolis	0,704	0,778	0,866	0,896	0,807
14	São José do Rio Preto	0,810	0,817	0,802	0,793	0,805
15	Jaboticabal	0,808	0,799	0,792	0,774	0,793
16	Assis	0,724	0,793	0,812	0,807	0,783
17	Dracena	0,727	0,751	0,822	0,830	0,781
18	Ribeirão Preto	0,764	0,785	0,781	0,748	0,769
19	Birigui	0,746	0,773	0,772	0,772	0,766
20	Lins	0,740	0,767	0,779	0,772	0,764
21	Novo Horizonte	0,765	0,792	0,778	0,721	0,764
22	Nhandeara	0,712	0,768	0,780	0,788	0,761
23	Auriflama	0,720	0,724	0,777	0,806	0,756
24	Franca	0,756	0,744	0,731	0,739	0,743
25	Tatuí	0,701	0,739	0,757	0,750	0,736
26	Barretos	0,751	0,720	0,723	0,750	0,736
27	Araçatuba	0,717	0,726	0,744	0,737	0,731
28	Ituverava	0,705	0,700	0,738	0,779	0,730
29	Campinas	0,778	0,736	0,695	0,669	0,718
30	Moji Mirim	0,720	0,726	0,689	0,681	0,704
31	Adamantina	0,778	0,708	0,668	0,659	0,702
32	São Carlos	0,706	0,676	0,680	0,718	0,695
33	Bauru	0,640	0,684	0,702	0,705	0,682
34	Piracicaba	0,676	0,672	0,660	0,638	0,661
35	Presidente Prudente	0,623	0,634	0,679	0,712	0,661
36	Rio Claro	0,659	0,656	0,653	0,634	0,650
37	Botucatu	0,640	0,643	0,630	0,682	0,649
38	Jaú	0,630	0,653	0,656	0,654	0,648
39	Batatais	0,657	0,635	0,642	0,641	0,644
40	Ourinhos	0,584	0,613	0,614	0,616	0,606
41	Itapetininga	0,527	0,575	0,612	0,654	0,590

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

As microrregiões mais eficientes em transformar variáveis de produção em melhores indicadores de nível de renda e escolaridade foram Marília, Jales e Tupã, com eficiência média acima de 0,9. Além disso, grandes regiões produtoras apresentaram índices superiores a 0,80, como é o caso de Andradina, Araraquara, São Joaquim da Barra e São José do Rio Preto, conforme ilustrado pela Figura 20.

Figura 20-Resultado da Análise de Eficiência Social das Microrregiões do Estado de São Paulo

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

Considerando a análise da produtividade total dos fatores das variáveis do modelo social apresentado na Figura 21, a média geral do Índice de Mamquist apresentou um

acentuado crescimento entre os anos 2008 e 2009, período em que o aumento acumulado foi de quase 50%. Nos anos seguintes o índice se manteve constante na média das microrregiões, até o ano de 2012. Em 2013 e 2014 houve um novo aumento no valor médio do índice, encerrando 2014 com um crescimento acumulado de 99% em relação ao ano de 2007. Já a variação da eficiência produtiva média foi positiva no ano de 2009, se mantendo relativamente constante nos anos seguintes.

Figura 21 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da mudança tecnológica (AT) e da mudança da eficiência produtiva (AE) do modelo social.

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

4.2.4. Resultados do Modelo Sustentável

O modelo sustentável considerou a eficiência das microrregiões canavieiras em otimizar o uso das variáveis de inputs – número de pessoas empregadas, área plantada de cana e custo de produção – para gerar melhores valores de outputs – emissões de CO_{2eq}, valor da produção, salário médio e índice de escolaridade. O ranking de eficiência das microrregiões para o modelo sustentável é apresentado pela Tabela 11:

Tabela 11 - Resultado da Análise de Janela para o Modelo Sustentável

Ranking de eficiência	Microrregião	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Janela 4	Eficiência Média
1	Marília	1,000	1,000	0,995	0,994	0,997
2	Tupã	0,969	0,987	0,993	0,988	0,984
3	Jales	0,910	0,962	1,000	1,000	0,967
4	Votuporanga	0,966	0,950	0,976	0,976	0,967
5	Andradina	0,905	0,943	0,971	0,984	0,950
6	Fernandópolis	0,895	0,940	0,964	0,984	0,945
7	Araraquara	0,892	0,915	0,939	0,961	0,927
8	Limeira	0,910	0,906	0,931	0,921	0,917
9	Pirassununga	0,897	0,895	0,925	0,928	0,911
10	Dracena	0,888	0,889	0,912	0,946	0,908
11	Lins	0,894	0,905	0,900	0,911	0,903
12	São José do Rio Preto	0,881	0,891	0,903	0,920	0,899
13	São Joaquim da Barra	0,871	0,888	0,903	0,930	0,898
14	Avaré	0,862	0,880	0,917	0,932	0,898
15	Barretos	0,857	0,880	0,902	0,937	0,893
16	São João da Boa Vista	0,901	0,897	0,896	0,878	0,893
17	Ituverava	0,858	0,870	0,891	0,915	0,883
18	Bauru	0,857	0,873	0,889	0,907	0,881
19	Nhandeara	0,858	0,878	0,877	0,877	0,872
20	Presidente Prudente	0,857	0,864	0,865	0,899	0,871
21	Araçatuba	0,851	0,860	0,874	0,897	0,870
22	Tatuí	0,840	0,875	0,887	0,880	0,870
23	Auriflama	0,868	0,861	0,866	0,881	0,869
24	Catanduva	0,851	0,860	0,877	0,885	0,868
25	Assis	0,815	0,849	0,878	0,920	0,865
26	Novo Horizonte	0,850	0,861	0,868	0,872	0,863
27	São Carlos	0,843	0,840	0,866	0,890	0,859
28	Campinas	0,876	0,859	0,850	0,851	0,859
29	Franca	0,835	0,842	0,859	0,898	0,858
30	Jaboticabal	0,833	0,843	0,868	0,885	0,857
31	Rio Claro	0,848	0,841	0,857	0,873	0,855
32	Botucatu	0,860	0,845	0,840	0,856	0,850
33	Ribeirão Preto	0,850	0,844	0,846	0,857	0,849
34	Piracicaba	0,835	0,843	0,853	0,860	0,848
35	Birigui	0,854	0,844	0,829	0,830	0,839
36	Moji Mirim	0,856	0,841	0,830	0,824	0,838
37	Batatais	0,800	0,805	0,826	0,847	0,819
38	Adamantina	0,857	0,803	0,801	0,795	0,814
39	Itapetininga	0,808	0,787	0,798	0,801	0,798
40	Ourinhos	0,763	0,774	0,795	0,835	0,791
41	Jaú	0,791	0,776	0,790	0,804	0,790

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

A partir dos dados apresentados na tabela acima, observa-se que as microrregiões mais eficientes do modelo sustentável foram Marília, Tupã, Jales, Votuporanga e Andradina, cujo índice médio de eficiência foi superior a 0,95. Já as mais ineficientes foram Itapetininga, Ourinhos e Jaú, com índice médio de eficiência abaixo de 0,80. Esses valores podem ser ilustrados pela Figura 22.

Figura 22-Resultado da Análise de Eficiência Sustentável das Microrregiões do Estado de São Paulo

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

Já em relação à produtividade total dos fatores, o Índice Malmquist aplicado ao modelo sustentável apresenta um crescimento médio expressivo das microrregiões nos anos de 2008 e 2009, acumulando aumento de 30% em relação a 2007. Em 2010 e 2011 o índice

apresenta um recuo, voltando a crescer novamente entre 2012 e 2014. Já a variação média da eficiência produtiva apresentou um aumento em 2008 e um recuo em 2009, voltando ao patamar de 2007. Nos anos seguintes apresentou tendência de ligeiro aumento até 2014, quando encerrou a série com crescimento acumulado de 6%, conforme demonstra a Figura 23.

Figura 23 - Média geral do Índice de Malmquist (IM), da mudança tecnológica (AT) e da mudança da eficiência produtiva (AE) do modelo sustentável.

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

4.2.5. Discussão dos Resultados DEA

A fim de auxiliar as discussões a respeito dos resultados dos modelos DEA, são apresentados na Figura 24 uma compilação dos índices de eficiência das microrregiões canavieiras do estado de São Paulo em cada modelo.

Figura 24 - Resultados dos modelos Ambiental, Econômico, Social e Sustentável.

Fonte - elaborado pelo autor a partir dos resultados da pesquisa.

A partir dos resultados apresentados, foi possível identificar que, de maneira geral, o modelo sustentável seguido pelo modelo ambiental foram os que apresentaram os melhores níveis de eficiência. Esse resultado corrobora com as medidas de sustentabilidade adotadas ou impostas ao setor sucroenergético do estado de São Paulo nos últimos anos, como a Lei estadual nº. 11.241 de 2002, o Protocolo Agroambiental e a Certificação Bonsucro. Além de outros assuntos, o principal ponto em relação à essas medidas tangem na proibição do uso do fogo na colheita de cana-de-açúcar, medida que reduz em grande parte os impactos ao meio ambiente e auxilia na melhoria dos indicadores de sustentabilidade.

Já o modelo com os piores níveis de eficiência entre as regiões foi o modelo econômico. Uma justificativa para esse fato pode ser explicado pelo período escolhido pela análise: entre os anos 2007 e 2014. Esse período foi marcado por fortes crises na economia mundial e também no setor sucroenergético. Santos, et. al. (2016) afirma que as sucessivas crises após 2008 desencadearam uma persistente dificuldade financeira, endividamento e baixa lucratividade em todo o setor. Nesse período também ocorreu uma grande desvalorização dos preços do açúcar entre 2012 e 2015 e do etanol até meados de 2015. Nesse

contexto, cerca de sessenta empresas cadastradas no MAPA em 2009 encerraram as atividades até o ano de 2013 no país, conforme cita Santos, et. al. (2016). A soma desses fatores provocaram uma menor remuneração da produção de cana e também um nível de emprego do setor menor, afetando a eficiência das regiões canavieiras no modelo econômico.

Foi possível notar também que nos quatro modelos propostos – ambiental, econômico, social e sustentável – as regiões canavieiras mais “jovens”, ou seja, aquelas que tiveram uma expansão da produção de cana medida pela sua taxa de crescimento, foram as que apresentaram os maiores indicadores de eficiência. Na Tabela 12 podemos observar a taxa de crescimento anual da produção de cana-de-açúcar de cada microrregião entre os anos de 2000 a 2015 e sua respectiva posição no ranking de cada modelo.

Tabela 12 - Taxa de crescimento anual da produção de cana-de-açúcar das microrregiões canavieiras do estado de São Paulo entre 2000 e 2015 e sua respectiva posição no ranking de cada modelo.

Microrregião	Taxa de crescimento da produção (2000-2015)	Ranking Ambiental	Ranking Econômico	Ranking Social	Ranking Sustentável
Dracena	47.7%	10	20	17	10
Jales	34.7%	3	2	2	3
Tupã	33.7%	2	5	3	2
Votuporanga	31.2%	4	3	4	4
Nhandeara	18.6%	37	10	22	19
Marília	14.7%	1	1	1	1
Itapetininga	14.2%	38	30	41	39
Presidente Prudente	13.1%	15	26	35	20
Andradina	13.0%	7	4	7	5
Fernandópolis	12.9%	5	36	13	6
Avaré	11.8%	35	17	11	14
São José do Rio Preto	11.0%	11	23	14	12
Barretos	9.2%	9	33	26	15
Lins	9.1%	8	29	20	11
Novo Horizonte	9.1%	23	37	21	26
Adamantina	7.3%	40	25	31	38
Bauru	5.9%	18	13	33	18
Franca	5.8%	17	41	24	29
Ituverava	5.6%	13	9	28	17
Assis	5.0%	31	14	16	25
Batatais	4.8%	32	39	39	37
Birigui	4.8%	30	32	19	35
São João da Boa Vista	4.6%	22	31	5	16
Araçatuba	4.4%	16	18	27	21
São Carlos	4.3%	27	7	32	27
Catanduva	4.1%	29	12	10	24
Auriflama	3.8%	33	8	23	23
Botucatu	3.6%	24	21	37	32
Ourinhos	3.3%	39	35	40	40
Araraquara	3.2%	6	27	12	7
Pirassununga	3.2%	14	22	6	9
Jaboticabal	2.8%	26	19	15	30
Tatuí	2.8%	25	6	25	22
Rio Claro	2.7%	21	40	36	31
São Joaquim da Barra	2.7%	12	24	8	13
Jaú	2.2%	41	38	38	41
Campinas	1.7%	19	34	29	28
Moji Mirim	1.4%	34	16	30	36
Ribeirão Preto	1.2%	28	28	18	33
Limeira	1.0%	20	11	9	8
Piracicaba	0.6%	36	15	34	34

De acordo com a Tabela 12, nota-se que dentre as dez microrregiões com as maiores taxas de crescimento de produção de cana-de-açúcar figuram também os primeiros colocados no ranking de cada um dos modelos: no modelo ambiental, estão presentes os cinco primeiros, além dos sétimo e décimo colocados; no modelo econômico destacam-se os cinco primeiros e o décimo colocado; no modelo social temos os quatro primeiros colocados, além do sétimo; no modelo sustentável despontam os seis primeiros e o décimo colocado. Uma microrregião que pode servir de exemplo é Jales: com uma taxa de crescimento anual de produção de 34,7%, essa microrregião apresenta a segunda maior taxa de crescimento, e também figura como o terceiro colocado nos modelos ambiental e sustentável e na segunda posição do ranking dos modelos econômico e social. Na outra ponta da tabela, observa-se que aqueles que apresentaram as menores taxas de crescimento de produção também estão nas últimas posições dos rankings de eficiência dos modelos. É o caso, por exemplo, da microrregião de Jaú, que apresentou um crescimento anual de produção de 2,2% - a sexta mais baixa - e ocupou também a 41ª posição no ranking dos modelos ambiental e sustentável e a 38ª posição no ranking dos modelos econômico e social.

Tal cenário reforça a evidência de que, de maneira geral, as regiões de expansão da cultura de cana-de-açúcar possam ser mais eficientes em transformar os indicadores de produção em melhores indicadores dos pilares da sustentabilidade do que as regiões mais tradicionais. Um argumento é o de que na época do início das atividades de cultivo de cana-de-açúcar nessas regiões de expansão, já estavam vigentes as diretrizes da Lei estadual n.º 11.241 e do Protocolo Agroambiental. Dessa forma, a produção de cana dessas regiões já foram projetadas para atenderem a todos os requisitos de eliminação de queima e mecanização da atividade, não necessitando de um período de transição até 2021 (áreas mecanizáveis) ou 2031 (áreas não-mecanizáveis) segundo a lei estadual n.º 11.241 ou, para os signatários do Protocolo Agroambiental, o prazo até 2014 (áreas mecanizáveis) ou 2017 (áreas não-mecanizáveis). Por outro lado, as regiões canavieiras mais tradicionais são as que possuem a oportunidade de melhorar em cada um dos pilares menos eficientes, seguindo o modelo de sustentabilidade do setor. O próprio programa RenovaBio, caso seja aprovado, fornecerá uma ferramenta por meio da qual será possível identificar os pontos de melhoria ao longo da cadeia. A certificação Bonsucro também fornece uma ferramenta que permite mensurar o quão próximo o produtor ou usina está dos parâmetros considerados necessários para atingir o nível satisfatório de sustentabilidade em cada área.

As usinas e produtores brasileiros iniciaram o processo de certificação Bonsucro em 2011. Considerando que a maior parte das usinas obtiveram suas certificações após esse período e que os efeitos das mudanças provocadas pela certificação podem demorar algum tempo para se consolidarem e apontarem para resultados efetivos, supõe-se que algumas regiões ainda terão a oportunidade de apresentarem melhores índices de eficiência em cada um dos modelos, como é o caso das microrregiões de Jaboticabal, Limeira e Jaú. Tais regiões possuem uma porcentagem considerável de usinas que possuem a certificação Bonsucro e também usinas signatárias do Protocolo Agroambiental, conforme pode ser verificado pela Figura 25, que apresenta os percentuais de usinas signatárias tanto do Protocolo Agroambiental quanto da certificação Bonsucro em cada região canavieira.

Figura 25 - Porcentagem de usinas signatárias do Protocolo Agroambiental e porcentagem de usinas certificadas Bonsucro, em relação ao total de usinas por microrregião.

Fonte – BONSUCRO (2017); SMA (2017)

.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo identificar e analisar as regiões canavieiras do estado de São Paulo que foram eficientes em transformar os fatores de produção – trabalho, capital e área plantada – em indicadores ambientais, econômicos e sociais entre os anos de 2007 e 2014. Além disso, foi possível também identificar possíveis oportunidades para que as regiões ineficientes das esferas ambiental, econômica e social possam melhorar indicando possíveis sugestões para que essas regiões melhorem seu desempenho.

Foram montados quatro modelos utilizando o método DEA a fim de realizar a análise das eficiências: ambiental, econômico, social e sustentável. Foram consideradas como DMU as regiões canavieiras do estado de São Paulo. As variáveis de *input* foram as mesmas para todos os modelos, e representaram cada um dos fatores de produção: trabalho (número de trabalhadores), capital (custo de produção) e terra (área plantada), todas em relação ao volume produzido em cada região. As variáveis de *output* foram representadas pelos principais indicadores de cada um dos pilares da sustentabilidade. No modelo ambiental foram utilizadas as emissões de CO_{2eq} das áreas colhidas; no modelo econômico, as variáveis de valor da produção e salário médio; no modelo social utilizou-se novamente o salário médio e um indicador de escolaridade; e por fim, no modelo sustentável foram consideradas todas as variáveis dos modelos anteriores.

Analisando cada um dos modelos, temos que os resultados do modelo ambiental indicam para uma tendência das regiões de expansão canavieira serem mais eficientes em mitigar as emissões de CO_{2eq} utilizando os fatores de produção trabalho, capital e terra, enquanto regiões mais tradicionais são mais ineficientes. Essa tendência foi ligada ao fato de que as regiões de expansão iniciaram as atividades no setor de cana-de-açúcar já observando as legislações e normas a fim de reduzir o uso do fogo nos canaviais, enquanto as regiões mais antigas acabaram por cumprir os prazos que foram disponibilizados para sua adaptação. Dessa forma, enquanto as regiões de expansão já iniciaram as atividades utilizando colheita mecanizada, as regiões tradicionais foram aumentando a participação da mecanização da colheita gradativamente ao longo dos anos. Esse fato também pode ser observado através da análise da produtividade total dos fatores, que aponta para uma tendência de crescimento constante da eficiência produtiva, chegando em 2014 com uma variação positiva acumulada de 15% em relação a 2007.

Já os resultados do modelo econômico apontam para uma ineficiência de maneira geral do setor. Tal fato pode ser em decorrência dos reflexos das crises econômicas e do setor

a partir de 2008, conforme apontado pela análise do Índice de Malmquist. Contudo, as regiões menos ineficientes desse modelo também foram aquelas mais “jovens”.

Considerando o modelo social, temos que as grandes regiões produtoras apresentaram índices de eficiência em transformar variáveis de produção em melhores indicadores sociais relativamente satisfatórios, a valores superiores a 0,80, como é o caso de Andradina, Araraquara, São Joaquim da Barra e São José do Rio Preto, em conjunto com as aquelas microrregiões que foram mais eficientes – Marília, Jales e Tupã – cuja eficiência média foi acima de 0,9. Considerando a análise da produtividade total dos fatores das variáveis do modelo social, destaca-se o grande crescimento do Índice de Malmquist, fechando 2014 com um crescimento acumulado de 99% em relação ao ano de 2007.

Por fim, a partir dos resultados do modelo sustentável, podemos concluir que esse modelo foi o que apresentou os melhores índices de eficiência, tendo as regiões de Marília, Tupã, Jales, Votuporanga e Andradina apresentado níveis superiores a 0,95. Esse cenário indica que as medidas de sustentabilidade adotadas ou impostas ao setor sucroenergético nos últimos anos podem estar dando resultados e auxiliando na melhoria dos indicadores de sustentabilidade. Contudo, ainda não é possível afirmar essa relação causal com base nesses dados apresentados, seria necessária uma análise mais aprofundada que não cabe ao propósito deste trabalho.

De forma geral, os resultados demonstraram que determinadas regiões, sobretudo aquelas áreas de expansão, possuem um nível de eficiência maior que as tidas como tradicionais. Isso pode demonstrar, por um lado, que o setor cresceu de maneira mais eficiente nas regiões de expansão, e que as políticas a fim de promover melhores indicadores de sustentabilidade apresentaram resultados positivos. Por outro lado, o baixo nível de eficiência apresentado pelas regiões mais tradicionais aponta para quais pilares da sustentabilidade pode-se encontrar uma oportunidade de melhora dos seus índices. Contudo, a análise de cada um dos pilares da sustentabilidade separado permite inferir também que o setor ainda tem muitas deficiências em relação aos seus índices de sustentabilidade, principalmente no que tange aos níveis econômicos e sociais, e necessita corrigi-las para um coerente desenvolvimento sustentável do setor.

Importante destacar que os modelos propostos por esse trabalho representam uma simplificação do que ocorre no setor sucroenergético. Contudo, existem inúmeros fatores e indicadores em cada um dos pilares que também podem influenciar a eficiência de cada região, bem como também impactar na mensuração da sustentabilidade do setor sucroenergético. Ainda assim, esse trabalho é relevante na finalidade enfatizar a questão da

sustentabilidade nesse importante setor produtivo paulista e brasileiro, além de quantificar a eficiência das regiões produtoras do estado de São Paulo. Algumas limitações foram encontradas no decorrer da realização deste trabalho, como a indisponibilidade de mais dados estatísticos referentes aos pilares da sustentabilidade, além da limitação das bases de dados utilizada neste trabalho, que poderia abranger uma série temporal mais longa, por exemplo. A fim de propor estudos futuros, sugere-se que sejam utilizadas outras variáveis no estudo dos pilares da sustentabilidade, a fim de se verificar se os resultados se alteram. Sugere-se também a aplicação do modelo a outras regiões geográficas e também a outros setores agropecuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, D. A. et al. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, v. 3, n. 12, p. 2682–2703, 2011.
- ALAM, J.; SIKDER, S.; GOULIAS, K. Role of Transportation in Regional Economic Efficiency in Bangladesh: Data Envelopment Analysis. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1864, p. 112–120, 2004.
- ALMEIDA, F.O **Bom Negócio da Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, entre 2005 e 2009. **Nova Economia**, v. 25, n. 1, p. 209–224, 2015.
- BONSUCRO. **Guidance for the Production Standard**. v4.2, 159 p. 2016.
- _____. **Production Certificates (Mills)**. Disponível em: <<http://www.bonsucro.com/certified-members/#production-certificates-mills>>. Acesso em: 26 out. 2017.
- CAMIOTO, F. D. C.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. D. N. Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**, v. 37, p. 50–60, 2014.
- CHARLES, V.; ZEGARRA, L. F. Measuring regional competitiveness through Data Envelopment Analysis: A Peruvian case. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 11, p. 5371–5381, 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.
- CHEN, C. C. Measuring departmental and overall regional performance: applying the multi-activity DEA model to Taiwan's cities/counties. **Omega**, v. 67, p. 60–80, 2017.
- CHEN, P.-C. et al. Total factor productivity growth in China's agricultural sector. **China Economic Review**, v. 19, n. 4, p. 580–593, 2008.
- CLARO, P.B., CLARO, D.P., AMÂNCIO, R. Entendendo o Conceito de Sustentabilidade nas Organizações. **Revista de Administração**, v.43 n.4, p.289-300, 2008.
- COELLI, T.J., ET. AL. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2 ed. Springer, 2005.
- COOK, W. D.; TONE, K.; ZHU, J. Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. **Omega**, v. 44, p. 1–4, 2014.

COOPER, W. W., SEIFORD, L. M., & TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software.** 2 ed. Springer US. 2007

CORREIA, B. B. **Iniciativas de sustentabilidade para o comércio internacional de biocombustíveis: análise sob a ótica jurídica.** 2015. 178 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2015.

COSTA, A. et al. Sustainability analysis of biodiesel production: A review on different resources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 407–412, 2013.

CRUTZEN, P. J. et al. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 7, n. 4, p. 11191–11205, Jan. 2007.

DEILMANN, C. et al. Data envelopment analysis of cities – Investigation of the ecological and economic efficiency of cities using a benchmarking concept from production management. **Ecological Indicators**, v. 67, p. 798–806, 2016.

DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 7, p. 1746–1760, 2009.

DONG, P.; QIAO, K.; YANG, M. Operational efficiency across the Chinese aerospace industry: a DEA and Malmquist analysis. **Chinese Management Studies**, v. 9, n. 4, p. 553–570, Feb. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030.** Nota Técnica: Novos Biocombustíveis. Rio de Janeiro, fev. 2017a.

_____. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030.** Nota Técnica: Papel dos biocombustíveis na matriz. Rio de Janeiro, fev. 2017b.

_____. **RenovaBio: Biocombustíveis 2030.** Nota Técnica: Sustentabilidade. Rio de Janeiro, fev. 2017c.

FALAVIGNA, G.; MANELLO, A.; PAVONE, S. Environmental efficiency, productivity and public funds: The case of the Italian agricultural industry. **Agricultural Systems**, v. 121, p. 73–80, 2013.

FARGIONE, J. et al. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1235–1238, 2008.

FIGUEIREDO, E. B. D.; SCALA, N. L. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 141, n. 1-2, p. 77–85, 2011.

FREDO, C. E.; CASER, D. V. Mecanização da Colheita da Cana-de-açúcar atinge 90% na Safra 2016/17. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 12, n. 6, jun. 2017.

GERDESSEN, J. C.; PASCUCCHI, S. Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. **Agricultural Systems**, v. 118, p. 78–90, 2013.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, v. 36, n. 6, p. 2086–2097, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GOMES, E. G. et al. Economic and socio-environmental performance assessment of beef cattle production systems: a data envelopment analysis (DEA) approach with weight restrictions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 44, n. 6, p. 219–225, 2015.

GONÇALVES, D. B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 10, p. 70-82, 2009.

HUANG, J. et al. Biofuels and the poor: Global impact pathways of biofuels on agricultural markets. **Food Policy**, v. 37, n. 4, p. 439–451, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisões Regionais do Brasil**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/2231-np-divisoes-regionais-do-brasil/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html>>. Acesso em: 24 set. 2016.

_____. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?&t=series-historicas>>. Acesso em: 07 set. 2017.

_____. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 07 set. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2015.

JANK, M. S. **A Globalização e o Setor Sucroenergético Brasileiro**. Canasul 2010. Campo Grande: UNICA. 16 ago. 2010.

JANSSEN, R.; RUTZ, D. D. Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and opportunities. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5717–5725, 2011.

LI, J. et al. Research on the Total Factor Productivity and Decomposition of Chinese Coastal Marine Economy: Based on DEA-Malmquist Index. **Journal of Coastal Research**, v. 73, p. 283–289, Mar. 2015.

LI, L.; HAO, T.; CHI, T. Evaluation on China's forestry resources efficiency based on big data. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 513–523, 2017.

LOPES, B. A. **Ecoeficiência na Agropecuária: uma aplicação de análise envoltória de dados - DEA nos municípios brasileiros da Região Norte**. 2014. Dissertação (mestrado), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2014.

MACEDO, M. A. S.; CIPOLA, F. C.; FERREIRA, A. F. R. Desempenho social no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no segmento de usinas de processamento de cana-de-açúcar. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 01, p. 223-243, 2010.

MARIANO, E. B., REBELATTO, D. A. Transformação de riquezas produzidas em qualidade de vida: uma análise por envoltória de dados da eficiência de Estados-Nação. **Simpósio de Engenharia de Produção - XX SIMPEP**, 14 f. Bauru, 2013.

MARQUES, P.V. (Coord.) **Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 194 p. 2009.

MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. **Ecological Applications**, v. 18 n. 4, p. 885-898, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Sistema de Acompanhamento de Produção Canavieira – SAPCANA**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/SAPCANA.html>>. Acesso em: 07 set. 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Bases Estatísticas RAIS e CAGED**. Disponível em: <<http://bi.mte.gov.br/bgcaged/inicial.php>>. Acesso em: 09ago. 2017.

MORAES, M. A. F. D. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. Caminho Editorial. 238 p. Americana, 2000

MORAES, M. A. F. D. A influência dos sindicatos nos salários do setor sucroalcooleiro. **Revista de Economia Política**, v. 31, n. 3, p. 471–492, 2011.

MORAES, M. A. F. D.; OLIVEIRA, F. C. R.; DIAZ-CHAVEZ, R. A. Socio-economic impacts of Brazilian sugarcane industry. **Environmental Development**, v. 16, p. 31–43, 2015.

NEVES, M.F., TROMBIN, V.G. **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. FEA-RP/USP. Markestrat, Fundace. Ribeirão Preto, 2014.

OLIVEIRA, C. O. F. **Biodiversidade e os esquemas de certificação de biocombustíveis**. 2013. 131 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2013.

PACHAURI, R.K. **Climate change 2014: synthesis report**. Tradução. [s.l.]Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: safra 2009/2010**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 100 p. 2010.

_____. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2010/2011**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 141 p. 2011.

_____. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2011/2012**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 50 p. 2012.

_____. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2012/2013**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 67 p. 2013.

_____. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: Fechamento da safra 2013/2014**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 54 p. 2014.

_____. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: fechamento da safra 2014/2015 e acompanhamento da safra 2015/2016**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) como parte integrante do projeto “Campo Futuro”. 78 p. 2015.

RENOUF, M.; WEGENER, M.; NIELSEN, L. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1144–1155, 2008.

ROVERE, E. L. L.; PEREIRA, A. S.; SIMÕES, A. F. Biofuels and Sustainable Energy Development in Brazil. **World Development**, v. 39, n. 6, p. 1026–1036, 2011.

RUDORFF, ET. AL. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04. **Agric. São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

SANTOS, G. R. et. al. A agroindústria canavieira e a produção de etanol no Brasil: características, potenciais e perfil da crise atual. In: SANTOS, G. R. **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2016. cap. 1, p. 17-46.

SÃO PAULO. Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. **Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas.** Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=217>>. Acesso em 07 nov. 2017.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J.-F. Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: A global overview. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1630–1646, 2011.

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

SEARCHINGER, T. et al. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1238–1240, 2008.

SEIFORD, L. M., ZHU, J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. **European Journal of Operational Research**, v. 142, n. 1, p. 16–20. 2002.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Etanol Verde**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol – An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 8, p. 781–813, 2008.

SUEYOSHI, T.; YUAN, Y. China's regional sustainability and diversified resource allocation: DEA environmental assessment on economic development and air pollution. **Energy Economics**, v. 49, p. 239–256, 2015.

TAO, Y.; ZHANG, S. Environmental efficiency of electric power industry in the Yangtze River Delta. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 58, n. 5–6, p. 927–935, 2013.

TATARI, O.; EGILMEZ, G.; KURMAPU, D. Socio-eco-efficiency analysis of highways: a data envelopment analysis. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, n. 6, p. 747–757, Aug. 2016.

TOLOO, M.; TICHÝ, T. Two alternative approaches for selecting performance measures in data envelopment analysis. **Measurement**, v. 65, p. 29–40, abr. 2015.

TORQUATO, S. A., MARTINS, R., RAMOS, S. F. Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: eficiência econômica das regiões novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas**, v.39,n.5, p.92-99, mai. 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **UNICA celebra acordo para o clima na COP21**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/22757742920320153336/unica-celebra-acordo-para-o-clima-na-cop21/>>. Acesso em: 12 out. 2016. 17 dez. 2015.

_____. **Brasil: etanol é um dos pilares para o desenvolvimento sustentável assumido na COP21**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/4711600920342041397/brasil-por->>

cento3A-etanol-e-um-dos-pilares-para-desenvolvimento-sustentavel-assumido-na-cop21/>. Acesso em: 12 out. 2016. 20 mai. 2016.

_____. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2016/2017.**

Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=1884&safr=2016%2F2017&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF>>. Acesso em: 07 set. 2017.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. **Usinas/Destilarias no mundo.**

Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=unidades&cn=am&id_pais=1>. Acesso em: 07 set. 2017.

VENNESLAND, B. Measuring rural economic development in Norway using data envelopment analysis. **Forest Policy and Economics**, v. 7, n. 1, p. 109–119, 2005.

VICENTE, J. R. Produtividade total de fatores e eficiência no setor de lavouras da agricultura brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 9, n. 3, p. 303–324, 2012.

WALTER, A. et al. Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change, GHG emissions and socio-economic aspects. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5703–5716, 2011.

WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT – WCED. **Our commom future**. Oxford: Univ. Press, 1987.

XAVIER, C.E.O.; ZILIO, L.B.; SONODA, D.Y.; MARQUES, P.V. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: safra 2008/2009**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. 82 p. 2009.

XIE, B.-C. et al. Dynamic environmental efficiency evaluation of electric power industries: Evidence from OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) and BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries. **Energy**, v. 74, p. 147–157, 2014.

XINJIAN, D.; JUNHAI, M. Study on the Indicator System for Evaluating Economic Development Efficiency in Shandong Province. **Energy Procedia**, v. 5, p. 900–904, 2011.

YE, J. et al. Evaluating Sugarcane Productivity in China over Different Periods Using Data Envelopment Analysis and the Malmquist Index. **Sugar Tech**, v. 18, n. 5, p. 478–487, Apr. 2016.

ZHANG, W. et al. The impact of biofuel growth on agriculture: Why is the range of estimates so wide? **Food Policy**, v. 38, p. 227–239, 2013.

ANEXO

Relação dos municípios e das microrregiões do Estado de São Paulo – Código IBGE e Nome:

Código da Microrregião	Nome da Microrregião	Código do Município	Nome do Município
35001	Jales	3502606	Aparecida D'Oeste
35001	Jales	3503950	Aspásia
35001	Jales	3513850	Dirce Reis
35001	Jales	3514205	Dolcinópolis
35001	Jales	3524808	Jales
35001	Jales	3529104	Marinópolis
35001	Jales	3529658	Mesópolis
35001	Jales	3532843	Nova Canaã Paulista
35001	Jales	3535200	Palmeira D'Oeste
35001	Jales	3535903	Paranapuã
35001	Jales	3540259	Pontalinda
35001	Jales	3540408	Populina
35001	Jales	3544509	Rubinéia
35001	Jales	3545704	Santa Albertina
35001	Jales	3546108	Santa Clara D'Oeste
35001	Jales	3546603	Santa Fé do Sul
35001	Jales	3547205	Santana da Ponte Pensa
35001	Jales	3547403	Santa Rita D'Oeste
35001	Jales	3547650	Santa Salete
35001	Jales	3549003	São Francisco
35001	Jales	3554904	Três Fronteiras
35001	Jales	3555802	Urânia
35001	Jales	3556958	Vitória Brasil
35002	Fernandópolis	3515202	Estrela D'Oeste
35002	Fernandópolis	3515509	Fernandópolis
35002	Fernandópolis	3518008	Guarani D'Oeste
35002	Fernandópolis	3520707	Indiaporã
35002	Fernandópolis	3528205	Macedônia
35002	Fernandópolis	3529609	Meridiano
35002	Fernandópolis	3530003	Mira Estrela
35002	Fernandópolis	3534757	Ouroeste
35002	Fernandópolis	3536901	Pedranópolis
35002	Fernandópolis	3549201	São João das Duas Pontes
35002	Fernandópolis	3555307	Turmalina
35003	Votuporanga	3501202	Álvares Florence
35003	Votuporanga	3501806	Américo de Campos
35003	Votuporanga	3510708	Cardoso

35003	Votuporanga	3512902	Cosmorama
35003	Votuporanga	3536257	Parisi
35003	Votuporanga	3540309	Pontes Gestal
35003	Votuporanga	3544202	Riolândia
35003	Votuporanga	3556107	Valentim Gentil
35003	Votuporanga	3557105	Votuporanga
35004	São José do Rio Preto	3500204	Adolfo
35004	São José do Rio Preto	3500907	Altair
35004	São José do Rio Preto	3504602	Bady Bassitt
35004	São José do Rio Preto	3504800	Bálsamo
35004	São José do Rio Preto	3511300	Cedral
35004	São José do Rio Preto	3517505	Guapiaçu
35004	São José do Rio Preto	3517901	Guaraci
35004	São José do Rio Preto	3519402	Ibirá
35004	São José do Rio Preto	3519808	Icém
35004	São José do Rio Preto	3521150	Ipiguá
35004	São José do Rio Preto	3524501	Jaci
35004	São José do Rio Preto	3525706	José Bonifácio
35004	São José do Rio Preto	3529500	Mendonça
35004	São José do Rio Preto	3530300	Mirassol
35004	São José do Rio Preto	3530409	Mirassolândia
35004	São José do Rio Preto	3532801	Nova Aliança
35004	São José do Rio Preto	3533007	Nova Granada
35004	São José do Rio Preto	3533908	Olímpia
35004	São José do Rio Preto	3534005	Onda Verde
35004	São José do Rio Preto	3534203	Orindiúva
35004	São José do Rio Preto	3535002	Palestina
35004	São José do Rio Preto	3536604	Paulo de Faria
35004	São José do Rio Preto	3539608	Planalto
35004	São José do Rio Preto	3540804	Potirendaba
35004	São José do Rio Preto	3549805	São José do Rio Preto
35004	São José do Rio Preto	3553401	Tanabi
35004	São José do Rio Preto	3555356	Ubarana
35004	São José do Rio Preto	3555604	Uchoa
35004	São José do Rio Preto	3557154	Zacarias
35005	Catanduva	3503703	Ariranha
35005	Catanduva	3509304	Cajobi
35005	Catanduva	3511102	Catanduva
35005	Catanduva	3511201	Catiguá
35005	Catanduva	3514924	Elisiário
35005	Catanduva	3514957	Embaúba
35005	Catanduva	3533254	Novais
35005	Catanduva	3535101	Palmares Paulista
35005	Catanduva	3535705	Paraíso

35005	Catanduva	3538105	Pindorama
35005	Catanduva	3545605	Santa Adélia
35005	Catanduva	3551900	Severínia
35005	Catanduva	3552601	Tabapuã
35006	Auriflama	3504206	Auriflama
35006	Auriflama	3515905	Floreal
35006	Auriflama	3516804	Gastão Vidigal
35006	Auriflama	3516903	General Salgado
35006	Auriflama	3518909	Guzolândia
35006	Auriflama	3528304	Magda
35006	Auriflama	3532868	Nova Castilho
35006	Auriflama	3533304	Nova Luzitânia
35006	Auriflama	3549250	São João de Iracema
35007	Nhandeara	3528106	Macaubal
35007	Nhandeara	3531001	Monções
35007	Nhandeara	3531407	Monte Aprazível
35007	Nhandeara	3532504	Neves Paulista
35007	Nhandeara	3532603	Nhandeara
35007	Nhandeara	3532702	Nipoã
35007	Nhandeara	3539905	Poloni
35007	Nhandeara	3551306	Sebastianópolis do Sul
35007	Nhandeara	3555703	União Paulista
35008	Novo Horizonte	3521507	Irapuã
35008	Novo Horizonte	3521903	Itajobi
35008	Novo Horizonte	3528858	Marapoama
35008	Novo Horizonte	3533502	Novo Horizonte
35008	Novo Horizonte	3544806	Sales
35008	Novo Horizonte	3556008	Urupês
35009	Barretos	3505500	Barretos
35009	Barretos	3512001	Colina
35009	Barretos	3512100	Colômbia
35010	São Joaquim da Barra	3517406	Guaíra
35010	São Joaquim da Barra	3521309	Ipuã
35010	São Joaquim da Barra	3524204	Jaborandi
35010	São Joaquim da Barra	3529708	Miguelópolis
35010	São Joaquim da Barra	3531902	Morro Agudo
35010	São Joaquim da Barra	3533601	Nuporanga
35010	São Joaquim da Barra	3534302	Orlândia
35010	São Joaquim da Barra	3544905	Sales Oliveira
35010	São Joaquim da Barra	3549409	São Joaquim da Barra
35011	Ituverava	3503000	Aramina
35011	Ituverava	3508207	Buritizal
35011	Ituverava	3517703	Guará

35011	Ituverava	3520103	Igarapava
35011	Ituverava	3524105	Ituverava
35012	Franca	3513207	Cristais Paulista
35012	Franca	3516200	Franca
35012	Franca	3523701	Itirapuã
35012	Franca	3525409	Jeriquara
35012	Franca	3536307	Patrocínio Paulista
35012	Franca	3537008	Pedregulho
35012	Franca	3542701	Restinga
35012	Franca	3543105	Ribeirão Corrente
35012	Franca	3543600	Rifaina
35012	Franca	3549508	São José da Bela Vista
35013	Jaboticabal	3506102	Bebedouro
35013	Jaboticabal	3510104	Cândido Rodrigues
35013	Jaboticabal	3515608	Fernando Prestes
35013	Jaboticabal	3518602	Guariba
35013	Jaboticabal	3524303	Jaboticabal
35013	Jaboticabal	3531308	Monte Alto
35013	Jaboticabal	3531506	Monte Azul Paulista
35013	Jaboticabal	3539004	Pirangi
35013	Jaboticabal	3539509	Pitangueiras
35013	Jaboticabal	3546504	Santa Ernestina
35013	Jaboticabal	3553104	Taiacu
35013	Jaboticabal	3553203	Taiúva
35013	Jaboticabal	3553658	Taquaral
35013	Jaboticabal	3553708	Taquaritinga
35013	Jaboticabal	3554409	Terra Roxa
35013	Jaboticabal	3556800	Viradouro
35013	Jaboticabal	3556909	Vista Alegre do Alto
35014	Ribeirão Preto	3505609	Barrinha
35014	Ribeirão Preto	3507803	Brodowski
35014	Ribeirão Preto	3513108	Cravinhos
35014	Ribeirão Preto	3514601	Dumont
35014	Ribeirão Preto	3518859	Guataporá
35014	Ribeirão Preto	3525102	Jardinópolis
35014	Ribeirão Preto	3527603	Luís Antônio
35014	Ribeirão Preto	3540200	Pontal
35014	Ribeirão Preto	3540903	Pradópolis
35014	Ribeirão Preto	3543402	Ribeirão Preto
35014	Ribeirão Preto	3547502	Santa Rita do Passa Quatro
35014	Ribeirão Preto	3547601	Santa Rosa de Viterbo
35014	Ribeirão Preto	3550902	São Simão
35014	Ribeirão Preto	3551405	Serra Azul
35014	Ribeirão Preto	3551504	Serrana

35014	Ribeirão Preto	3551702	Sertãozinho
35015	Batatais	3501004	Altinópolis
35015	Batatais	3505906	Batatais
35015	Batatais	3509403	Cajuru
35015	Batatais	3510906	Cássia dos Coqueiros
35015	Batatais	3546256	Santa Cruz da Esperança
35015	Batatais	3547908	Santo Antônio da Alegria
35016	Andradina	3502101	Andradina
35016	Andradina	3511003	Castilho
35016	Andradina	3517802	Guaraçaí
35016	Andradina	3520442	Ilha Solteira
35016	Andradina	3523008	Itapura
35016	Andradina	3530102	Mirandópolis
35016	Andradina	3532108	Murutinga do Sul
35016	Andradina	3533205	Nova Independência
35016	Andradina	3537404	Pereira Barreto
35016	Andradina	3552304	SudMennucci
35016	Andradina	3552551	Suzanápolis
35017	Araçatuba	3502804	Araçatuba
35017	Araçatuba	3506201	Bento de Abreu
35017	Araçatuba	3518206	Guararapes
35017	Araçatuba	3526506	Lavínia
35017	Araçatuba	3544400	Rubiácea
35017	Araçatuba	3548054	Santo Antônio do Aracanguá
35017	Araçatuba	3556305	Valparaíso
35018	Birigui	3501103	Alto Alegre
35018	Birigui	3504404	Avanhandava
35018	Birigui	3505104	Barbosa
35018	Birigui	3506409	Bilac
35018	Birigui	3506508	Birigui
35018	Birigui	3507704	Braúna
35018	Birigui	3507753	Brejo Alegre
35018	Birigui	3508108	Buritama
35018	Birigui	3511904	Clementina
35018	Birigui	3512506	Coroados
35018	Birigui	3516507	Gabriel Monteiro
35018	Birigui	3517109	Glicério
35018	Birigui	3527256	Lourdes
35018	Birigui	3527702	Luiziânia
35018	Birigui	3537305	Penápolis
35018	Birigui	3537701	Piacatu
35018	Birigui	3548401	Santópolis do Aguapeí
35018	Birigui	3555208	Turiúba

35019	Lins	3508801	Cafelândia
35019	Lins	3517000	Getulina
35019	Lins	3517208	Guaíçara
35019	Lins	3517307	Guaimbê
35019	Lins	3525805	Júlio Mesquita
35019	Lins	3527108	Lins
35019	Lins	3541604	Promissão
35019	Lins	3544608	Sabino
35020	Bauru	3500709	Agudos
35020	Bauru	3503406	Arealva
35020	Bauru	3503604	Areiópolis
35020	Bauru	3504305	Avaí
35020	Bauru	3504701	Balbinos
35020	Bauru	3506003	Bauru
35020	Bauru	3507456	Borebi
35020	Bauru	3508306	Cabrália Paulista
35020	Bauru	3514502	Duartina
35020	Bauru	3518107	Guarantã
35020	Bauru	3519105	Iacanga
35020	Bauru	3526803	Lençóis Paulista
35020	Bauru	3527504	Lucianópolis
35020	Bauru	3536570	Paulistânia
35020	Bauru	3538907	Pirajuí
35020	Bauru	3539400	Piratininga
35020	Bauru	3540101	Pongaí
35020	Bauru	3541109	Presidente Alves
35020	Bauru	3542503	Reginópolis
35020	Bauru	3555505	Ubirajara
35020	Bauru	3555901	Uru
35021	Jaú	3505203	Bariri
35021	Jaú	3505302	Barra Bonita
35021	Jaú	3506805	Bocaina
35021	Jaú	3507308	Boracéia
35021	Jaú	3514106	Dois Córregos
35021	Jaú	3520004	Igaraçu do Tietê
35021	Jaú	3522000	Itaju
35021	Jaú	3522901	Itapuí
35021	Jaú	3525300	Jaú
35021	Jaú	3528007	Macatuba
35021	Jaú	3529807	Mineiros do Tietê
35021	Jaú	3536703	Pederneiras
35022	Avaré	3500550	Águas de Santa Bárbara
35022	Avaré	3503109	Arandu
35022	Avaré	3504503	Avaré

35022	Avaré	3511409	Cerqueira César
35022	Avaré	3519253	Iaras
35022	Avaré	3521804	Itaí
35022	Avaré	3523503	Itatinga
35022	Avaré	3535804	Paranapanema
35023	Botucatu	3502309	Anhembi
35023	Botucatu	3506904	Bofete
35023	Botucatu	3507506	Botucatu
35023	Botucatu	3512308	Conchas
35023	Botucatu	3536109	Pardinho
35023	Botucatu	3541059	Pratânia
35023	Botucatu	3550100	São Manuel
35024	Araraquara	3501707	Américo Brasiliense
35024	Araraquara	3503208	Araraquara
35024	Araraquara	3506706	Boa Esperança do Sul
35024	Araraquara	3507407	Borborema
35024	Araraquara	3514007	Dobrada
35024	Araraquara	3516853	Gavião Peixoto
35024	Araraquara	3519600	Ibitinga
35024	Araraquara	3522703	Itápolis
35024	Araraquara	3529302	Matão
35024	Araraquara	3532058	Motuca
35024	Araraquara	3532900	Nova Europa
35024	Araraquara	3543709	Rincão
35024	Araraquara	3546900	Santa Lúcia
35024	Araraquara	3552700	Tabatinga
35024	Araraquara	3554755	Trabiju
35025	São Carlos	3502002	Analândia
35025	São Carlos	3513702	Descalvado
35025	São Carlos	3514304	Dourado
35025	São Carlos	3519303	Ibaté
35025	São Carlos	3542909	Ribeirão Bonito
35025	São Carlos	3548906	São Carlos
35026	Rio Claro	3507902	Brotas
35026	Rio Claro	3512704	Corumbataí
35026	Rio Claro	3521101	Ipeúna
35026	Rio Claro	3523602	Itirapina
35026	Rio Claro	3543907	Rio Claro
35026	Rio Claro	3554706	Torrinha
35027	Limeira	3503307	Araras
35027	Limeira	3512209	Conchal
35027	Limeira	3512407	Cordeirópolis
35027	Limeira	3521408	Iracemápolis

35027	Limeira	3526704	Leme
35027	Limeira	3526902	Limeira
35027	Limeira	3546207	Santa Cruz da Conceição
35027	Limeira	3546702	Santa Gertrudes
35028	Piracicaba	3500600	Águas de São Pedro
35028	Piracicaba	3510401	Capivari
35028	Piracicaba	3511706	Charqueada
35028	Piracicaba	3525854	Jumirim
35028	Piracicaba	3530904	Mombuca
35028	Piracicaba	3538709	Piracicaba
35028	Piracicaba	3542107	Rafard
35028	Piracicaba	3544004	Rio das Pedras
35028	Piracicaba	3545159	Saltinho
35028	Piracicaba	3547007	Santa Maria da Serra
35028	Piracicaba	3550407	São Pedro
35028	Piracicaba	3554508	Tietê
35029	Pirassununga	3500303	Aguai
35029	Pirassununga	3539301	Pirassununga
35029	Pirassununga	3540705	Porto Ferreira
35029	Pirassununga	3546306	Santa Cruz das Palmeiras
35030	São João da Boa Vista	3500402	Águas da Prata
35030	São João da Boa Vista	3508702	Caconde
35030	São João da Boa Vista	3510807	Casa Branca
35030	São João da Boa Vista	3513900	Divinolândia
35030	São João da Boa Vista	3515186	Espírito Santo do Pinhal
35030	São João da Boa Vista	3523800	Itobi
35030	São João da Boa Vista	3530508	Mococa
35030	São João da Boa Vista	3548104	Santo Antônio do Jardim
35030	São João da Boa Vista	3549102	São João da Boa Vista
35030	São João da Boa Vista	3549706	São José do Rio Pardo
35030	São João da Boa Vista	3550803	São Sebastião da Gramma
35030	São João da Boa Vista	3553302	Tambaú
35030	São João da Boa Vista	3553609	Tapiratiba
35030	São João da Boa Vista	3556404	Vargem Grande do Sul
35031	Mogi Mirim	3503802	Artur Nogueira
35031	Mogi Mirim	3515152	Engenheiro Coelho
35031	Mogi Mirim	3522604	Itapira
35031	Mogi Mirim	3530706	Mogi Guaçu
35031	Mogi Mirim	3530805	Mogi Mirim
35031	Mogi Mirim	3548005	Santo Antônio de Posse
35031	Mogi Mirim	3557303	Estiva Gerbi
35032	Campinas	3501608	Americana
35032	Campinas	3509502	Campinas
35032	Campinas	3512803	Cosmópolis

35032	Campinas	3514908	Elias Fausto
35032	Campinas	3519055	Holambra
35032	Campinas	3519071	Hortolândia
35032	Campinas	3520509	Indaiatuba
35032	Campinas	3524709	Jaguariúna
35032	Campinas	3531803	Monte Mor
35032	Campinas	3533403	Nova Odessa
35032	Campinas	3536505	Paulínia
35032	Campinas	3537107	Pedreira
35032	Campinas	3545803	Santa Bárbara D'Oeste
35032	Campinas	3552403	Sumaré
35032	Campinas	3556206	Valinhos
35032	Campinas	3556701	Vinhedo
35033	Amparo	3500501	Águas de Lindóia
35033	Amparo	3501905	Amparo
35033	Amparo	3527009	Lindóia
35033	Amparo	3531209	Monte Alegre do Sul
35033	Amparo	3536802	Pedra Bela
35033	Amparo	3538204	Pinhalzinho
35033	Amparo	3551603	Serra Negra
35033	Amparo	3552106	Socorro
35034	Dracena	3514403	Dracena
35034	Dracena	3526001	Junqueirópolis
35034	Dracena	3531605	Monte Castelo
35034	Dracena	3533106	Nova Guataporanga
35034	Dracena	3534807	Ouro Verde
35034	Dracena	3535408	Panorama
35034	Dracena	3536406	Paulicéia
35034	Dracena	3547106	Santa Mercedes
35034	Dracena	3549300	São João do Pau D'Alho
35034	Dracena	3555109	Tupi Paulista
35035	Adamantina	3500105	Adamantina
35035	Adamantina	3515806	Flora Rica
35035	Adamantina	3516002	Flórida Paulista
35035	Adamantina	3520806	Inúbia Paulista
35035	Adamantina	3521606	Irapuru
35035	Adamantina	3527405	Lucélia
35035	Adamantina	3528908	Mariápolis
35035	Adamantina	3534609	Osvaldo Cruz
35035	Adamantina	3534906	Pacaembu
35035	Adamantina	3536000	Parapuã
35035	Adamantina	3540853	Pracinha
35035	Adamantina	3543808	Rinópolis

35035	Adamantina	3544707	Sagres
35035	Adamantina	3545100	Salmourão
35036	Presidente Prudente	3500808	Alfredo Marcondes
35036	Presidente Prudente	3501301	Álvares Machado
35036	Presidente Prudente	3502408	Anhumas
35036	Presidente Prudente	3508900	Caiabu
35036	Presidente Prudente	3509106	Caiuá
35036	Presidente Prudente	3515129	Emilianópolis
35036	Presidente Prudente	3515301	Estrela do Norte
35036	Presidente Prudente	3515350	Euclides da Cunha Paulista
35036	Presidente Prudente	3520608	Indiana
35036	Presidente Prudente	3525607	João Ramalho
35036	Presidente Prudente	3528700	Marabá Paulista
35036	Presidente Prudente	3529203	Martinópolis
35036	Presidente Prudente	3530201	Mirante do Paranapanema
35036	Presidente Prudente	3532207	Narandiba
35036	Presidente Prudente	3538303	Piquerobi
35036	Presidente Prudente	3539202	Pirapozinho
35036	Presidente Prudente	3541208	Presidente Bernardes
35036	Presidente Prudente	3541307	Presidente Epitácio
35036	Presidente Prudente	3541406	Presidente Prudente
35036	Presidente Prudente	3541505	Presidente Venceslau
35036	Presidente Prudente	3542206	Rancharia
35036	Presidente Prudente	3542404	Regente Feijó
35036	Presidente Prudente	3543238	Ribeirão dos Índios
35036	Presidente Prudente	3544251	Rosana
35036	Presidente Prudente	3545506	Sandovalina
35036	Presidente Prudente	3547700	Santo Anastácio
35036	Presidente Prudente	3548302	Santo Expedito
35036	Presidente Prudente	3552908	Taciba
35036	Presidente Prudente	3553906	Tarabai
35036	Presidente Prudente	3554300	Teodoro Sampaio
35037	Tupã	3503356	Arco-Íris
35037	Tupã	3505807	Bastos
35037	Tupã	3519006	Herculândia
35037	Tupã	3519204	Iacri
35037	Tupã	3541802	Queiroz
35037	Tupã	3542008	Quintana
35037	Tupã	3555000	Tupã
35038	Marília	3501400	Álvaro de Carvalho
35038	Marília	3501509	Alvinlândia
35038	Marília	3514700	Echaporã
35038	Marília	3515657	Fernão
35038	Marília	3516606	Gália

35038	Marília	3516705	Garça
35038	Marília	3527801	Lupércio
35038	Marília	3529005	Marília
35038	Marília	3533700	Ocaçu
35038	Marília	3534104	Oriente
35038	Marília	3534500	Oscar Bressane
35038	Marília	3540002	Pompéia
35038	Marília	3556602	Vera Cruz
35039	Assis	3504008	Assis
35039	Assis	3507209	Borá
35039	Assis	3509809	Campos Novos Paulista
35039	Assis	3510005	Cândido Mota
35039	Assis	3513306	Cruzália
35039	Assis	3516101	Florínia
35039	Assis	3519501	Ibirarema
35039	Assis	3519907	Iepê
35039	Assis	3527900	Lutécia
35039	Assis	3528809	Maracaí
35039	Assis	3532157	Nantes
35039	Assis	3535309	Palmital
35039	Assis	3535507	Paraguaçu Paulista
35039	Assis	3537156	Pedrinhas Paulista
35039	Assis	3539707	Platina
35039	Assis	3541703	Quatá
35039	Assis	3553955	Tarumã
35040	Ourinhos	3506300	Bernardino de Campos
35040	Ourinhos	3510153	Canitar
35040	Ourinhos	3515194	Espírito Santo do Turvo
35040	Ourinhos	3515400	Fartura
35040	Ourinhos	3520905	Ipaussu
35040	Ourinhos	3528601	Manduri
35040	Ourinhos	3533809	Óleo
35040	Ourinhos	3534708	Ourinhos
35040	Ourinhos	3538808	Piraju
35040	Ourinhos	3543204	Ribeirão do Sul
35040	Ourinhos	3545407	Salto Grande
35040	Ourinhos	3546405	Santa Cruz do Rio Pardo
35040	Ourinhos	3550506	São Pedro do Turvo
35040	Ourinhos	3551207	Sarutaiá
35040	Ourinhos	3553005	Taguaí
35040	Ourinhos	3554201	Tejupá
35040	Ourinhos	3554607	Timburi
35040	Ourinhos	3557204	Chavantes

35041	Itapeva	3505005	Barão de Antonina
35041	Itapeva	3507159	Bom Sucesso de Itararé
35041	Itapeva	3508009	Buri
35041	Itapeva	3512605	Coronel Macedo
35041	Itapeva	3521705	Itaberá
35041	Itapeva	3522406	Itapeva
35041	Itapeva	3522802	Itaporanga
35041	Itapeva	3523206	Itararé
35041	Itapeva	3532827	Nova Campina
35041	Itapeva	3543501	Riversul
35041	Itapeva	3553807	Taquarituba
35041	Itapeva	3553856	Taquarivaí
35042	Itapetininga	3500758	Alambari
35042	Itapetininga	3502200	Angatuba
35042	Itapetininga	3509452	Campina do Monte Alegre
35042	Itapetininga	3518503	Guareí
35042	Itapetininga	3522307	Itapetininga
35043	Tatuí	3507001	Boituva
35043	Tatuí	3511508	Cerquillo
35043	Tatuí	3511607	Cesário Lange
35043	Tatuí	3526407	Laranjal Paulista
35043	Tatuí	3537503	Pereiras
35043	Tatuí	3540507	Porangaba
35043	Tatuí	3541653	Quadra
35043	Tatuí	3554003	Tatuí
35043	Tatuí	3554656	Torre de Pedra
35044	Capão Bonito	3502705	Apiaí
35044	Capão Bonito	3505351	Barra do Chapéu
35044	Capão Bonito	3510203	Capão Bonito
35044	Capão Bonito	3517604	Guapiara
35044	Capão Bonito	3521200	Iporanga
35044	Capão Bonito	3522158	Itaóca
35044	Capão Bonito	3522653	Itapirapuã Paulista
35044	Capão Bonito	3542800	Ribeira
35044	Capão Bonito	3543006	Ribeirão Branco
35044	Capão Bonito	3543253	Ribeirão Grande
35045	Piedade	3519709	Ibiúna
35045	Piedade	3537800	Piedade
35045	Piedade	3537909	Pilar do Sul
35045	Piedade	3550209	São Miguel Arcanjo
35045	Piedade	3553500	Tapiraí
35046	Sorocaba	3501152	Alumínio
35046	Sorocaba	3502754	Araçariguama
35046	Sorocaba	3502903	Araçoiaba da Serra

35046	Sorocaba	3508405	Cabreúva
35046	Sorocaba	3510302	Capela do Alto
35046	Sorocaba	3521002	Iperó
35046	Sorocaba	3523909	Itu
35046	Sorocaba	3528403	Mairinque
35046	Sorocaba	3540606	Porto Feliz
35046	Sorocaba	3545209	Salto
35046	Sorocaba	3545308	Salto de Pirapora
35046	Sorocaba	3550605	São Roque
35046	Sorocaba	3551108	Sarapuí
35046	Sorocaba	3552205	Sorocaba
35046	Sorocaba	3557006	Votorantim
35047	Jundiaí	3509601	Campo Limpo Paulista
35047	Jundiaí	3524006	Itupeva
35047	Jundiaí	3525904	Jundiaí
35047	Jundiaí	3527306	Louveira
35047	Jundiaí	3556503	Várzea Paulista
35048	Bragança Paulista	3504107	Atibaia
35048	Bragança Paulista	3507100	Bom Jesus dos Perdões
35048	Bragança Paulista	3507605	Bragança Paulista
35048	Bragança Paulista	3523404	Itatiba
35048	Bragança Paulista	3525201	Jarinu
35048	Bragança Paulista	3525508	Joanópolis
35048	Bragança Paulista	3532009	Morungaba
35048	Bragança Paulista	3532405	Nazaré Paulista
35048	Bragança Paulista	3538600	Piracaia
35048	Bragança Paulista	3554953	Tuiuti
35048	Bragança Paulista	3556354	Vargem
35049	Campos do Jordão	3509700	Campos do Jordão
35049	Campos do Jordão	3531704	Monteiro Lobato
35049	Campos do Jordão	3548203	Santo Antônio do Pinhal
35049	Campos do Jordão	3548609	São Bento do Sapucaí
35050	São José dos Campos	3508504	Caçapava
35050	São José dos Campos	3520202	Igaratá
35050	São José dos Campos	3524402	Jacareí
35050	São José dos Campos	3538006	Pindamonhangaba
35050	São José dos Campos	3546009	Santa Branca
35050	São José dos Campos	3549904	São José dos Campos
35050	São José dos Campos	3554102	Taubaté
35050	São José dos Campos	3554805	Tremembé
35051	Guaratinguetá	3502507	Aparecida
35051	Guaratinguetá	3508603	Cachoeira Paulista
35051	Guaratinguetá	3509957	Canas

35051	Guaratinguetá	3513405	Cruzeiro
35051	Guaratinguetá	3518404	Guaratinguetá
35051	Guaratinguetá	3526605	Lavrinhas
35051	Guaratinguetá	3527207	Lorena
35051	Guaratinguetá	3538501	Piquete
35051	Guaratinguetá	3540754	Potim
35051	Guaratinguetá	3541901	Queluz
35051	Guaratinguetá	3544301	Roseira
35052	Bananal	3503158	Arapeí
35052	Bananal	3503505	Areias
35052	Bananal	3504909	Bananal
35052	Bananal	3549607	São José do Barreiro
35052	Bananal	3552007	Silveiras
35053	Paraibuna/Paraitinga	3513603	Cunha
35053	Paraibuna/Paraitinga	3524907	Jambeiro
35053	Paraibuna/Paraitinga	3526308	Lagoinha
35053	Paraibuna/Paraitinga	3532306	Natividade da Serra
35053	Paraibuna/Paraitinga	3535606	Paraibuna
35053	Paraibuna/Paraitinga	3542305	Redenção da Serra
35053	Paraibuna/Paraitinga	3550001	São Luís do Paraitinga
35054	Caraguatatuba	3510500	Caraguatatuba
35054	Caraguatatuba	3520400	Ilhabela
35054	Caraguatatuba	3550704	São Sebastião
35054	Caraguatatuba	3555406	Ubatuba
35055	Registro	3505401	Barra do Turvo
35055	Registro	3509254	Cajati
35055	Registro	3509908	Cananéia
35055	Registro	3514809	Eldorado
35055	Registro	3520301	Iguape
35055	Registro	3520426	Ilha Comprida
35055	Registro	3524600	Jacupiranga
35055	Registro	3526100	Juquiá
35055	Registro	3529906	Miracatu
35055	Registro	3536208	Pariquera-Açu
35055	Registro	3542602	Registro
35055	Registro	3551801	Sete Barras
35056	Itanhaém	3522109	Itanhaém
35056	Itanhaém	3523305	Itariri
35056	Itanhaém	3531100	Mongaguá
35056	Itanhaém	3537206	Pedro de Toledo
35056	Itanhaém	3537602	Peruíbe
35057	Osasco	3505708	Barueri
35057	Osasco	3509205	Cajamar
35057	Osasco	3510609	Carapicuíba

35057	Osasco	3522505	Itapevi
35057	Osasco	3525003	Jandira
35057	Osasco	3534401	Osasco
35057	Osasco	3539103	Pirapora do Bom Jesus
35057	Osasco	3547304	Santana de Parnaíba
35058	Franco da Rocha	3509007	Caieiras
35058	Franco da Rocha	3516309	Francisco Morato
35058	Franco da Rocha	3516408	Franco da Rocha
35058	Franco da Rocha	3528502	Mairiporã
35059	Guarulhos	3503901	Arujá
35059	Guarulhos	3518800	Guarulhos
35059	Guarulhos	3546801	Santa Isabel
35060	Itapeçerica da Serra	3513009	Cotia
35060	Itapeçerica da Serra	3515004	Embu
35060	Itapeçerica da Serra	3515103	Embu-Guaçu
35060	Itapeçerica da Serra	3522208	Itapeçerica da Serra
35060	Itapeçerica da Serra	3526209	Juquitiba
35060	Itapeçerica da Serra	3549953	São Lourenço da Serra
35060	Itapeçerica da Serra	3552809	Taboão da Serra
35060	Itapeçerica da Serra	3556453	Vargem Grande Paulista
35061	São Paulo	3513801	Diadema
35061	São Paulo	3529401	Mauá
35061	São Paulo	3543303	Ribeirão Pires
35061	São Paulo	3544103	Rio Grande da Serra
35061	São Paulo	3547809	Santo André
35061	São Paulo	3548708	São Bernardo do Campo
35061	São Paulo	3548807	São Caetano do Sul
35061	São Paulo	3550308	São Paulo
35062	Mogi das Cruzes	3506607	Biritiba-Mirim
35062	Mogi das Cruzes	3515707	Ferraz de Vasconcelos
35062	Mogi das Cruzes	3518305	Guararema
35062	Mogi das Cruzes	3523107	Itaquaquecetuba
35062	Mogi das Cruzes	3530607	Mogi das Cruzes
35062	Mogi das Cruzes	3539806	Poá
35062	Mogi das Cruzes	3545001	Salesópolis
35062	Mogi das Cruzes	3552502	Suzano
35063	Santos	3506359	Bertioga
35063	Santos	3513504	Cubatão
35063	Santos	3518701	Guarujá
35063	Santos	3541000	Praia Grande
35063	Santos	3548500	Santos
35063	Santos	3551009	São Vicente