**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-
açúcar no estado de São Paulo, 1998-2009**

Raquel Castellucci Caruso Sachs

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2015**

Raquel Castellucci Caruso Sachs
Engenheira Agrônoma

**Contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no
estado de São Paulo, 1998-2009**

Orientador:

Prof. Dr. **JOAQUIM BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Sachs, Raquel Castellucci Caruso

Contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, 1998-2009 / Raquel Castellucci Caruso Sachs. - - Piracicaba, 2015.
137 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Cana-de-açúcar 2. Produtividade 3. Variedades de cana-de-açúcar 4. Dados em
painel I. Título

CDD 338.17361
S121c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais João Gustavo e Maria Inês

Ao meu esposo João Maurício e ao meu filho Lucas

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família: João Maurício e Lucas pelo apoio, dedicação e compreensão nos momentos de ausência para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram, principalmente nos momentos mais difíceis e que sem eles também não teria realizado este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho pela orientação e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em especial ao Departamento de Economia, Administração e Sociologia, seus professores e funcionários, pelos ensinamentos e pelo auxílio na realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Carlos Eduardo de Freitas Vian, Dra. Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes, Dra. Mirian Rumenos Piedade Bacchi pelas valiosas sugestões quando do exame de qualificação.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios e ao Instituto de Economia Agrícola por concederem meu afastamento para que eu pudesse cursar o doutorado.

Ao pesquisadores do CTC, Luiz Antônio Dias Paes e Rubens Leite do Canto Braga Júnior, à ORPLANA, em especial Dr. Enio Roque de Oliveira, aos meus colegas do Instituto de Economia Agrícola: José Alberto Angelo, Carlos Eduardo Fredo e Talita pela disponibilidade em ajudar no que precisei e ao professor Dr. Fábio Ricardo Marin do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ.

Ao meu amigo do IEA, pesquisador Dr. Mário Pires de Almeida Olivette, por seus conselhos, orientações e principalmente por me ouvir nos momentos mais difíceis.

Por fim, agradeço a todos meus colegas do curso de Pós-Graduação na Esalq com os quais dividimos momentos de alegrias e dificuldades e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial, ao colega Rafael Jacomini.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL E ESTADO DE SÃO PAULO	23
2.1 Evolução da produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol para o período de 1990-2013	23
2.2 Evolução da produtividade da cana-de-açúcar para o período 1990-2013.....	27
3 A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E OS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO NO ESTADO DE SÃO PAULO	33
3.1 Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).....	37
3.2 Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA)	38
3.3 Centro de Tecnologia Canavieira (CTC).....	38
3.4 Canavialis	39
4 EVOLUÇÃO DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO – UMA ANÁLISE DO CENSO VARIETAL.....	41
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	63
6 METODOLOGIA	69
6.1 Referencial teórico.....	69
6.2 Modelos para dados em painel	70
6.3 Modelo econométrico proposto	77
6.4 Descrição da variáveis consideradas no modelo	80
6.4.1 Produtividade da cana-de-açúcar.....	80
6.4.2 Preço da cana-de-açúcar	86
6.4.3 Preço da terra	89
6.4.4 Preço da mão-de-obra.....	91
6.4.5 Produtividade atingível.....	92
6.4.6 Estágio médio de corte	94
6.4.7 Índice de novidade varietal.....	96
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	113

REFERÊNCIAS.....	115
APÊNDICES.....	125
ANEXOS	129

RESUMO

Contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, 1998 - 2009

Esse estudo teve como objetivo analisar a contribuição das inovações biológicas, consideradas como a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, para a produtividade agrícola dessa cultura no estado de São Paulo em um período recente, mais especificamente para os anos de 1998 a 2009 devido à disponibilidade de dados. Para atingir o objetivo proposto foi construído um índice de novidade varietal para medir o ritmo de adoção de novas variedades de cana-de-açúcar tendo como base o censo varietal do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) localizado em Piracicaba, SP. Além das variáveis índice de novidade varietal, produtividade atingível (como proxy de fatores climáticos) e estágio médio de corte, variáveis econômicas como preço da cana-de-açúcar, preço da terra e preço da mão-de-obra também foram consideradas no modelo econométrico proposto. A metodologia empregada foi a de dados em painel (modelos *Pooled* ou MQO Agrupado, Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios), com seis regiões para o estado de São Paulo ao longo dos anos 1998 a 2009. Os resultados indicaram que as variáveis mais importantes para explicar a produtividade da cana-de-açúcar foram as variáveis produtividade atingível e o estágio médio de corte, seguido pelo preço da cana-de-açúcar. Em relação à contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana, os resultados indicaram que a introdução de novas variedades não contribuiu significativamente para o aumento da produtividade dessa cultura no estado de São Paulo no período analisado. O índice de novidade varietal e a análise qualitativa do censo varietal indicaram que o ritmo de adoção de novas variedades durante esse período foi baixo, pois a maior parte da área cultivada com cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo ainda são ocupadas com variedades desenvolvidas na década de 1980, embora sejam lançadas constantemente novas variedades de cana-de-açúcar pelos programas de melhoramento genético.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Produtividade; Variedades de cana-de-açúcar; Dados em painel

ABSTRACT

Contribution of innovative biological to sugarcane productivity in the state of São Paulo, 1998 - 2009

This study aimed to analyze the contributions of new varieties of sugarcane to the agricultural productivity in the state of São Paulo during recent years, specifically for the period between 1998 and 2009. To achieve this objective, the varietal newness index was used to measure the pace of adoption of new varieties of sugarcane, and this index was based on the varietal census data of the Sugarcane Technology Center in Piracicaba, SP. In addition to varietal newness index, attainable productivity (which was used as a proxy for climate factors), and average cutting stage, economic variables such as the price of sugarcane, land price, and labor cost were included in the econometric model. The panel data methodology (e.g., pooled, fixed effects, and random effects models) was used for six regions in the state of São Paulo to analyze these variables. Results indicated that the most important variables to explain the productivity of sugarcane in these regions were the attainable productivity and the average cutting stage, followed by the price of sugarcane. The results also indicated that the introduction of new varieties did not contribute significantly to the increased productivity of sugarcane in the state of São Paulo during this period, suggesting no impact of innovative biological contributions to sugarcane productivity. The varietal newness index and a qualitative analysis of varietal census data suggested that the pace of adoption of new varieties during this period was low. Most areas cultivated with sugarcane in these regions were occupied by sugarcane developed in the 1980s, even though new sugarcane varieties are periodically released by breeding programs.

Keywords: Sugarcane; Productivity; Sugarcane varieties; Panel data model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção brasileira e paulista de cana-de-açúcar (em mil toneladas), 1990/91 a 2013/14	24
Figura 2 – Participação percentual da produção de cana-de-açúcar do estado de São Paulo no total produzido no Brasil, 1990/91 a 2013/14.....	25
Figura 3 – Produção brasileira e paulista de açúcar (em mil toneladas), 1990/91 a 2013/2014	26
Figura 4 – Produção brasileira e paulista de etanol (em mil m ³), 1990/91 a 2013/14.....	26
Figura 5 – Evolução da produtividade dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em t/ha, 1990-2013	27
Figura 6 – Produtividade da cana-de-açúcar no Brasil e estado de São Paulo (em t/ha), 1990-2013.....	29
Figura 7 – Ganhos de produtividade das principais culturas no estado de São Paulo (base 100=1990)	30
Figura 8 – Nomenclatura das variedades de cana-de-açúcar.....	34
Figura 9 – Representatividade da área do censo varietal do CTC em relação à área total cultivada com cana-de-açúcar divulgada pelo IEA, estado de São Paulo e nas 6 regiões, 1990 a 2012.....	42
Figura 10 - Participação percentual da área de plantio na área recenseada nas regiões do estado de São Paulo, 1990-2012	44
Figura 11 – Índice de Concentração Varietal para as regiões do estado de São Paulo, 1990-2012	46
Figura 12 – Número total de variedades cultivadas no estado de São Paulo e regiões em estudo, 1990-2012	47
Figura 13 – Índice de atualização varietal para as seis regiões do estado de São Paulo consideradas nesse estudo.....	60
Figura 14 – Evolução da área cultivada com cana-de-açúcar (em ha) nas regiões do estado de São Paulo, 1990-2012	61
Figura 15 – Divisão do estado de São Paulo em seis regiões adotada pelo CTC.....	81
Figura 16 – Divisão do estado de São Paulo em seis regiões após o reordenamento do mapa fornecido pelo CTC	82
Figura 17 – Produtividade média da cana-de-açúcar (em t/ha) nas regiões do estado de São Paulo, 1998 a 2009	83

Figura 18 – Quantidade em quilogramas de ATR por tonelada de cana (Kg de ATR/t de cana) para as seis regiões do estado de São Paulo, 1998-2009	84
Figura 19 – Produtividade média nas regiões em estudo (em kg de ATR/ha de cana-de-açúcar), 1998-2009	86
Figura 20 – Preço da cana-de-açúcar (R\$/t de cana) nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009, em valores reais de dezembro de 2013	88
Figura 21 - Evolução do preço da terra cultura de primeira para as regiões em estudo, 1998-2009, em valores reais de dezembro de 2013	89
Figura 22 – Evolução do preço da mão-de-obra para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009, em valores reais de 2013	91
Figura 23 – Produtividade Atingível (em t/ha) para a cana-de-açúcar simulado pelo DSSAT/CANEGRO, 1998-2009	93
Figura 24 – Produtividade Atingível em kg de ATR/ha de cana-de-açúcar	94
Figura 25 – Evolução do estágio médio de corte para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009	96
Figura 26 - Índice de Novidade Varietal para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área cultivada com as principais culturas no estado de São Paulo, 2013	30
Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012.....	48
Tabela 3 – Variedades de cana-de-açúcar que ocupavam 50% da área cultivada em 2012 e seus respectivos anos de lançamento nas regiões do estado de São Paulo	58
Tabela 4 - Variáveis do modelo econométrico proposto, 1998 a 2009.....	103
Tabela 5 – Resultados dos testes econométricos para multicolinearidade, heterocedasticidade e autocorrelação	105
Tabela 6 – Resultados dos modelos estimados para a produtividade da cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009	106
Tabela 7 – Evolução da colheita mecanizada no estado de São Paulo, 2003-2013	111

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético no estado de São Paulo é marcado nos primeiros anos do século XXI por um novo ciclo de crescimento acelerado, agora não mais apenas para a substituição do consumo de petróleo devido à elevação dos preços, como ocorreu nos anos 1970, historicamente conhecido pelo surgimento da crise energética mundial, primeiro choque do petróleo e no final deste mesmo período o segundo choque¹. Tal situação impôs a diversos países a busca de outras fontes alternativas de energia, neste quadro o governo brasileiro criou o Proálcool, em 1975, cujo objetivo era o de economizar divisas e substituir a gasolina pelo etanol. No período recente soma-se a esses aspectos a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo uso de combustíveis fósseis.

Segundo Shikida (1998) o Proálcool pode ser dividido em 3 fases. A primeira fase que vai dos anos de 1975 a 1979, a qual chamou de expansão “moderada”, baseou-se na produção de etanol anidro para mistura com a gasolina. Nos anos de 1980 a 1985, segunda fase do programa, a qual chamou de expansão “acelerada” do Programa, devido à segunda crise do petróleo, o governo decidiu subsidiar a indústria automobilística produzindo carros movidos 100% por etanol hidratado (MATSUOKA; FERRO; ARRUDA, 2009). Dos anos de 1986 até 1995, Shikida (1998) denominou de fase de “desaceleração e crise” do Proálcool. O programa entrou em declínio devido à diminuição dos preços internacionais do petróleo e o alto custo de produção do etanol em relação ao da gasolina.

No período de 1990 até 2002 o setor iniciou seu processo de desregulamentação provocando incertezas e desajustes na produção e comercialização tanto de açúcar como de etanol e com os consumidores com pouca confiança no programa fizeram com que as vendas de carros movidos exclusivamente à etanol, que em 1986 representavam 76% do total das vendas, passassem a representar 11,43% em 1990 e 3,18% em 2002 (MATSUOKA; FERRO; ARRUDA, 2009; ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA, 2015). A partir de 2003, houve um novo entusiasmo em

¹ A denominada crise de 1973 (primeiro choque do petróleo) aconteceu em contrapartida ao apoio dos Estados Unidos dado a Israel em relação à ocupação de territórios palestinos durante a guerra do Yom Kippur. Como represália, os países árabes organizados na Opep decidiram aumentar o preço do petróleo em mais de 300%. O embargo pretendia ainda pressionar o mundo ocidental a apoiar os árabes contra os israelenses. Em 1979, a paralisação da produção iraniana, como consequência da revolução islâmica liderada pelo aiatolá Khomeini, provocou o segundo grande choque do petróleo, elevando em mais de 1000% o preço médio do barril iraniano. Os preços permaneceriam altos até 1986, quando voltaram a cair (VICENTE, 2009).

relação ao setor sucroenergético quando houve um aumento pela demanda por etanol com o advento dos veículos *flex fuel*.

Assim, a área cultivada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo passou de 3,3 milhões de hectares em 2003 para aproximadamente 6,2 milhões de hectares em 2013, aumento de 87,88% (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA, 2014). Esse aumento foi superior ao verificado para a década anterior (1990-2000) quando o incremento da área cultivada com cana-de-açúcar no estado foi de apenas 33,87%. Essa expansão, na década de 2000, ocorreu principalmente sobre áreas antes destinadas às pastagens, cultivos de milho, feijão, café, arroz e laranja (CAMARGO et al., 2008).

A cultura da cana-de-açúcar, vista como alternativa energética para fornecimento de etanol e também de energia elétrica, ganhou, nos últimos anos, espaço na discussão sobre a geração e o uso de energia e suas possíveis contribuições, tanto para redução do GEE, como para garantia de oferta energética e ainda o desenvolvimento socioeconômico.

Os inúmeros objetivos e aspirações para essa lavoura pautaram-se no aumento de produtividade e eficiência econômica, em conjunto com a redução e controle dos impactos ambientais; aspectos diretamente relacionados à ocupação de áreas para plantio e ainda mais evidentes quando considerados os termos da legislação estadual específica para esse segmento².

A decisão política de criação do Proálcool criou subsídios para o desenvolvimento tecnológico focado no melhoramento genético da cana-de-açúcar para o aumento da produtividade agrícola dessa cultura juntamente com a melhoria dos processos de gestão agrícola e a modernização dos processos industriais nas usinas de cana-de-açúcar (MATSUOKA; FERRO; ARRUDA, 2009). Segundo Goes, Marra e Silva (2008) essas melhorias tecnológicas, maior eficiência dos programas de melhoramento genético, entre outros, permitiram o aumento da produtividade e da expansão da produção da cultura para novas áreas tornando o Brasil em maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Segundo Hoffmann (1999) de 1970 a 1999 o melhoramento genético contribuiu para um aumento

² A lei estadual nº 11.241, de 19/09/2002, regulamentada pelo Decreto Estadual 47.700, estabeleceu a proibição da queima em 100% dos canaviais mecanizáveis paulistas até o ano de 2021. Para as áreas não mecanizáveis, isto é, com declividade superior a 12% e/ou menor que 150 hectares, o término da queima ocorreria em 2031. Nestas áreas, até 2011, pelo menos 10% deveriam ser colhidas sem queima (Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo - ALESP, 2012). Em 2007, um acordo, de livre adesão, celebrado pelo Governo do Estado de São Paulo, pelos Secretários de Estado do Meio Ambiente e de Agricultura e Abastecimento e pelos presidentes da União da Indústria Sucroalcooleira (UNICA) e da Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA) antecipou o limite do fim das queimadas de 2031, determinado pela lei estadual, para o ano de 2017 nas áreas com declividade superior a 12% e nas áreas mecanizáveis para o ano de 2014, em vez de 2021 (SÃO PAULO, 2012).

médio de 30% na produtividade agrícola dessa cultura e também uma evolução significativa na qualidade da matéria-prima.

Uma breve análise da evolução do rendimento médio da cultura da cana-de-açúcar, em toneladas por hectare (t/ha), no estado de São Paulo de 1970 até 2013 mostra que nesse período o aumento da produtividade foi de 38,54%. Analisando-se os subperíodos de 1970/71 até 1990/91 a variação na produtividade média foi de 26,6%, de 1990/91 até 2000/01 foi de 0,62% e entre 2000/01 até 2010/11 foi de 12,57% . De fato, o maior aumento de rendimento dessa cultura ocorreu entre 1970-1990. Após uma estagnação no aumento da produtividade da cana-de-açúcar na década de 1990, na década de 2000 houve uma tendência de recuperação, reflexo de um cenário promissor vivido pelo setor sucroenergético, com a expansão de investimentos no setor (VIAN, 2003; IEA, 2014).

Esse baixo crescimento do rendimento na década de 1990 pode ser explicado, segundo Belik e Vian (2002), pelas características do complexo canavieiro no início dos anos 1990, com a desregulamentação do setor sucroenergético e da extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool - IAA, que podiam ser resumidas em uma produção fabril sob controle das usinas, heterogeneidade produtiva (especialmente na industrialização da cana), baixo aproveitamento de subprodutos, competitividade fundamentada em grande parte nos baixos salários e na expansão extensiva da produção, todas essas características herdadas do longo período de intervenção estatal no setor.

Segundo projeções da Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE, o Brasil deverá produzir 1,2 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar e 72,5 bilhões de litros de etanol até o ano de 2020 para responder a crescente demanda doméstica por etanol (BRASIL, 2013). Portanto, é necessário que ocorra um aumento na produção de cana-de-açúcar, a qual pode ocorrer ou através do aumento da área de cultivo ou pelo aumento da produtividade da cultura. Entretanto, o aumento necessário da produção para atender a demanda via aumento de área cultivada se torna cada vez mais um obstáculo visto a escassez de terras disponíveis para sua expansão em áreas tradicionais³ e portanto, para que o setor sucroenergético continue crescendo torna-se fundamental a existência de um pacote tecnológico que viabilize ganhos de produtividade da cultura (SANTOS et al., 2008).

³ Segundo Veiga Filho e Yoshii (1992), o estado de São Paulo não tem mais fronteira agrícola externa a ocupar, ou seja, não conta com grandes áreas devolutas ou extensos maciços florestais que poderiam ser utilizados para uso agrícola, de acordo com o processo de evolução da agricultura que ocorreu no passado, feito por incorporação de áreas novas. Assim, qualquer expansão de área de atividades agrícolas que não ocorra por uso mais intensivo da terra, será feita por substituição de outras atividades.

Segundo Raizer, Braga Jr. e Selegato (2013) estima-se que o uso de novas variedades geram um ganho de 1,5% ao ano na produtividade em toneladas de pol⁴ por hectare com base em resultados finais de experimentação do Programa de Variedades do Centro de Tecnologia Canavieira - CTC. Essa importância do desenvolvimento genético da cana-de-açúcar para o aumento da produtividade faz com que grandes montantes sejam investidos no desenvolvimento de novas variedades. Segundo Joaquim (2012) estima-se que sejam gastos aproximadamente R\$150 milhões no desenvolvimento de 1 variedade de cana-de-açúcar superior aos padrões comerciais.

Contudo, o papel da inovação biológica no aumento da produtividade também pode ser questionado. Conforme argumentado por Niko et al. (2013), a produtividade agrícola da cana-de-açúcar alcançou um valor histórico na década de 2000, entretanto, ao analisar um período mais longo, como visto anteriormente (1970-2013), a produtividade no longo prazo apresenta uma trajetória crescente, mas com períodos de baixos incrementos na produtividade. Segundo esses autores, além da crise do setor em 2008 que reduziu os investimentos agrícolas, as adversidades climáticas e o processo recente de mecanização, as variedades têm contribuído pouco para o aumento da produtividade nos últimos anos, pois embora novas variedades sejam lançadas a cada ano, o ritmo de difusão tecnológica vem diminuindo e isso se deve, em parte, a performance dessas variedades.

Portanto, dada a representatividade do estado de São Paulo para o setor sucroenergético do país, tanto no mercado doméstico como no mercado internacional, tendo sido responsável durante as safras de 1990/91 a 2013/14 por aproximadamente 70% da produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul, equivalente a aproximadamente 60% do total produzido de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no país, este estudo analisa a importância da inovação biológica na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de São Paulo em um período posterior à desregulamentação do setor sucroenergético, mais especificamente para o período de 1998 a 2009 devido à disponibilidade de dados. Espera-se, principalmente, contribuir no aprofundamento do conhecimento sobre a incorporação da tecnologia da inovação biológica, ou seja, a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, no estado de São Paulo em um período recente.

Este trabalho está dividido em nove capítulos. O capítulo 2 apresenta um panorama do setor sucroenergético para o período compreendido entre os anos de 1990 e 2013. O capítulo 3 aborda resumidamente a cultura da cana-de-açúcar e os programas de melhoramento

⁴ Pol é o teor de sacarose contida na cana.

genético existentes no Brasil. No capítulo 4 é feita uma análise regional das variedades cultivadas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo para o período de 1990 a 2012. O capítulo 5 faz uma revisão de literatura sobre os trabalhos que abordaram o tema sobre a produtividade da cana-de-açúcar.

O capítulo 6 apresenta a metodologia empregada para a realização do trabalho bem como as variáveis e as fontes de dados utilizadas para a estimação do modelo de dados em painel. O capítulo 7 apresenta os resultados e discussão do modelo proposto e, por fim o capítulo 8 apresenta as considerações finais.

2 SETOR SUCROENERGÉTICO NO BRASIL E ESTADO DE SÃO PAULO

O setor sucroenergético tem importância destacada na economia brasileira, sendo que estimativas têm indicado que este foi responsável por aproximadamente 2% do PIB brasileiro em 2013, tendo empregado, direta e indiretamente, 3,6 milhões de pessoas (NEVES; TROMBIN, 2014). Ainda, segundo esse mesmo estudo, estima-se que o faturamento do setor foi de US\$43,4 bilhões. Além disso, as exportações de açúcar realizadas pelo setor proporcionaram uma entrada de divisas na ordem de US\$11,11 bilhões na safra 2013/14 e as exportações de etanol possibilitaram um faturamento de US\$1,67 bilhões.

Segundo o Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS - EPE, 2014), os derivados da cana-de-açúcar representam uma importante fonte renovável de oferta de energia primária para o país, representando 16,1% da oferta interna na matriz energética nacional, atrás apenas do Petróleo e derivados. A indústria sucroenergética gera diversos produtos de valor agregado que inclui alimentos, rações animais, biocombustíveis e eletricidade, provenientes de biorrefinarias modernas e integradas, que produzem açúcar, etanol e bioeletricidade, e mais recentemente, os bioplásticos.

A bioeletricidade é produzida através da queima do bagaço, resíduo seco e fibroso do processamento da cana. Todas as usinas e destilarias são auto-suficientes na produção de energia elétrica, por meio da co-geração ou bioeletricidade. Entretanto, com os esforços para eliminar a queima da palha da cana, permitirá que mais usinas de açúcar e etanol possam comercializar mais excedentes de bioeletricidade no mercado de energia elétrica. Segundo Neves e Trombin (2014), o volume financeiro obtido com a venda de bioeletricidade em 2013 foi de US\$894 milhões.

Ainda segundo esses autores, o bioplástico, um biopolímero produzido a partir do etanol de cana-de-açúcar, 100% reciclável, teve sua venda em 2013 estimada em 120 mil toneladas, principalmente para o mercado externo.

2.1 Evolução da produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol para o período de 1990-2013

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (FAO, 2015). A área colhida com cana-de-açúcar no ano safra 2013/14 foi de 8,8 milhões de hectares (BRASIL, 2015). A produção nacional foi de aproximadamente 653,5 milhões de

toneladas de cana-de-açúcar, 37,7 milhões de toneladas de açúcar e 27,5 bilhões de litros de etanol (União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA, 2015). A evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil e no estado de São Paulo pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Produção brasileira e paulista de cana-de-açúcar (em mil toneladas), 1990/91 a 2013/14

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da UNICA (2015)

A produção brasileira de cana-de-açúcar entre os anos de 1990/91 a 1993/94 apresentou uma produção média de 200 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A partir do ano de 1995/96 até 1998/99 apresentou incrementos consecutivos, tendo crescido nesse período a uma taxa anual de crescimento de 7,5%. Entretanto, na safra 2000/01 houve uma diminuição da produção de cana-de-açúcar, reflexo da crise ocorrida no setor devido à liberação dos preços do setor sucroenergético em 1999, se recuperando a partir de 2001/02. No período de 2001/02 a 2010/11 a taxa anual de crescimento foi de 9,02%. A safra 2011/12 apresentou um decréscimo de 9,82% na produção de cana-de-açúcar em relação à safra anterior. Os principais fatores para essa redução foram a idade avançada dos canaviais (menor renovação da cultura) e menores investimentos em tratos culturais nos últimos anos, além da estiagem que prejudicou o desenvolvimento das plantas (PRODUÇÃO, 2011).

O estado de São Paulo, maior produtor nacional, apresentou a mesma tendência da produção brasileira de cana-de-açúcar conforme visto na Figura 1. Esse estado representava 51,7% da área total com cana-de-açúcar e 56,2% da produção total de cana-de-açúcar no Brasil em 2013/14 (BRASIL, 2015; UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2015). A participação paulista no total da produção de cana-de-açúcar do Brasil, até

a safra 2009/10 ficou em torno de 60%, diminuindo sua participação relativa após esse período, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Participação percentual da produção de cana-de-açúcar do estado de São Paulo no total produzido no Brasil, 1990/91 a 2013/14

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da UNICA (2015)

Ao longo das duas últimas décadas, a produção brasileira e paulista de açúcar apresentou um aumento considerável, conforme pode ser observado na Figura 3. A produção brasileira de açúcar em 1990/91 era de 7,37 milhões de toneladas passando para 37,7 milhões de toneladas em 2013/14, um aumento de 411,53%. No estado de São Paulo a produção de açúcar era de 3,47 milhões de toneladas em 1990/91 passando para 23,96 milhões de toneladas em 2013/14, um aumento de 590,4%. Esse aumento foi devido principalmente ao aumento da Região Centro-Sul tendo em vista que a Região Norte-Nordeste manteve a produção de açúcar.

Figura 3 – Produção brasileira e paulista de açúcar (em mil toneladas), 1990/91 a 2013/2014
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da UNICA (2015)

A produção de etanol apresentou uma oscilação maior do que a produção de açúcar. A queda da produção de etanol observada a partir de 1998/99 até 2000/01 foi devida às indefinições sobre a desregulamentação dos preços do etanol anidro e hidratado, o que levou a uma queda acentuada de preços aliada à estoques elevados provenientes da safra 1997/98 entretanto, apresentou incrementos positivos no período de 2001/02 a 2008/09 (Figura 4) (VIAN, 2003).

Figura 4 – Produção brasileira e paulista de etanol (em mil m³), 1990/91 a 2013/14
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da UNICA (2015)

2.2 Evolução da produtividade da cana-de-açúcar para o período 1990-2013

O Brasil se tornou o maior produtor mundial de cana-de-açúcar a partir de 1980, ultrapassando a Índia, até então principal produtor mundial, e tendo Cuba como terceiro maior produtor. Esse último perdeu a terceira posição a partir de 1992 para a China (FAO, 2015). Ao analisar a evolução da produtividade da cana-de-açúcar no período de 1990 a 2013, em t/ha, nos principais países produtores, observa-se que a produtividade do Brasil ultrapassou a Índia e China somente a partir de 2000, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Evolução da produtividade dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em t/ha, 1990-2013

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da FAO (2015)

Durante os anos de 1980 e 1985, os quais Shikida (1998) denominou de fase “acelerada” do Proálcool, foi quando ocorreram novos desenvolvimentos tecnológicos na agroindústria canavieira e nessa época que as pesquisas de variedades de cana realizadas pelo antigo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar – PLANALSUCAR, atualmente Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético - RIDESA e outros institutos de pesquisa começaram a divulgar seus resultados. Um dos fatores responsáveis pelos altos índices de produtividade do setor foi o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar, mais produtivas e adaptadas às condições edafoclimáticas das regiões produtoras.

Segundo Furtado, Cortez e Scandiffio (2008) o fato de o Brasil ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar não deve ser atribuído apenas a uma vantagem comparativa natural mas a um conjunto de esforços para que houvesse uma aprendizagem tecnológica

baseada em grande parte por inovações incrementais. Para esses autores, a partir do Proálcool a agroindústria iniciou a difusão de inovações que possibilitaram constantes aumentos de produtividade e redução de custos de produção.

Pedro (2008) identificou períodos distintos na trajetória recente da pesquisa com cana-de-açúcar com destaque para as mudanças no quadro institucional após a desregulamentação e as mudanças no papel do Estado. O primeiro período que vai de 1970 a 1990 apresenta um sistema fortemente coordenado pelo Estado e o segundo período que vai de 1990 a 2005 é um sistema coordenado por mecanismos de mercado. A partir de 2005 uma nova fase de pesquisa se instaura devido à especulação internacional sobre os mercados de biocombustíveis e uma mudança para pesquisa em biomassa focando a cana-energia⁵.

Ao observar a Figura 5 percebe-se que a partir de 1990 houve uma tendência crescente na produtividade do Brasil, chegando em alguns anos a ser igual ao da Índia, país com a mais alta produtividade agrícola entre os 3 principais países produtores, mas foi apenas a partir de 2000, com o setor totalmente desregulamentado, que passou a ter a maior produtividade quando comparado com os três principais países produtores de cana-de-açúcar.

Em 1990, a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil era de 61,5 t/ha e do estado de São Paulo era de 73,8 t/ha passando a 75,2 t/ha e 80,8 t/ha em 2013, respectivamente, correspondendo a um aumento de 22,28% entre 1990-2013 no Brasil e um aumento de 9,5% no estado de São Paulo (FAO, 2015; IEA, 2014). A produtividade média na década de 1990 no estado de São Paulo foi de aproximadamente 75 t/ha, havendo um incremento a partir do ano 2000 até o ano 2008, reflexo de um cenário promissor vivido pelo setor sucroenergético, com a expansão de investimentos no setor. A produtividade da cana-de-açúcar no Brasil e estado de São Paulo durante os anos de 1990/91 a 2013/14 está apresentada na Figura 6.

Porém a partir de 2008, além das adversidades climáticas, com a crise financeira mundial, começou um período de reestruturação do setor e as usinas começaram a concentrar seus esforços nas suas recuperações financeiras ao invés de continuarem com seus planos de expansão (CONEJERO; NARDY, 2012) refletindo em baixa taxa de renovação dos canaviais, havendo portanto uma quebra de produtividade.

⁵ A cana-energia é uma variedade da planta dedicada à produção de biomassa, usada para gerar energia por meio da queima ou para a produção de etanol celulósico, mais resistente à seca e menos dependente de fertilizantes e defensivos, com maior teor de fibras e uma parede celular mais fácil de ser rompida para favorecer a obtenção de etanol também do bagaço (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, 2012).

Figura 6 – Produtividade da cana-de-açúcar no Brasil e estado de São Paulo (em t/ha), 1990-2013

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2014) e FAO (2015)

Embora a cana-de-açúcar seja a principal cultura do estado conforme pode ser observado na Tabela 1, onde estão apresentadas as principais culturas do estado de São Paulo e suas respectivas áreas de cultivos no ano de 2013, ao analisar a taxa de crescimento anual da produtividade dessas culturas nos anos de 1990 a 2013, verifica-se que a cana-de-açúcar foi a que apresentou a menor taxa de crescimento anual de produtividade, 0,55% a.a. no período. A cultura que mais cresceu foi o café, com uma taxa de crescimento anual de 3,75% a.a., seguido do milho que foi de 3,32% a.a., depois a soja com uma taxa de 2,00% e a laranja com uma taxa anual de 0,70% a.a.

Quando se analisa os subperíodos para a cana-de-açúcar, verifica-se que a taxa de crescimento anual da produtividade para o período de 1990-1999 foi de 0,46% a.a., para o período de 2000-2008 foi de 1,79% a.a. e para os anos de 2009 a 2013 a taxa média foi negativa em 1,67% a.a., além de fatores climáticos, essa queda no crescimento da produtividade foi reflexo da crise do setor a partir de 2008 conforme dito anteriormente.

Tabela 1 – Área cultivada com as principais culturas no estado de São Paulo, 2013

Cultura	Área (ha)
Cana-de-açúcar	6.158.360,04
Milho	879.831,05
Soja	618.419,92
Laranja	532.586,03
Café	200.385,22

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2014)

Conforme apresentado na Figura 6, houve um crescimento da produtividade da cana-de-açúcar no período analisado, entretanto quando comparada aos rendimentos de outras culturas (Figura 7), percebe-se claramente a defasagem entre os ganhos de produtividade em cana-de-açúcar e outras culturas, como milho, laranja, soja e café.

Figura 7 – Ganhos de produtividade das principais culturas no estado de São Paulo (base 100=1990)

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2014)

Esse resultado foi também constatado por Grof et al. (2007) em termos de sacarose por unidade de área. Esses autores afirmam que embora o melhoramento convencional venha contribuindo para o aumento da produção de sacarose por unidade de área plantada com cana-de-açúcar, os resultados alcançados por programas de melhoramento genético da cana-de-

açúcar de todo o mundo estão abaixo das taxas de incrementos de produção alcançados por grandes culturas, como milho, arroz e trigo.

Nesse capítulo foi apresentado um panorama geral do setor sucroenergético para o Brasil e estado de São Paulo e sua importância para economia do país. Embora seja o maior produtor mundial de cana-de-açúcar desde 1980 e a partir de 2000 tenha apresentado a maior produtividade entre os três principais países produtores para essa cultura, durante todo o período analisado, seus ganhos de rendimento ficaram aquém de culturas como milho, soja, café e laranja no estado de São Paulo.

No próximo item é feita uma breve descrição sobre a cultura da cana-de-açúcar e apresentados os programas de melhoramento genético existentes no Brasil, os quais estão concentrados no estado de São Paulo. Entretanto, suas pesquisas de variedades de cana-de-açúcar são desenvolvidas para todo o país.

3 A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E OS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO NO ESTADO DE SÃO PAULO

A cultura da cana-de-açúcar exige duas estações climáticas bem definidas, uma quente e úmida, com intensa radiação solar, durante o estágio de desenvolvimento vegetativo e outra seca e fria no estágio de maturação (DOMINGUES, 2010). Ainda de acordo com o mesmo autor, para atingir elevada concentração de sacarose essa planta precisa de temperatura do ar e umidade do solo adequadas para permitir o máximo crescimento na fase vegetativa, seguida de restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose no colmo na época de corte. As baixas temperaturas ou restrição hídrica permitem que haja repouso fisiológico e consequentemente maior acúmulo de sacarose.

Existem tradicionalmente duas épocas de plantio no estado de São Paulo: a cana plantada nos meses de janeiro a abril para ser colhida com mais de doze meses de idade, chamada de cana de ano e meio e a cana plantada nos meses de setembro e outubro para ser colhida com aproximadamente doze meses de idade, chamada de cana de ano.

Atualmente, segundo Landell e Bressiani (2010), alguns produtores plantam cana-de-açúcar o ano todo com a finalidade de otimizar a estrutura de plantio e consequentemente reduzir custo de produção, o que é possível somente em regiões onde as temperaturas no inverno não são limitantes para a boa brotação das gemas. Ainda segundo esses autores, a cana de ano está subdividida em cana de ano de inverno, quando o plantio é realizado nos meses de junho a agosto, e cana de ano de primavera, quando o plantio é realizado nos meses de setembro a novembro.

A colheita da cana-de-açúcar é realizada no período que compreende os meses de abril a novembro, excepcionalmente pode-se ter áreas colhidas em março a dezembro. Esse longo período de colheita abrange três estações do ano: outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a novembro), as quais interferem nos parâmetros de qualidade e quantidade da matéria-prima⁶. A cana-de-açúcar é chamada de cana planta até sua primeira colheita, depois devido à rebrota, passa a ser chamada de cana soca e as colheitas subsequentes são chamadas de ressocas. As rebrotas da cana-de-açúcar sofrem em torno de 4 a 5 cortes, quando então a lavoura é renovada com uma cana de ano ou de ano e meio (DOMINGUES, 2010).

⁶ Para maiores detalhes ver Landell e Bressiani (2010).

A cana-de-açúcar é uma planta semi perene, pertencente à família Poacea e ao gênero *Saccharum*, que abrange várias espécies, porém as canas atualmente cultivadas, na sua maioria, são híbridas e próprias de climas tropicais e subtropicais (FIGUEIREDO, 2010). Por meio de melhoramento genético, foram criados híbridos interespecíficos (transferências de genes de um genótipo resistente para um suscetível), resistentes e melhores adaptados às diversas condições ambientais, permitindo a expansão da cultura. A cana-de-açúcar atualmente cultivada no Brasil e no mundo é um híbrido das espécies *Saccharum officinarum*, *Saccharum barberi*, *Saccharum robustum*, *Saccharum spontaneum*, *Saccharum sinensis* e *Saccharum edule*. (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2010).

Segundo esses autores a *Saccharum officinarum* é a base dos programas de melhoramento genético, capaz de acumular altos níveis de sacarose no colmo, mas pouca resistência às doenças. Apresenta ainda boa pureza de caldo, teor de fibra adequado para a moagem e alta exigência em solo e clima. A alta suscetibilidade da *S. Officinarum* à diversas doenças, em especial ao mosaico⁷, levou os países produtores de cana a iniciar programas de melhoramento genético através da hibridação entre as diferentes espécies do gênero *Saccharum*. Portanto, a terminologia taxonômica atual dos cultivares de cana é *Saccharum* spp., já que não se cultiva comercialmente canas que não sejam fruto de melhoramento genético. Os atuais híbridos recebem uma nomenclatura específica, onde normalmente é informada o país de origem e/ou a instituição responsável pelo cruzamento e seleção, o ano de cruzamento ou seleção e o número específico do clone, conforme Figura 8. No Brasil, a exceção é o CTC que segue o critério de sigla/numeração sequencial, não fazendo referência ao ano de hibridação. Algumas das principais siglas utilizadas mundialmente e também no período desse estudo estão apresentadas na Quadro 1.

Figura 8 – Nomenclatura das variedades de cana-de-açúcar

Fonte: Landell e Bressiani (2010)

⁷ O Mosaico é uma doença da cana-de-açúcar causada por um vírus e que provoca grandes perdas na produção agrícola e produção de açúcar (SANGUINO, 1978).

País de origem	Nomenclatura	Região e/ou Instituição Responsável
Argentina	TUC	Tucuman
Argentina	NA	Norte Argentina
África do Sul	N	Natal
África do Sul	Nco	Natal – Coimbatore
Austrália	Q	Queensland
Barbados – Faisalabad (Paquistão)	BF	Barbados e Paquistão
Barbados – República Dominicana	BR	Barbados e República Dominicana
Brasil	CB	Campos, Brasil
Brasil	IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
Brasil	IACSP	Instituto Agrônomo de Campinas e Coopersucar
Brasil	RB	República Federativa do Brasil (Planalsucar/Ridesa)
Brasil	SP	São Paulo (Coopersucar)
Brasil	CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
Brasil	CV	Canavialis
Brasil	PO	Pedro Ometto (Usina da Barra)
Brasil	PB	Pernambuco, Brasil.
Colômbia	ICA	Instituto Colombiano Agropecuário
Cuba	C	Cuba
Egito	E	-
Estados Unidos	CL	Clewiston (U.S. Sugar Corporation)
Estados Unidos	CP	Canal Point
Estados Unidos	F	Florida (Belle Glade Exp. St.)
Estados Unidos	L	Louisiana Esp. St.

Quadro 1 – Siglas das variedades de cana-de-açúcar e país de origem

(continua)

Estados Unidos	H	Hawaii Sugar Planters Association
Índia	Co	Coimbatore
Indonésia (Java)	POJ	Proefstation Oest Java
Japão	Ni	Nippon – Japão
Outras	B	Barbados
	BT	Barbados Trinidad
	TA	Taiwan Sugar Manuf. Co.
	P	Filipinas
	V	Venezuela
	PR	Porto Rico
	R	Ilhas Reunião

Quadro 1 – Siglas das variedades de cana-de-açúcar e país de origem

(conclusão)

Fonte: Scarpari e Beauclair (2010) e Machado Jr. (2001)

Os programas de melhoramento genético atingem seus objetivos ao identificar e selecionar genótipos com potencial agroindustrial semelhante ou superior ao das variedades em cultivo. A necessidade de novas variedades deve-se à vida relativamente curta dos cultivares mais utilizados⁸, em função de doenças, da pressão de seleção e de novos manejos (SANTOS et al., 2008).

Atualmente no Brasil existem quatro programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar cujas instituições responsáveis são: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) cuja sigla das variedades é IAC; Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) – antiga Cooperativa Central de Produtores de Açúcar do Estado de São Paulo - Copersucar, cujas siglas das variedades são as antigas SP e atuais CTC; Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) – antiga Planalsucar, cuja sigla de variedades é RB e a mais recente Canavialis, pertencente à uma empresa privada, criada em 2003, cuja sigla de variedades é a CV (SANTOS et al., 2008).

⁸ Segundo Carvalho e Furtado (2014) a sobrevivência de uma variedade de cana-de-açúcar no campo produzindo é de aproximadamente 15 anos.

3.1 Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)

O IAC foi criado ainda no século XIX dedicando-se inicialmente a estudos sobre a cultura do café, principal cultura do estado de São Paulo na época. Os primeiros estudos com cana-de-açúcar realizados por esse instituto de pesquisa estadual são de 1894-1895 (LANDELL; BRESSIANI, 2010). Somente a partir da década de 1920 que surgiram as primeiras demandas de pesquisa em cana-de-açúcar, devido à rápida disseminação do mosaico sobre essa cultura exigindo o desenvolvimento de novas variedades.

A partir da década de 30 o IAC assumiu a liderança do processo de novas variedades e de modernização da cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo (FURTADO; CORTEZ; SCANDIFFIO, 2008). Pesquisas realizadas em Campos (RJ) e Piracicaba (SP) resultaram nas primeiras variedades criadas no país: CB41-76, CB45-3, CB 40-69, juntamente com as variedades IAC48-65, IAC50-134, IAC51-205 e IAC52-150. A partir dessa época, outros estudos também foram desenvolvidos como: adubação, calagem, época de plantio, espaçamento, aplicação de vinhaça etc (IAC, 2014). A situação favorável do IAC, depois de uma fase de desenvolvimento de muitas pesquisas canavieiras, começou a mudar a partir dos anos 1960 com a diminuição dos recursos governamentais para a pesquisa feita por esse instituto de pesquisa, situação que foi agravada nas décadas seguintes.

A partir da segunda metade dos anos 90, com a organização do Programa de Melhoramento Genético do IAC (Procana) há uma reestruturação da atividade de pesquisa desse instituto. Em pouco tempo, esse programa começou a apresentar bons resultados, com novas variedades IAC reaparecendo nos canaviais. Em 2005, após uma reforma da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), foi implantado o Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana-de-açúcar – IAC em Ribeirão Preto – SP (FIGUEIREDO, 2010).

Na área de melhoramento genético, o Centro de Cana estabeleceu a estratégia de seleção regional, introduzindo populações com ampla variabilidade para proporcionar ocasião à adaptação de indivíduos superiores nas principais regiões canavieiras do estado de São Paulo. São também desenvolvidos trabalhos com biologia molecular e qualificação de ambientes de produção que geram informação para aplicação de manejo varietal. Realizam-se, ainda, projetos relacionados à defesa fitossanitária, estudos econômicos, estudo do sistema radicular, matologia, nutrição de plantas, variabilidade espacial através de geoestatística, entre outros (CARVALHO; FURTADO, 2014).

3.2 Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA)

A RIDESA atualmente é composta por dez Universidades Federais e foi criada a partir da incorporação das atividades do extinto Planalsucar, o qual foi criado em maio de 1971 pelo IAA, constituindo o primeiro projeto nacional no segmento. Foi uma ação fundamental para apoiar as bases de um novo ciclo de desenvolvimento e expansão da agroindústria que veio a se iniciar com a implantação do Proálcool em 1975 (PEDRO, 2008).

As pesquisas do Planalsucar extrapolaram o domínio do melhoramento genético e se estenderam para o campo do processamento industrial. Os avanços patrocinados pelas pesquisas do programa permitiram introduzir as tecnologias de reciclagem do vinhoto, que foram essenciais para viabilizar ambientalmente o Proálcool. No entanto, segundo Belik (1985) a contribuição do programa foi limitada na introdução de novas variedades de cana no estado de São Paulo, tendo sido mais importante nos demais estados do país para modernizar a cultura da cana-de-açúcar. Sua contribuição foi muito importante para melhorar a produtividade da cana nos estados do Nordeste. Havia mais estações experimentais no estado de Alagoas do que em São Paulo.

Portanto, com a extinção do IAA em 1990, em uma iniciativa dos pesquisadores do Planalsucar houve uma reorganização em torno de um novo arranjo entre universidades e suas atividades foram incorporadas pela RIDESA.

A RIDESA deu continuidade ao trabalho de pesquisa anteriormente desenvolvido pelo Planalsucar visando o melhoramento genético da cana-de-açúcar. A partir de 1991 começou a desempenhar suas funções, aproveitando a capacitação dos pesquisadores e as bases regionais do extinto programa, aos quais se juntaram professores das universidades, dando continuidade não somente ao programa de criações de variedades novas, mas foi ampliado para atender a crescente demanda do setor, como por exemplo, a criação de variedades mais precoces (Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar - PMGCA, 2013). A RIDESA continuou a utilizar a sigla RB para identificar seus cultivares.

3.3 Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)

O Centro de Tecnologia Canavieira começou sua história com a criação em 1959 da Copersucar em Piracicaba - SP, resultado da fusão de duas cooperativas regionais. Essa cooperativa se expandiu rapidamente a ponto de responder por 51% do mercado de açúcar do país em 1973 (MARIOTONI, 2004). Com a falta de interesse do IAA em promover

programas de melhoramento genético, o quê penalizava a agroindústria local, em 1968 essa cooperativa começou a estruturar um programa de melhoramento genético que constituiria a base do CTC (FURTADO; CORTEZ; SCANDIFFIO, 2008).

O Centro de Tecnologia Copersucar foi criado em 1969 competindo inicialmente com as estações experimentais do IAA que apresentavam condições mais favoráveis de atuação. Posteriormente começou a prestar atividade de assistência técnica para as usinas associadas propiciando renda para o centro. Essa experiência adquirida com a assistência técnica foi fundamental para que o CTC se tornasse um importante centro de aprimoramento dos processos produtivos da fase industrial. Na década de 80, o programa de variedades começou a apresentar resultados.

Em 2004 o Centro de Tecnologia Coopersucar foi desmembrado e passou a se chamar Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). O CTC promoveu uma forte descentralização de seu programa com a criação de 13 pólos regionais de melhoramento definidos pelos ambientes de produção edafoclimáticos que selecionam e disseminam clones promissores (CARVALHO; FURTADO, 2014). A estação de cruzamento de Camamu na Bahia possui mais de 5 mil clones de variedades comerciais e espécies selvagens da cana-de-açúcar, constituindo-se assim no maior e mais completo banco de germoplasma de cana-de-açúcar do mundo.

Esse centro disponibilizou no mercado 61 novas variedades até 2004, com a denominação comercial de SP. Depois, sob a nova forma de atuação disponibilizou 20 variedades com a sigla CTC. As novas variedades desenvolvidas pelo CTC possibilitou a expansão dos canaviais brasileiros em 3 milhões de hectares desde sua fundação (CTC, 2013b).

3.4 Canavialis

A Canavialis, uma empresa privada de melhoramento genético, foi fundada em março de 2003 por pesquisadores do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Universidade Federal de São Carlos pertencente à RIDESA. Seu objetivo era melhorar as variedades de cana-de-açúcar, não envolvendo técnicas de sequenciamento genético, mas prestando serviços de consultoria para os produtores. Esta empresa trabalhava em conjunto com a Allelyx, que se dedicava a variedades transgênicas. A empresa Allelyx também foi fundada por ex-pesquisadores da RIDESA. Em 2008 foram compradas pela companhia americana Monsanto. As variedades desenvolvidas por essa empresa possuem a sigla CV.

Portanto, esse capítulo abordou brevemente alguns aspectos da cultura da cana-de-açúcar e resumidamente os programas de melhoramento genético existentes no estado de São Paulo, cujas pesquisas não se restringem apenas a esse estado mas são realizadas em todo o país.

Dada a importância da informação regional, no próximo item é feita uma análise da evolução da participação das variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, no período de 1990 a 2012 com o objetivo de verificar se existem diferenças entre as variedades de cana-de-açúcar cultivadas, considerando as diferenças edafoclimáticas entre as regiões canavieiras desse Estado e portanto, os programas de melhoramento genético de cana fazem uma estratégia de seleção regional (LANDELL; BRESSIANI, 2010). Esses autores citam, por exemplo, as diferenças nos parâmetros climáticos entre Ribeirão Preto, Piracicaba e Assis. Na região de Ribeirão Preto, existe maior excedente hídrico no período de crescimento vegetativo em relação às demais regiões, o que, associado às elevadas temperaturas justificam as altas produtividades alcançadas nessa região. A região de Assis não apresenta déficit hídrico no período de maturação prejudicando esse processo fisiológico e também há grande diferença em relação às médias de temperatura nos períodos de crescimento vegetativo e maturação. Na região de Piracicaba por sua vez, os solos são de caráter químico ácido, portanto, com altos teores de alumínio na superfície e os genótipos desenvolvidos para essa região precisam se adaptar a essa condição química.

4 EVOLUÇÃO DAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO – UMA ANÁLISE DO CENSO VARIETAL

O censo varietal de cana-de-açúcar tem como finalidade coletar as áreas cultivadas com essa cultura em todo o Brasil visando o conhecimento da participação das variedades de cana-de-açúcar nas regiões produtoras e indicar aos produtores as variedades que estão em expansão. No estado de São Paulo, que concentra a maior área cultivada com cana-de-açúcar, dois programas de melhoramento genético realizam censos varietais para o Estado, a RIDESA e o CTC. Ambos apresentam as áreas de plantio e de corte, sendo a soma dessas duas a área de cultivo com as diferentes variedades de cana-de-açúcar. Essas informações são disponibilizadas tanto para o estado de São Paulo como um todo como para seis regiões do Estado separadamente. Entretanto a RIDESA considera o estado de São Paulo dividido nas seguintes regiões: Araçatuba, Assis, Catanduva, Jaú, Piracicaba e Ribeirão Preto, enquanto que o CTC considera as regiões de Araçatuba, Assis, Piracicaba, Ribeirão Preto, São Carlos e São José do Rio Preto.

O censo varietal do CTC foi criado em 1981, cujo objetivo principal é estudar a evolução das variedades liberadas pelo seu programa de variedades (SP e CTC) nas áreas de formação e colheita de cana-de-açúcar em todo o Brasil (CTC, 2013a). Porém, o censo disponibiliza dados sobre a área cultivada com todas as variedades, não somente as variedades SP e CTC. A série de dados disponibilizada pelo CTC apresenta, além da área cultivada por variedade, o estágio de corte por variedade de cana-de-açúcar. As informações sobre as regiões separadamente também são feitas desde o início do levantamento. Quando comparado ao censo realizado pela RIDESA, o censo do CTC é mais antigo e mais completo, segundo Daros (2013) (Informação Pessoal)⁹.

Em relação ao estado de São Paulo, a área recenseada pelo CTC representou em média 66,60% da área total de cana-de-açúcar cultivada no estado levantada pelo IEA durante o período de 1990 a 2012 (Figura 9). Em termos regionais, a representatividade do censo varietal nas 6 regiões em estudo também está apresentada na Figura 9. A região de Piracicaba foi a que apresentou a maior representatividade média da área recenseada em relação à área total cultivada, 80,63%. A região de Assis foi a que apresentou a mais baixa participação da área recenseada em relação ao total cultivada com 44,67%.

⁹ DAROS. E. Mensagem recebida por raquelsachs@usp.br em 20 nov. 2013. Dr. Edeclailton Daros é professor da Universidade Federal do Paraná e membro da diretoria executiva da RIDESA.

Neste item será abordada a evolução das variedades de cana-de-açúcar no estado de São Paulo para o período de 1990 a 2012 utilizando-se como base o censo varietal realizado pelo CTC dado ser esse censo o mais antigo e abrangente e por suas informações serem consideradas significativas para servirem de base para essa análise.

Figura 9 – Representatividade da área do censo varietal do CTC em relação à área total cultivada com cana-de-açúcar divulgada pelo IEA, estado de São Paulo e nas 6 regiões, 1990 a 2012

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do CTC (2013) e IEA (2014)

Segundo CTC (2013a) os dados do censo são obtidos por meio de formulários enviados às usinas, destilarias, cooperativas e associações de fornecedores de cana do Brasil e apresenta resultados da área cultivada com as diferentes variedades para 18 estados, e no estado de São Paulo há uma divisão adotada pelo próprio CTC em 6 regiões como citado anteriormente.

Segundo Joaquim¹⁰ (2014) a divisão do estado de São Paulo em regiões baseou-se nas condições de clima, de solo e geologia das regiões, obtidas dos trabalhos de carta de solos do CTC e ambientes edafoclimáticos (informação pessoal). A seguir seguem as características gerais de cada região. Os municípios pertencentes a cada uma das regiões do estado de São Paulo estão apresentados no anexo A¹¹:

¹⁰ Joaquim, A.C. Centro de Tecnologia Canavieira. Mensagem recebida por raquelsachs@usp.br em 24 mar. 2014.

¹¹ A metodologia para a alocação dos municípios nas seis regiões do estado de São Paulo adotados pelo CTC está apresentado no item 6.

- Região de Araçatuba: está em uma condição climática de média à alta deficiência hídrica e temperaturas mais elevadas do que a região de São José do Rio Preto. É uma região de solos de texturas médias e arenosas, predominando os latossolos e argissolos mais arenosos derivados de arenito da Formação Adamantina e Formação Santo Anastácio. Predominam os ambientes de produção C, D e E¹².
- Região de Assis: está em uma condição climática mais favorável quanto à deficiência hídrica, porém, com temperaturas mais elevadas na região do Pontal do Paranapanema em relação à região de Piracicaba. É uma região de solos de texturas argilosas, principalmente nas microrregiões de Ourinhos e Assis, predominando os latossolos vermelhos férricos derivados de basalto, predominando os ambientes A, B e C. No Pontal do Paranapanema predominam os Latossolos de textura arenosas/médias e argissolos arenosos derivados de arenito da Formação Caiuá e Formação Santo Anastácio, predominando os ambientes de produção D e E. A região de Assis, inicialmente foi dividida em 2 regiões, porém, devido à representatividade da região do Pontal ser baixa, optou-se por manter apenas uma.
- Região de Piracicaba: está em uma condição climática mais favorável quanto à deficiência hídrica. Tem grande variação de solo, desde os solos rasos até profundos, várias classes de solos, de texturas e químicas. Estas características dos solos estão ligados à geologia da região. Apresenta a formação Corumbataí, Grupo tubarão, diabásios e arenitos da Formação Pirambóia. Tem uma distribuição mais uniforme dos ambientes de produção de A a E.
- Região de Ribeirão Preto: está em uma condição climática de baixa/média deficiência hídrica. É uma região de solos mais argilosos, predominando os latossolos vermelhos férricos derivados de basalto. Predominam os ambientes de produção A, B e C.
- Região de São Carlos: está em uma condição climática de baixa deficiência hídrica. É uma região de solos mais arenosos, predominando os neossolos quartzarênicos derivados de arenitos da formação Botucatu e Pirambóia, porém, existem solos argilosos derivados de basalto. Predominam os ambientes de produção D e E.
- Região de São José do Rio Preto: está em uma condição climática de média deficiência hídrica. É uma região de solos de texturas médias e arenosas, predominando os latossolos e

¹² O conceito Ambiente de Produção foi desenvolvido pelo CTC através de estudos relacionando banco de dados de produtividade, em áreas comerciais, com diferentes tipos de solos em várias safras. As áreas mapeadas são agrupadas em cinco ambientes de produção de cana-de-açúcar (A, B, C, D e E) considerando-se o potencial de produção de cada um deles. O ambiente A possui potencial de produtividade alto (t/cana/ha ≥ 95); ambiente B possui potencial de produção médio/alto (t de cana/ha entre 90 e 95); ambiente C possui potencial de produção médio (t de cana/ha entre 85 e 90); ambiente D possui potencial de produção médio/baixo (t de cana/ha entre 80 e 85) e ambiente E possui potencial de produção baixo (t de cana/ha abaixo de 80). Para maiores detalhes ver Benedini e Bertolani (2008).

argissolos mais argilosos em subsuperfície, derivados de arenito da Formação Adamantina. Predominam os ambientes de produção B, C e D.

Conforme mencionado anteriormente neste capítulo será feita uma análise regional da evolução das variedades, considerando-se a hipótese de que as condições edafoclimáticas são distintas nas diferentes regiões do Estado e portanto pode haver diferenças nas variedades cultivadas entre essas regiões.

O censo varietal do CTC apresenta as áreas cultivadas separando as áreas de plantio com cana de ano e meio (plantadas entre os meses de janeiro a março), das colhidas para moagem nos diversos estágios de corte: cana planta de inverno, cana planta de ano, cana planta de ano e meio e socas do segundo corte ao quinto corte e demais cortes. A Figura abaixo apresenta a participação porcentual das áreas de plantio da cana-de-açúcar no total das áreas recenseadas pelo censo varietal para os anos de 1990 a 2012 para as regiões em estudo.

Figura 10 - Participação porcentual da área de plantio na área recenseada nas regiões do estado de São Paulo, 1990-2012

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados do CTC (2013)

A renovação das áreas cultivadas, onde há a substituição de talhões mais antigos e provavelmente menos produtivos, por áreas reformadas e preferencialmente manejadas é onde espera-se que haja a introdução de variedades mais modernas, adaptadas às novas tecnologias de produção, como por exemplo plantio e colheita mecanizada. O ideal, segundo Braga Jr. e Nardy (2014) é que todos os anos sejam renovadas entre 15-20% das áreas cultivadas com cana-de-açúcar para que assim se mantenha a produtividade média esperada. A Figura 10 mostra que no período em análise, a taxa de renovação ficou próxima aos 15% na maioria dos

anos, com algumas regiões que renovaram ao redor de 20% em alguns anos, como São José do Rio Preto, Ribeirão Preto e Araçatuba.

Entretanto, no ano de 1999 a taxa de renovação foi muito aquém do indicado, reflexo do excesso de produção e queda de preços de açúcar e álcool ocorrido no ano de 1998 (CTC, 2013a). Em 2009, essa taxa atingiu novamente valores abaixo do recomendado em virtude da crise internacional, que reduziu a oferta de financiamento para os produtores brasileiros, e da crise de preços. Em 2010 e 2011 em função da grande demanda por açúcar e álcool, os produtores preferiram moer cana ao invés de reformarem os canaviais e a partir de então iniciaram a recuperação dos canaviais, começando a apresentar uma tendência de melhora a partir de 2012 (CTC, 2013a).

Segundo Casagrande (2014), a taxa de reforma dos canaviais brasileiros aumenta quando o retorno financeiro proporcionado pela cultura é maior. Entretanto, é importante ressaltar que embora custosa, a reforma dos canaviais deve ser vista como uma oportunidade de melhorar o manejo da cultura e atualizar o plantel varietal com variedades mais produtivas e modernas, aumentando a produtividade e gerando maior lucro ao produtor.

Para verificar o grau de concentração do canavial em relação às principais variedades utilizadas e, consequentemente os riscos associados a essa dependência, Raizer, Braga Jr. e Selegatto (2013) elaboraram um índice de concentração varietal (ICV) para medir o nível de concentração das variedades utilizadas. Esse índice é calculado somando-se a participação percentual das três principais variedades cultivadas. O CTC elaborou uma classificação para esse índice: ICV com valores inferiores a 40% são considerados satisfatórios; ICV com valores entre 40 e 50% são intermediários e valores maiores que 50% são considerados altos e não recomendados.

A Figura 11 apresenta o ICV nas regiões do estado de São Paulo no período de 1990 a 2012. Pode-se observar a grande concentração das principais variedades entre os anos de 1990 a 1997, acima de 50% e, portanto em um nível alto de concentração para todas as regiões do estado de São Paulo. A partir de então começou a haver uma diminuição da concentração varietal. Em algumas regiões, como Ribeirão Preto, São Carlos e São José do Rio Preto atingiram valores próximos aos 30% da área cultivada com as 3 principais variedades no ano 2000 e Piracicaba em 2001, demonstrando a preocupação dos produtores dessas regiões em diversificar o canavial a fim de se proteger principalmente de doenças e pragas que podem ocorrer na lavoura. A região de Assis atingiu esse patamar somente a partir de 2006. Essa concentração voltou a crescer a partir de 2008, em algumas regiões, como Piracicaba, São Carlos e São José do Rio Preto. Mas ainda assim a concentração é baixa. A região de

Araçatuba, em todo o período analisado, manteve-se em um nível de concentração de médio a alto, valores esses não recomendados, segundo o critério adotado pelo CTC.

Figura 11 – Índice de Concentração Varietal para as regiões do estado de São Paulo, 1990-2012

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do CTC (2013)

A evolução do número de variedades adotadas nas seis regiões do estado de São Paulo entre 1990 e 2012 está apresentada na Figura 12. Verifica-se que de 1990 até 1994, todas as regiões cultivavam menos que 100 variedades. A partir de 1995, algumas regiões como Piracicaba, São Carlos e Ribeirão Preto passaram a cultivar entre 100 e 200 variedades. Com exceção da região de Ribeirão Preto que cultivava entre 200 e 300 variedades de cana de 1996 até 2012, as demais continuaram no patamar de 100 a 200 variedades.

Figura 12 – Número total de variedades cultivadas no estado de São Paulo e regiões em estudo, 1990-2012

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do CTC (2013)

Para realizar a análise da evolução das principais variedades cultivadas durante os anos de 1990 a 2012 para as regiões do estado de São Paulo, devido ao grande número de variedades cultivadas durante o período, como visto na Figura 12, optou-se por analisar a cada cinco anos as variedades mais representativas de cada região, ou seja, as variedades mais cultivadas nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012 e verificar a mudança ocorrida no perfil varietal ao longo dos anos. Considerou-se, para fins de análise, como mais representativas as variedades cujas participações somadas sejam de no mínimo 70% do total da área recenseada com o cultivo da cana-de-açúcar (Tabela 2).

Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012

(continua)

Ano	Regiões											
	Araçatuba		Assis		Piracicaba		Ribeirão Preto		São Carlos		São José do Rio Preto	
	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part.%	Variedade	Part.%	Variedade	Part.%
1990	SP701143	39,93	SP701143	38,17	SP701143	31,15	NA5679	22,69	SP701143	27,96	SP701143	28,30
	SP711406	22,38	SP711406	18,08	SP711406	23,11	SP701143	20,58	SP711406	25,68	SP711406	24,53
	NA5679	8,62	NA5679	9,29	NA5679	20,33	SP711406	20,06	SP716163	11,87	SP716163	21,47
			SP701284	6,31			SP716163	14,74	NA5679	10,93		
1995	RB72454	29,03	RB72454	29,17	SP716163	21,07	SP716163	26,18	RB72454	22,41	RB72454	26,22
	SP701143	23,35	SP701143	27,97	RB72454	20,56	SP701143	21,54	SP701143	17,73	SP716163	23,32
	SP791011	14,59	SP716163	9,18	SP701143	18,07	RB72454	16,41	SP716163	16,56	SP701143	16,21
	SP716163	12,97	SP791011	8,23	RB785148	11,06	SP711406	7,15	SP791011	9,87	SP791011	11,57
									SP711406	7,98		

Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012
(continuação)

Ano	Regiões											
	Araçatuba		Assis		Piracicaba		Ribeirão Preto		São Carlos		São José do Rio Preto	
	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %
2000	SP791011	21,37	RB72454	27,86	RB72454	22,13	RB72454	16,10	RB72454	17,80	RB72454	15,56
	RB72454	20,39	SP801842	10,05	SP801842	10,63	SP701143	8,39	SP801842	10,84	SP791011	12,86
	RB835486	10,50	SP791011	8,89	RB785148	10,26	RB835486	8,12	SP791011	9,10	RB855536	10,03
	SP701143	8,26	RB855536	7,79	RB835089	8,41	SP801842	7,61	RB806043	7,92	SP801842	8,22
	RB845257	5,55	RB835486	6,81	SP813250	6,70	SP813250	7,24	RB855536	5,75	RB835486	7,60
	SP801842	5,50	SP701143	6,14	SP801816	5,66	SP791011	6,47	RB835486	5,18	SP701143	7,35
			SP813250	4,39	RB806043	3,92	RB855536	5,75	RB835089	5,16	SP813250	5,75
					RB855536	3,62	RB825336	4,60	SP813250	5,06	RB855113	4,40
							SP801816	3,96	SP701143	5,02		
							RB806043	3,40				

Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012
(continuação)

Ano	Regiões											
	Araçatuba		Assis		Piracicaba		Ribeirão Preto		São Carlos		São José do Rio Preto	
	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %
2005	RB835486	18,90	RB72454	17,68	SP801816	10,20	SP813250	17,00	RB72454	13,29	SP813250	14,59
	RB72454	17,57	RB855536	16,61	SP813250	9,27	RB835486	10,36	SP813250	9,43	RB835486	12,64
	SP813250	12,06	SP813250	9,03	RB72454	9,01	SP801816	8,95	RB855536	7,02	RB72454	10,69
	RB867515	11,69	SP832847	7,70	RB867515	7,66	RB72454	8,74	RB867515	6,69	RB855453	9,72
	SP791011	7,31	RB855453	5,88	SP803280	7,62	RB855536	8,42	SP832847	6,07	RB855536	8,77
	SP832847	4,40	RB835486	5,18	SP832847	7,44	RB855453	5,84	RB845210	5,74	RB867515	7,64
			RB867515	3,88	RB855156	6,62	SP801842	4,13	SP801842	5,64	SP801842	3,74
			RB855156	3,11	RB855536	6,05	SP832847	3,85	RB855156	5,60	SP832847	3,31
			SP801842	2,94	SP801842	5,80	RB867515	3,51	SP801816	4,59		

Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012
(continuação)

Ano	Regiões											
	Araçatuba		Assis		Piracicaba		Ribeirão Preto		São Carlos		São José do Rio Preto	
	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %
2005					RB855453	3,17			RB835486	4,51		
									SP803280	4,10		
2010	RB867515	30,59	RB867515	16,66	RB867515	24,92	SP813250	14,87	RB867515	26,45	RB867515	22,92
	SP813250	13,80	SP813250	11,94	SP832847	9,37	RB867515	12,33	SP813250	9,45	SP813250	18,33
	RB72454	8,67	RB855536	10,85	RB855156	8,64	RB855453	10,54	SP832847	8,90	RB855453	12,17
	RB835486	7,99	RB855453	8,77	SP813250	6,16	RB855536	5,61	RB855156	6,95	RB72454	5,61
	RB855453	5,67	SP832847	8,47	SP891115	5,09	SP803280	4,70	PO8862	5,50	RB855536	4,66
	SP832847	5,43	RB72454	7,62	RB855453	5,02	RB855156	4,33	RB855453	4,77	SP832847	4,56
			RB855156	5,26	SP803280	4,95	SP801816	4,24	SP803280	4,24	RB835486	4,36
			RB92579	2,55	SP801816	4,46	RB72454	4,11	RB855536	3,96		
					RB855536	3,58	SP801842	3,20				

Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012
(continuação)

Ano	Regiões											
	Araçatuba		Assis		Piracicaba		Ribeirão Preto		São Carlos		São José do Rio Preto	
	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %
2010							SP911049	3,04				
							SP832847	2,75				
							SP891115	2,32				
2012	RB867515	36,15	RB867515	20,39	RB867515	25,96	SP813250	15,20	RB867515	28,01	RB867515	26,03
	SP813250	16,11	SP813250	8,84	SP813250	8,41	RB867515	12,32	SP813250	10,10	SP813250	19,26
	RB855453	6,10	RB855536	8,72	RB855156	8,16	RB855453	9,64	SP832847	9,01	RB855453	12,70
	RB966928	4,63	RB855453	7,25	SP801816	6,11	RB855536	5,76	RB855156	7,68	RB855536	3,25
	RB835486	3,97	SP832847	6,53	SP832847	5,58	RB855156	5,69	RB966928	4,84	SP832847	3,05
	RB72454	3,86	RB855156	5,77	RB855453	5,38	SP801816	5,11	RB92579	4,08	RB966928	2,58
			RB92579	5,11	SP803280	4,67	SP803280	4,38	RB855453	3,56	RB935744	2,40

Tabela 2 - Principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas regiões do estado de São Paulo, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012

(conclusão)

Ano	Regiões											
	Araçatuba		Assis		Piracicaba		Ribeirão Preto		São Carlos		São José do Rio Preto	
	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part. %	Variedade	Part.%	Variedade	Part.%	Variedade	Part.%
2012			RB966928	3,54	RB966928	4,38	CTC2	3,34	SP801842	3,14	RB92579	2,39
			SP911049	3,30	CTC15	2,65	SP801842	3,15				
			RB925211	3,02			CTC15	2,57				
							SP911049	2,29				
							RB966928	1,97				

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do censo varietal do CTC (2013)

A Tabela 2 apresenta para cada uma das seis regiões do estado de São Paulo, para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2012, a participação da área cultivada com cada variedade de cana-de-açúcar em relação ao total cultivado com cana-de-açúcar que representavam juntas no mínimo 70% do total da área cultivada com essa cultura em determinada região e em determinado ano. Por exemplo, considerando a região de Araçatuba no ano de 1990, a área cultivada com a variedade SP701143 representava 39,93% da área total cultivada com cana-de-açúcar, a variedade SP711406 representava 22,38% da área total cultivada com cana-de-açúcar e a variedade NA5679 representava 8,62% da área total cultivada com cana-de-açúcar. Portanto, essas três variedades de cana, representavam juntas, aproximadamente, 70,93% da área total cultivada com cana-de-açúcar, segundo o censo varietal, na região de Araçatuba no ano de 1990, e assim sucessivamente para os demais anos e regiões.

Conforme pode ser observado pela Tabela 2 no ano de 1990 apenas 3 a 4 variedades, dependendo da região, representavam pelo menos 70% das variedades cultivadas. Dessas variedades, a SP701143 e a SP711406 estavam presentes em todas as regiões. No ano de 1995, o número de variedades que representavam juntas pelo menos 70% da área total com cana foi de 4 a 5 variedades nas seis regiões. Dessas variedades, a RB72454, a SP701143 e a SP716163 eram comuns à todas as regiões. Portanto, observou-se que nos primeiros dez anos da análise poucas eram as variedades mais representativas e a maioria eram cultivadas em todas as regiões.

A partir do ano 2000, algumas regiões, como Ribeirão Preto, cultivavam até 12 variedades que representavam pelo menos 70% da área recenseada com cana-de-açúcar. No ano 2000, 6 a 10 variedades representavam juntas 70% da área cultivada com cana nas regiões em estudo, sendo que apenas 2 estavam presentes em todas as regiões, a variedade RB72454 e a variedade SP801842. No ano de 2005, 6 a 11 variedades eram as mais significativas nas regiões em estudo e destas, 4 variedades, RB72454, SP813250, RB867515 e SP832847 eram comuns a todas as regiões. No ano de 2010 e 2012, 6 a 12 variedades representavam juntas 70% da área cultivada com cana nas regiões do estado de São Paulo. No ano de 2010, as variedades de cana-de-açúcar cultivadas em todas as regiões e que estavam entre as mais representativas foram as variedades RB867515, SP813250, RB855453 e a SP832847. No ano de 2012, também das variedades que representavam pelo menos 70% da área cultivada com cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo, 4 variedades eram comuns a todas as regiões, as variedades RB867515, SP813250, RB855453 e a RB966928.

Fazendo uma análise mais detalhada das variedades cultivadas nas regiões durante esse período, observa-se que em 1990, a variedade argentina NA5679 ainda era uma das mais cultivadas em todas as regiões com exceção apenas de São José do Rio Preto. Sua área cultivada chegava ainda a 20% da área total cultivada com cana-de-açúcar em Piracicaba e Ribeirão Preto. Essa variedade foi introduzida no início dos anos 1980, rica em açúcar e precoce, coincidindo com a implantação do sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose. Antes, a lavoura canavieira do Centro Sul mantinha-se limitada à variedade CB41-76, mais produtiva, porém com baixo teor de sacarose, visto que o sistema de pagamento da cana em vigor até 1983 era por tonelada de cana. Entretanto sua suscetibilidade à doença do carvão¹³ fez com que deixasse de ser cultivada.

A variedade SP701143, lançada oficialmente em 1983, continuou entre as mais cultivadas até o ano 2000, com exceção da região de Piracicaba. Quando do seu lançamento era a variedade mais produtiva em termos de colmos por hectare. Sua rusticidade¹⁴ se destacava entre as demais variedades, além de proporcionar maior longevidade aos canaviais. Segundo Chapola et al. (2008), deixou de ser cultivada por sua suscetibilidade à ferrugem¹⁵. A variedade SP711406, também lançada oficialmente em 1983, esteve entre as mais significativas somente em 1990. Era a mais produtiva em termos de açúcar por hectare quando comparada com a anterior, porém deixou de ser cultivada por ser suscetível à ferrugem.

A variedade SP716163, lançada em 1983, apareceu nas regiões de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e São Carlos em 1990 e viria a ser uma das mais plantadas em 1995 em todas as regiões, entretanto não constava mais na lista das mais cultivadas em 2000, pois além de ser suscetível à ferrugem também apresentou suscetibilidade à síndrome do “amarelinho”¹⁶, o que promoveu sua rápida substituição por outras variedades, por vezes, menos produtivas (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

Surge, em 1995, entre as mais cultivadas, a RB72454, lançada oficialmente em 1987, variedade de ampla adaptabilidade às condições de clima e solo e elevada resistência à ferrugem marrom, foi uma das mais cultivadas até meados da década seguinte. Esteve entre as

¹³ Doença do carvão é uma doença causada por fungo *Ustilago scitaminea* podendo causar perdas de até 100% em variedades suscetíveis. O emprego de variedades resistentes é a forma de controle mais eficiente da doença (SANTOS, 2010).

¹⁴ Culivar rústica é aquela que se adapta aos ambientes mais restritivos (LANDELL; BRESSIANI, 2010)

¹⁵ Ferrugem é uma doença causada pelo fungo *Puccinia melanocephala* causando perdas na produção (SANTOS, 2010).

¹⁶ A doença do amarelecimento foliar da cana, popularmente referido como “amarelinho” é causada por um vírus, começou a se tornar um problema para a cultura canavieira a partir de 1990 e assumiu caráter epidêmico a partir de 1993 em plantações comerciais no estado de São Paulo (GONÇALVES, 2010).

mais representativas até 2005 nas regiões de Piracicaba, Ribeirão Preto e São Carlos, até 2010 em Assis e São José do Rio Preto e ainda era cultivada na região de Araçatuba em 2012. Sua área vem diminuindo devido à queda de rendimento quando colhida mecanicamente, além da adoção de novas variedades de perfil semelhante, porém mais produtivas (REDE, 2010).

Ainda em 1995, a variedade SP791011 foi amplamente cultivada em Araçatuba, Assis, São Carlos e São José do Rio Preto. Uma variedade com boa capacidade de brotação de soqueira em condições de déficit hídrico, porém suscetível à ferrugem.

No ano de 2000, como visto anteriormente, houve um pequeno aumento do número de variedades entre as mais representativas. Além da variedade RB72454 discutida anteriormente, a outra variedade comum a todas as regiões foi a SP801842, lançada em 1993, e continuou entre as mais representativas em 2005 em Assis, Piracicaba e São José do Rio Preto, e ainda era das mais cultivadas até 2012 nas regiões de Ribeirão Preto e São Carlos. Essa variedade, segundo Santos et al. (2008), continua sendo destaque no estado de São Paulo devido à sua boa brotação sob palha.

Em 2000, a variedade SP813250, lançada em 1995, já aparecia entre as mais cultivadas, com exceção da região de Araçatuba, e viria a ser uma das mais cultivadas em todas as regiões a partir de 2005 até o ano de 2012. A variedade RB855536 aparecia entre as mais cultivadas, com exceção de Araçatuba e continuou sendo uma das mais cultivadas em todas as demais regiões até 2012, com exceção de Piracicaba e São Carlos que permaneceu até 2010.

Em 2005, a variedade RB867515 se destacava entre as mais cultivadas em todas as regiões e permaneceu entre elas até 2012. Sua grande aceitação é justificada pelo seu excelente comportamento em ambientes mais restritivos. A variedade SP813250, já uma das mais cultivadas em 5 das 6 regiões no ano de 2000, passou a ser comum a todas elas a partir de 2005 se mantendo até 2012. É uma variedade com elevado rendimento agroindustrial. Em 2005, umas das variedades mais plantadas e que estava presente em todas as regiões foi a SP832847, mantendo-se ainda em 2010 em todas as regiões e até 2012 nas regiões de Assis, Piracicaba, São Carlos e São José do Rio Preto. Segundo Santos et al. (2008), é uma variedade muito produtiva, porém seu menor teor de sacarose quando comparada a outras variedades fez com que houvesse um decréscimo de seu cultivo ao longo dos anos.

Em 2010, entre as variedades mais plantadas surge a RB855453 comum a todas as regiões e permanecendo nessa situação ainda em 2012. Essa variedade já estava entre as mais significativas no ano de 2005 nas regiões de Assis, Piracicaba, Ribeirão Preto e São José do

Rio Preto. É uma variedade com alto rendimento agroindustrial no início de safra e excelente colheabilidade, tanto manual quanto mecanizada (SANTOS et al., 2008).

Entre as mais plantadas nas 6 regiões em estudo no ano de 2012, além das variedades já citadas anteriormente, a RB867515, a SP813250, a RB855453 que eram cultivadas em todas as regiões, a variedade RB966928 ganhou destaque em 2012, variedade liberada pela RIDESA em 2010. É uma variedade precoce e com excelente brotação de soqueira, tem apresentado ótimo comportamento em plantios mecanizados (CHAPOLA et al., 2011).

Conforme pode ser observado nessa análise, as variedades cultivadas em todas as regiões praticamente eram as mesmas, mesmo quando não eram cultivadas em todas as regiões em um determinado ano, estavam presentes na maioria. Poucas foram as variedades que apareceram especificamente somente em alguma região. Entre elas destaca-se a variedade SP701284 em Assis em 1990, a variedade RB845257 em Araçatuba, a RB785148 em Piracicaba e a RB825336 em Ribeirão Preto e a RB855113 em São José do Rio Preto em 2000. Em 2005, a variedade RB845210 em São Carlos. Em 2010 a variedade SP911049 em Ribeirão Preto e a PO8862 em São Carlos. Em 2012, as variedades RB925211 em Assis, CTC2 em Ribeirão Preto e RB935744 em São José do Rio Preto.

Analisando especificamente as variedades cultivadas em 2012, ano mais recente para o qual foram disponibilizadas as informações do censo varietal, considerando as variedades mais representativas apresentadas na Tabela 2 verifica-se que foram variedades liberadas entre 1982 (RB72454) e 2010, tendo sido liberadas para cultivo comercial 10 variedades na década de 1990 e 7 variedades após os anos 2000. Na Tabela 3 estão apresentadas as variedades em 2012 que representavam pelo menos 50% da área plantada com cana-de-açúcar, portanto, verifica-se que metade do plantel de cana-de-açúcar eram cultivadas com variedades desenvolvidas na década de 1980 e liberadas comercialmente ao longo da década de 1990 estando, provavelmente, ultrapassadas tecnologicamente, susceptíveis à doenças e pragas e não adaptadas à mecanização (CARVALHO; FURTADO, 2014).

Tabela 3 – Variedades de cana-de-açúcar que ocupavam 50% da área cultivada em 2012 e seus respectivos anos de lançamento nas regiões do estado de São Paulo

Região	Variedades	Área Cultivada (ha)	Ano Lançamento	Part.% Acumulada
Araçatuba	RB867515	246766,91	1997	36,15
	SP813250	109974,21	1995	52,25
Assis	RB867515	77697,96	1997	20,39
	SP813250	33668,74	1995	29,23
	RB855536	33214,45	1998	37,95
	RB855453	27638,74	1995	45,20
	SP832847	24866,64	1999	51,73
Piracicaba	RB867515	138360,49	1997	25,96
	SP813250	44818,59	1995	34,37
	RB855156	43477,99	1995	42,53
	SP801816	32556,94	1997	48,64
	SP832847	29716,6	1999	54,21
Ribeirão Preto	SP813250	129488,31	1995	15,20
	RB867515	104948,46	1997	27,51
	RB855453	82112,15	1995	37,15
	RB855536	49078,63	1998	42,91
	RB855156	48489,6	1995	48,60
	SP801816	43552,82	1997	53,71
São Carlos	RB867515	214752,58	1997	26,03
	SP813250	158905,79	1995	45,28
	RB855453	104758,17	1995	57,98
São José do Rio Preto	RB867515	146956,15	1997	28,01
	SP813250	52973,09	1995	38,11
	SP832847	47279,74	1999	47,12
	RB855156	40301,7	1995	54,80

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do censo varietal do CTC (2013)

O programa de desenvolvimento de novos cultivares de cana-de-açúcar é por natureza essencialmente de longa duração. Normalmente o lançamento de novos cultivares tem ocorrido após treze anos de inúmeras avaliações dos clones por meio de experimentos, observando-se a reação desses clones às pragas e doenças e a produtividade dos mesmos em diferentes ambientes de produção (REDE, 2015).

Em 2009, foi detectado na região de Araraquara o primeiro foco da Ferrugem Alaranjada, doença causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, a qual em 1990 atacou uma variedade amplamente cultivada na Austrália. A partir de então, os programas de melhoramento genético passaram a realizar experimentos com suas variedades para detectar as variedades suscetíveis à essa doença. A variedade RB867515 mostrou reação intermediária à essa doença. Talvez por isso, ainda seja uma das mais cultivadas. A variedade Centauro da empresa Canaviallis foi retirada do mercado por ser altamente suscetível à essa doença.

Um índice para medir o nível de adoção de novas variedades foi proposto por Raizer, Braga Jr. e Selegatto (2013) denominado índice de atualização varietal (IAV) usado para medir a adoção das variedades liberadas nos últimos anos por uma unidade produtora, estado ou região. O IAV é um valor medido em anos, obtido da seguinte forma:

$$IAV = \left[\sum_{i=1}^m ((ano_{atual} - ACV_i) \times \left(\frac{\text{Área Cultivada Variedade } i \text{ no ano } t}{\text{Área total cultivada no ano } t} \times 100 \right)) \right] - 20 \quad (1)$$

Onde:

IAV = Índice de Atualização Varietal;

ACV = Ano de cruzamento da variedade.

Ou seja, o IAV é obtido pela somatória das diferenças entre o ano atual menos o ano de cruzamento das variedades, ponderado pela porcentagem de utilização das variedades, subtraindo 20 anos. Segundo esses autores, optou-se por extrair 20 anos do valor obtido pela somatória em função desse ser o número de anos que, em média, uma variedade leva para ter sua participação máxima no censo varietal. Esse índice representa a média da idade do plantel, portanto quanto maior o valor do IAV, menos modernas serão as variedades adotadas.

O CTC utiliza amplamente esse índice, o qual apresenta a seguinte classificação:

- IAV menor que cinco anos – satisfatório;
- IAV entre cinco e sete anos – intermediário;
- IAV maior que sete anos – não recomendado.

A Figura 13 apresenta o IAV para as seis regiões em estudo no período de 1990 a 2012. Conforme pode ser observado, durante os anos de 1990 até 2000 o índice estava na faixa considerada satisfatória, segundo o critério adotado pelo CTC, bem como apresentava uma tendência decrescente. Porém a partir de 2000 esse índice começou a apresentar uma tendência crescente, indicando uma não atualização dos canaviais com variedades mais modernas nos últimos anos do período analisado, conforme análise do censo feito nesse item.

Figura 13 – Índice de atualização varietal para as seis regiões do estado de São Paulo consideradas nesse estudo

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de CTC (2013)

Ao analisar a área com cana-de-açúcar nas 6 regiões do estado de São Paulo, verifica-se um aumento de área principalmente nas regiões de Araçatuba e São José do Rio Preto a partir dos anos 2000 (Figura 14).

Figura 14 – Evolução da área cultivada com cana-de-açúcar (em ha) nas regiões do estado de São Paulo, 1990-2012

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2013)

A região de Araçatuba, que apresentou o maior crescimento de área passando de aproximadamente 200 mil ha de cana-de-açúcar para mais de 1,2 milhões de ha, foi a com menor número de variedades plantadas e as mais antigas (Tabela 2) e com alto IAV, conforme a Figura 13. Esperava-se que por ser uma região onde a cana se expandiu nos últimos anos, vindo a ocupar áreas de pastagens degradadas, seria onde estivesse uma maior diversificação de variedades de cana-de-açúcar e um plantel mais atualizado. Entretanto não foi o observado. Provavelmente isso aconteceu por essas variedades terem apresentado boa adaptação à região em termos de qualidade do solo e mecanização.

Portanto, neste item foi feita uma análise regional do censo varietal do CTC para o período de 1990 a 2012 considerando que existam diferenças edafoclimáticas entre as regiões e portanto as variedades cultivadas seriam diferentes entre elas. Foi observado que durante esse período as principais variedades cultivadas não apresentaram grande diversidade entre as regiões, sendo praticamente as mesmas variedades cultivadas em todas elas. Além disso, observou-se que praticamente metade da área cultivada com cana-de-açúcar no ano de 2012 foram ocupadas com variedades desenvolvidas na década de 1980 e provavelmente estão defasadas tecnologicamente.

No próximo capítulo foi feita uma revisão bibliográfica sobre trabalhos que estudaram a produtividade da cana-de-açúcar, trabalhos que procuraram analisar a relação entre produtividade e inovações biológicas e alguns trabalhos que utilizaram a metodologia de análise em painel para estudar a produtividade agrícola.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar é afetada tanto por fatores físicos quanto econômicos. Na literatura existem diversos trabalhos que estudaram a produtividade da cana-de-açúcar considerando aspectos agrônômicos da cultura. A maioria deles considerou a influência do clima, de diferentes tipos de solo, adubação, disponibilidade hídrica, incidência de doenças e pragas, tipos de variedades entre outros sobre o rendimento agrícola dessa cultura.

Dentre esses trabalhos, considerando apenas o estado de São Paulo, pode-se citar os trabalhos de Dias et al. (1999) que estudaram a produtividade da cana-de-açúcar em relação à clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo, Maule, Mazza e Martha Jr. (2001) que determinaram a produtividade agrícola de nove diferentes cultivares de cana-de-açúcar em dois diferentes ambientes de produção e Trivelin et al. (2002) que estudaram a utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. Ainda, entre esses trabalhos, Picoli (2007) propôs um modelo para estimar a produtividade da cana-de-açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais considerando variáveis qualitativas e quantitativas, entre elas índice de área foliar, variedade plantada, tipo de solo, estágio de corte, aplicação de vinhaça entre outras, Gouvêa (2008) que utilizou um modelo agrometeorológico para estimar a produtividade da cana na região de Piracicaba - SP, avaliando os possíveis impactos que alterações de temperatura, precipitação, insolação e concentração de CO₂ na atmosfera poderão causar na produtividade dessa cultura e Gava et al. (2011) que estudaram a produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento.

Entretanto, na literatura nacional poucos trabalhos estudaram a produtividade da cana-de-açúcar considerando também aspectos econômicos. Entre esses trabalhos, pode-se citar o de Chamma (2009) que fez um mapeamento da evolução da produção agrícola, área, produtividade e emprego formal nas tradicionais atividades agrícolas (cana-de-açúcar, café e citros) nos municípios do estado de São Paulo no período entre 1997 e 2006. Para isso, empregou a análise quantitativa-descritiva e análise de cluster. Os resultados apresentados para a cultura da cana-de-açúcar mostraram o grande crescimento da produção canavieira entre 1997 e 2006, decorrente do aumento de área e ganhos de produtividade, além do incremento no emprego formal nessa atividade.

Considerando ainda apenas o estado de São Paulo, Satolo e Bacchi (2009) estudaram a dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo e

concluíram que o preço da cana-de-açúcar foi a variável mais importante para explicar o crescimento da produção dessa cultura.

Ainda em relação ao setor canavieiro e produtividade, Alves (2008) estudou a importância do capital humano na eficiência técnica e produtividade total dos fatores do setor canavieiro do Brasil. A análise foi feita para os principais estados produtores utilizando a análise de fronteira estocástica e o índice de produtividade de Malmquist. Os resultados mostraram que o capital humano é importante para a eficiência técnica e produtividade do setor concluindo que o nível educacional dos trabalhadores do setor canavieiro é uma variável importante a ser considerada na elaboração e implantação de políticas que visem aumentar a produtividade do setor.

Vidigal et al. (2011) estudaram a distribuição espacial da produtividade da cana-de-açúcar nos municípios do estado de Minas Gerais para o período de 1997 a 2007 utilizando a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) indicando que os municípios com maiores índices de produtividade estavam principalmente nas regiões do Triângulo Mineiro, Central Mineira, Sul/Sudeste de Minas e Campos das Vertentes, entretanto, no ano de 2007, verificou-se maior concentração de municípios com alta produtividade na região do Triângulo Mineiro influenciada por condições edafoclimáticas favoráveis, localização geográfica favorável (próxima à rodovias federais e importantes centros de pesquisa), além de melhorias tecnológicas, como uso de variedades mais resistentes à pragas e doenças e aptas à mecanização da colheita.

Souza e Teixeira (2013) analisando os condicionantes da produtividade das lavouras de cana-de-açúcar em algumas regiões do estado de Goiás para os períodos de 1985-1996 e 1996-2006, utilizaram o índice de Malmquist para o cálculo da produtividade total dos fatores, o qual pode ser dividido em dois elementos: mudança de eficiência técnica e mudança tecnológica. Os resultados indicaram ganhos de produtividade nos dois períodos, entretanto, no primeiro período foram observados altos níveis de produtividade quando comparado com o segundo, condicionados em grande parte pelos incrementos do progresso tecnológico. No segundo período foi registrada significativa queda no nível de produtividade, portanto os níveis de produtividade do setor canavieiro não se sustentou ao longo dos dois períodos.

Estudos econométricos relacionando produtividade e introdução de novas variedades de cana-de-açúcar não foram encontrados na literatura nacional. Alguns trabalhos técnicos foram feitos nessa área, entre eles pode-se citar o de Silva (2011) que utilizando uma base de dados de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar obtida via análise da cana entregue por fornecedores para fins de pagamento da matéria-prima, analisou o ganho tecnológico no

período de 1984 a 2010 e não observou qualquer acréscimo em termos de qualidade de matéria-prima expressa em pol da cana e quantidade de Açúcar Total Recuperável (ATR) por tonelada de cana, embora novas variedades tenham sido liberadas e plantadas ao longo deste período. Segundo esse autor, as pequenas diferenças constatadas no trabalho se devem mais ao clima do que a outros fatores.

Na mesma linha de trabalho técnico anterior, Demattê (2012) discutiu os resultados obtidos por Silva (2011) e fez algumas considerações sobre as possíveis causas da estagnação da produtividade da cana-de-açúcar. Para esse autor, a associação do clima com o corte mecanizado e a palha tem sido um dos fatores para a estagnação da produtividade. Ressalta ainda que a provável razão pelas quais usinas e destilarias mantêm em seu plantel variedades da década de 80 é por terem apresentado uma maior segurança varietal em relação às novas. O aumento do corte mecanizado já acarreta redução na escolha das variedades. Além disso, existe a proliferação de doenças nas novas variedades, reduzindo a vida útil assim como a segurança e, finalmente a expansão da lavoura canavieira para solos de baixa fertilidade e em condições climáticas marginais para as quais o número de variedades novas está restrito.

Niko et al. (2013) analisando a produtividade agrícola brasileira da cana-de-açúcar de 1975 a 2012, constataram que, embora essa lavoura tenha atingido uma produtividade histórica em na década de 2000, com um nível de produtividade, considerado em ATR/ha de cana, quase 130% superior ao observado em 1975, no longo prazo a produtividade apresentou uma redução dos incrementos, sugerindo que, além de fatores como adversidade climática, baixa renovação e investimentos nos canaviais, outros fatores de caráter estrutural, como por exemplo uma estagnação tecnológica do setor podem explicar essa tendência. Realizaram pesquisa com especialistas do setor sucroenergético, gerentes de pesquisa e desenvolvimento de empresas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas e pesquisadores de programas de melhoramento genético. Concluíram que apesar de nos últimos anos ter sido colocado à disposição dos produtores diversas novas variedades de cana, as variedades cultivadas ainda são da década de 80, as máquinas para o plantio e colheita mecanizada não estão adequados, causando compactação do solo.

Carvalho e Furtado (2014) analisaram os esforços tecnológicos para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar no Brasil por meio de dados primários obtidos em visitas aos programas de melhoramento genético e dados secundários de fontes oficiais e outras instituições. Os autores observaram que com o fim do Proálcool, os programas passaram por uma inércia tecnológica, com baixos investimentos em atividades de inovação, com um número reduzido de variedades lançadas, aumentando a defasagem

tecnológica. Entretanto, nos últimos anos esses programas intensificaram suas atividades tecnológicas, ampliaram sua infra-estrutura de pesquisa, introdução de novas tecnologias na área de biotecnologia e realizaram parcerias tecnológicas com instituições nacionais e internacionais refletindo em um aumento do número de variedades à disposição dos produtores.

Na literatura internacional foram encontrados alguns trabalhos sobre estudo da produtividade da cana-de-açúcar considerando aspectos econômicos. Alguns desses trabalhos estimaram uma função de produção para determinar os fatores que afetavam a produtividade da cana-de-açúcar. Entre esses trabalhos pode-se citar o de Nazir, Jariko e Junejo (2013) e Dlamini e Masuku (2012).

Em relação ao impacto do melhoramento varietal da cana-de-açúcar sobre a produtividade pode-se citar o de Ellis et al. (2001) que avaliaram os efeitos da mudança varietal sobre a tendência da produtividade da cana-de-açúcar para três municípios com usinas na Austrália para o período de 1958 a 1995. Para realizar esse estudo haviam dados disponíveis de produção de cana-de-açúcar por hectare (TCH), teor de açúcar por tonelada de cana (CCS) e teor de açúcar por hectare (TSH) para cada uma das variedades cultivadas no período. A metodologia empregada foi a de Modelos Mistos e Máxima Verossimilhança Restrita. Os resultados permitiram identificar quais as melhores variedades em termos de toneladas de cana por hectare, teor de açúcar e quantidade de açúcar por hectare e que na análise geral houve um aumento da produtividade em TCH ao longo do período estudado e que uma parte desse aumento foi explicado pelo melhoramento varietal. Embora poucos ganhos em teor de açúcar por tonelada de cana tenham sido atribuídos ao melhoramento varietal, a produção total de teores de açúcares decresceu ao longo do período em estudo devido à fatores não varietais. A produtividade em toneladas de açúcar por hectare permaneceu estável ao longo do tempo devido ao aumento da quantidade de cana por hectare em função da variedade e ao decréscimo da quantidade de açúcar por hectare. Não houve evidência de um aumento na quantidade de tonelada de açúcar por hectare após a introdução de algumas variedades em alguns anos específicos.

Para outras culturas agrícolas pode-se citar alguns trabalhos sobre o impacto do melhoramento genético sobre a produtividade agrícola dessas culturas, como o de Hartell et al. (1997) para a cultura do trigo em Punjab no Paquistão para o período de 1979 a 1985, examinaram como os recursos genéticos têm contribuído para a produtividade do trigo e a estabilidade da produtividade com uma função de produção e dados em painel. Os resultados

econométricos mostraram que mudanças varietais relacionam-se positivamente com a produtividade.

Silva, Vicente e Caser (1993) estimaram funções de produtividade para as culturas do milho e da soja na região Centro-Sul do Brasil utilizando um modelo de efeitos fixos para medir os efeitos das mudanças tecnológicas, utilizando para isso o número de artigos científicos publicados em cada Estado, condições do solo e do clima, as variações do tempo atmosférico e o uso de fertilizantes sobre a produtividade dessas culturas.

Portanto, tendo em vista a escassez de trabalhos econométricos na literatura que analisaram aspectos físicos e econômicos sobre a produtividade da cana-de-açúcar e mais especificamente a contribuição da introdução de novas variedades de cana-de-açúcar para a produtividade agrícola dessa cultura tanto no Brasil como no estado de São Paulo, esse estudo representa uma contribuição original ao tema.

6 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a estratégia empírica adotada nesse trabalho para analisar a contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo para o período de 1998 a 2009 devido à restrição da base de dados, conforme será visto posteriormente, que impossibilitou uma análise para um período mais longo. Como visto na revisão bibliográfica, não foi encontrado nenhum trabalho na literatura nacional e internacional que tenha abordado esse tema.

Primeiramente é apresentado o referencial teórico. Em seguida é feita uma breve revisão dos modelos de dados em painel (*pooled* ou MQO Agrupado, Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios) e posteriormente apresentado o modelo econométrico proposto para verificar se a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar contribuíram para o aumento da produtividade dessa cultura. Neste capítulo também será apresentada a base de dados, a descrição e análise das variáveis utilizadas no modelo econométrico proposto.

6.1 Referencial teórico

Considerando uma função de produção $y = f(x_1, x_2)$ a qual é interpretada como uma indicação tecnológica da produção máxima que pode ser obtida através da combinação de dois insumos, ou fatores, x_1 e x_2 . A questão é saber como a produção varia quando um parâmetro varia. Considerando-se também que essa firma maximiza lucro, a função objetivo dessa firma é receita total menos custo total (lucro), conforme eq. (2) abaixo:

$$\pi = py - w_1x_1 - w_2x_2 \quad (2)$$

Onde y é a função de produção, p é o preço do produto, w_1 é o preço do fator x_1 e w_2 é o preço do fator x_2 .

Executando-se o problema de maximização da função objetivo acima, obtém-se as funções demanda por fatores de máximo lucro, que expressam as combinações ótimas dos fatores de produção para cada vetor de preços de insumos e produtos. Substituindo-se estas funções demanda por fatores na função objetivo, obtém-se a função lucro, que representa sempre o lucro máximo a ser obtido para dada tecnologia e vetor de preços. A função lucro pode ser expressa como abaixo:

$$\pi^* = pf(x_1^*, x_2^*) - w_1 x_1^* - w_2 x_2^* \quad (3)$$

Pelo Lemma de Hotelling é possível recuperar as informações relativas à oferta derivando a função lucro com relação ao preço do produto:

$$y^*(w_1, w_2, p) = \frac{\partial \pi^*(w_1, w_2, p)}{\partial p} \quad (4)$$

onde y^* é o nível do produto que maximiza o lucro.

A eq. (4) representa a função de oferta da firma. Essa mostra como a produção está relacionada com o preço do produto p e os preços dos fatores. Embora a curva de oferta seja sempre construída somente contra o preço do produto p , os preços dos fatores também devem ser consideradas na função, pois os custos dos fatores afetam o nível de produção escolhida pela firma (SILBERBERG, 1990).

6.2 Modelos para dados em painel

A metodologia econométrica utilizada nesse estudo foi a de dados em painel. Esse método consiste na combinação de n entidades (famílias, indivíduos, firmas, países, estados, regiões etc) para dois ou mais períodos de tempo sendo, portanto, uma combinação entre dados de corte transversal (*cross-section*) e de séries temporais permitindo o controle da heterogeneidade presente nos indivíduos. Segundo Hsiao (2003) e Klevmarken (1989) apud Baltagi (2005) os modelos para dados em painel em pesquisa econômica oferecem uma série de vantagens em relação aos modelos de cortes transversais ou aos de séries temporais. Uma delas se refere ao fato de que esses modelos controlam a heterogeneidade individual. Outra vantagem é que os dados em painel fornecem um maior número de informações, aumentando o número de graus de liberdade e reduzindo a colinearidade entre as variáveis explicativas, consequentemente melhorando a eficiência das estimativas econométricas. Dados em painel são capazes de identificar e mensurar efeitos que não são possíveis de serem detectados por meio da análise de dados em corte transversal ou séries temporais isoladamente.

Segundo Wooldridge (2002) a estrutura básica de um modelo de efeitos não observados pode ser expresso da seguinte forma:

$$y_{it} = x_{it}\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Onde os subscritos $i = 1, 2, \dots, n$ e $t = 1, 2, \dots, T$ denotam, respectivamente, as regiões e os anos, o vetor x_{it} de dimensão $1 \times K$ de variáveis independentes (ou explicativas) por região, α_i é o efeito específico não observado em cada região (ou também conhecido como componente não observado, variável latente ou heterogeneidade não observada), o qual é considerado constante ao longo do tempo, t , e específico para cada unidade individual cross-section. O termo de erro ε_{it} é o erro idiossincrático ou erro variante no tempo, porque ele varia ao longo do tempo bem como entre as unidades cross-section e afetam y_{it} .

O objetivo dos dados em painel é obter os estimadores consistentes de β com propriedades desejadas de eficiência, sendo as pressuposições feitas sobre a correlação entre os termos aleatórios e os regressores, o que determina a forma de estimação não tendenciosa dos parâmetros.

Segundo Wooldridge (2002) a pressuposição de exogeneidade estrita, necessária para discussões de inferência estatística e eficiência dos estimadores, é condicional ao efeito não observado. A pressuposição de exogeneidade forte ou estrita pode ser formulada da seguinte forma:

$$E(\varepsilon_{it} | x_{i1}, \dots, x_{iT}, \alpha_i) = 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

Essa pressuposição implica que o termo de erro é assumido ter média zero condicional sobre valores passados, correntes e futuros das variáveis explicativas. Segundo Wooldridge (2002) sob certas pressuposições, o estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) *Pooled* ou Agrupado pode ser usado para obter um estimador consistente de β na equação 5. Reescrevendo o modelo como:

$$y_{it} = x_{it}\beta + v_{it} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

Onde $v_{it} = \alpha_i + \varepsilon_{it}$, $t = 1, \dots, T$ são os erros compostos. Para cada t , v_{it} é a soma dos efeitos não observados e o erro idiossincrático. A estimação por MQO *pooled* ou Agrupado é consistente se $E(x'_{it} v_{it}) = 0$, $t = 1, 2, \dots, T$, ou seja, nenhuma correlação entre x_{it} e v_{it} significa que:

$$E(x_{it}' \varepsilon_{it}) = 0$$

$$E(x_{it}' \alpha_i) = 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

A eq. (8) é a pressuposição restritiva, desde que $E(x_{it}' \varepsilon_{it}) = 0$ se mantém se $E(y_{it} | x_{it} \alpha_i)$ tiver sido modelado corretamente. A pressuposição apresentada na eq. (8) é feita em modelos estáticos e de defasagens distribuídas. Ainda que essa pressuposição permaneça, os erros compostos estarão serialmente correlacionados devido à presença de α_i em cada período de tempo e a inferência através de MQO *pooled* ou Agrupado exige o estimador com matriz de variância robusta.

Na maioria das aplicações, a principal razão para estimação de dados em painel é permitir que α_i esteja arbitrariamente correlacionado com o x_{it} . A análise de efeito fixo atinge esse objetivo explicitamente (WOOLDRIDGE, 2002).

Essa possibilidade de relação entre a heterogeneidade não observada e as variáveis independentes faz com que as estimativas de Mínimos Quadrados Ordinários sejam inconsistentes e viesadas pela utilização desse estimador diretamente na eq. (5). Uma forma de tratar esse problema é estimar o modelo nas primeiras diferenças, eliminando o efeito específico α_i que não varia ao longo do tempo. Portanto, considerando a eq. (5) defasada de um período:

$$y_{i,t-1} = x_{i,t-1} \beta + \alpha_i + \varepsilon_{i,t-1} \quad (9)$$

Subtraindo a eq. (9) na eq. (5):

$$y_{it} - y_{i,t-1} = x_{it} \beta - x_{i,t-1} \beta + \alpha_i - \alpha_i + \varepsilon_{it} - \varepsilon_{i,t-1}$$

$$\Delta y_{it} = \Delta x_{it} \beta + \Delta \varepsilon_{it} \quad t = 2, 3, \dots, T \quad (10)$$

Na diferenciação há perda do primeiro período de tempo de cada *cross-section*, sendo agora $T-1$ períodos de tempo, em vez de T .

Como α_i é constante ao longo do tempo, como resultado da subtração, a característica individual da região foi extraída do modelo e a pressuposição de exogeneidade estrita permanece na equação de primeiras diferenças:

$$E(\Delta \varepsilon_{it} | \Delta x_{i2}, \Delta x_{i3}, \dots, \Delta x_{iT}) = 0 \quad \text{para } t = 2, 3, \dots, T \quad (11)$$

O que significa que o estimador de primeiras diferenças é um estimador não tendencioso condicional sobre X.

Ou seja, a estimativa é dada pela simples aplicação de MQO de Δy_{it} sobre Δx_{it} . Para que os testes estatísticos sejam robustos, $\Delta \varepsilon_{it}$ precisa ser não correlacionado ao longo do tempo, o que só acontece se o ε_{it} for um passeio aleatório. Mas se ε_{it} for não correlacionado serialmente, o estimador de MQO nas primeiras diferenças será menos eficiente que o estimador *within* ou transformação de efeitos fixos.

Um método alternativo para remover o efeito fixo não observado, α_i , é chamado de transformação de efeitos fixos, também chamado de transformação *within*. Esse método remove o efeito não observado α_i antes da estimação. Considerando um modelo em que são analisadas as variações em relação à média do grupo:

$$\bar{y}_i = \bar{x}_i \beta + \alpha_i + \bar{\varepsilon}_i \quad (12)$$

Onde $\bar{y}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T y_{it}$, $\bar{x}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T x_{it}$, e $\bar{\varepsilon}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T \varepsilon_{it}$. O estimador intra-grupos (*within*) é obtido quando da subtração da eq. (12) da eq. (5), o que faz resultar em:

$$\ddot{y}_{it} = \ddot{x}_{it} \beta + \ddot{\varepsilon}_{it} \quad (13)$$

Onde $\ddot{y}_{it} \equiv y_{it} - \bar{y}_i$, $\ddot{x}_{it} \equiv x_{it} - \bar{x}_i$, e $\ddot{\varepsilon}_{it} \equiv \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i$. É importante observar que na eq.(13), o efeito não observado foi eliminado. A aplicação de MQO na eq. (13) sob a suposição de exogeneidade estrita produz estimativas consistentes dos parâmetros e o estimador é dado por:

$$\hat{\beta}_{EF} = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{x}_{it} \ddot{x}_{it} \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \ddot{x}_{it} \ddot{y}_{it} \right) \quad (14)$$

Pela análise da eq.14, observa-se que o estimador de EF intra-grupos (*within*) busca explicar as variações dentro de cada cross-section que, neste trabalho, refere-se às diferenças nos níveis de produtividade de cada região em relação à média ao longo do tempo.

Há também o estimador de EF inter-grupos (ou *between*), que busca explicar as variações entre as médias de cada *cross-section*. É o estimador de MQO aplicado na eq. (12), tendencioso quando α_i é correlacionado com $\bar{x}_i$, além de não considerar as informações sobre as variáveis ao longo do tempo.

O modelo de efeitos fixos permite que os efeitos individuais não observados sejam correlacionados com as variáveis explicativas incluídas no modelo, como visto anteriormente. Entretanto, se os efeitos individuais não observados α_i forem variáveis aleatórias que são distribuídas independentemente dos regressores, esse modelo é denominado de modelo de efeitos aleatórios, o qual normalmente faz as pressuposições adicionais que (CAMERON; TRIVEDI, 2005):

$$\begin{aligned}\alpha_i &\sim [\alpha, \sigma_\alpha^2] \\ \varepsilon_{it} &\sim [0, \sigma_\varepsilon^2]\end{aligned}\tag{15}$$

Tal que ambos os efeitos aleatórios e o termo de erro na eq. (5) são assumidos serem independentemente e identicamente distribuídos. A eq. (5) torna-se um modelo de efeitos aleatórios quando assumimos que o efeito não observado α_i é não correlacionado com cada variável explicativa:

$$Cov(x_{itj}, \alpha_i) = 0 \quad t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, k\tag{16}$$

O estimador de MQO no modelo *pooled* ou agrupado será consistente, mas a permanência de α_i no termo de erro composto faz com que ele apresente uma correlação serial positiva, de fato, sob as hipóteses de efeitos aleatórios:

$$Corr(v_{it}, v_{is}) = \sigma_\alpha^2 / (\sigma_\alpha^2 + \sigma_\varepsilon^2), \quad t \neq s\tag{17}$$

Essa correlação serial positiva no termo de erro pode ser significativa e os erros-padrão do MQO agrupado ou *pooled* ignoram essa correlação, portanto eles serão incorretos bem como as estatísticas de testes. A estimação por Mínimos Quadrados Generalizados (MQG) será mais eficiente pois corrige a presença do efeito individual não observado no erro composto. O estimador de efeitos aleatórios ou estimador de MQG pode ser calculado a partir da estimação MQO do modelo transformado:

$$y_{it} - \lambda \bar{y}_i = (x_{it} - \lambda \bar{x}_i) \beta + v_{it} - \lambda \bar{v}_i \quad (18)$$

Sendo:

$$\lambda = 1 - [\sigma_\varepsilon^2 / (\sigma_\varepsilon^2 + T \sigma_\alpha^2)]^{1/2} \quad (19)$$

A eq.(18) considera dados quase centrados na média em cada variável. O estimador de efeitos fixos subtrai as médias temporais da variável correspondente. A transformação de efeitos aleatórios subtrai uma fração daquela média temporal, na qual a fração dependerá de $\sigma_\varepsilon^2, \sigma_\alpha^2$ e do número de períodos de tempo T. A transformação representada pela eq. (18) considera variáveis que sejam constantes ao longo do tempo, e essa é uma vantagem dos efeitos aleatórios (EA) sobre os efeitos fixos (EF) ou sobre as primeiras diferenças.

Na prática, o parâmetro λ nunca é conhecido, mas pode ser estimado:

$$\hat{\lambda} = 1 - \{1/[1 + T(\hat{\sigma}_\alpha^2 / \hat{\sigma}_\varepsilon^2)]\}^{1/2} \quad (20)$$

Em que $\hat{\sigma}_\alpha^2$ é um estimador consistente de σ_α^2 e $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ é um estimador consistente de σ_ε^2 .

A eq. (18) permite relacionar o estimador de Efeitos Aleatórios tanto a MQO agrupado como aos efeitos fixos. O MQO agrupado é obtido quando $\lambda=0$, e o EF quando $\lambda=1$. Na prática a estimativa $\hat{\lambda}$ nunca sera zero ou um. Contudo, se $\hat{\lambda}$ estiver próximo de zero, as estimativas de EA estarão próximas das estimativas do MQO agrupado. Esse é o caso quando o efeito não observado, α_i , é relativamente sem importância (por ter variância pequena em relação a σ_ε^2). É mais comum ser σ_α^2 grande em relação a σ_ε^2 , caso em que $\hat{\lambda}$ estará mais próximo da unidade. Conforme T fica maior, $\hat{\lambda}$ tende para um, e isso faz com que as estimativas de EA e EF sejam muito semelhantes (WOOLDRIDGE, 2002).

A decisão de qual modelo deve ser utilizado, se efeitos fixos ou aleatórios, reside na questão se o *efeito não-observado* e as variáveis independentes são correlacionados ou não. Um teste mais formal pode ser realizado, o Teste de Hausman (1978), baseado nas diferenças das estimativas de efeitos fixos e aleatórios. O teste de Hausman basicamente é utilizado para decidir qual modelo é mais eficiente, o modelo de efeitos fixos ou modelo de efeitos aleatórios. Se houver a existência de correlação, as estimativas de efeitos aleatórios serão viesadas (inconsistentes) enquanto as estimativas de efeitos fixos serão consistentes e eficientes. Nesse caso, há grande diferença entre os valores dos parâmetros estimados. Se não há correlação, o modelo de efeitos aleatórios é consistente e eficiente, enquanto o modelo de efeito fixo é consistente, mas não eficiente. Consequentemente não haverá diferenças sistemáticas entre os coeficientes estimados. Esse procedimento testa a hipótese nula de que não existem diferenças consideráveis entre os coeficientes. Portanto, a rejeição dessa hipótese implica que o método de efeito fixo seja mais eficiente e vice-versa.

Segundo Wooldridge (2012) ao não rejeitarmos a hipótese nula de que não há diferenças sistemáticas entre os coeficientes estimados, tanto as estimativas dos efeitos fixos como de efeitos aleatórios são suficientemente próximos não importando qual usar.

Existem alguns testes frequentemente usados em modelos com dados em painel, um deles é o teste de Chow, um teste F para heterogeneidade não observada. A hipótese nula é de que todos os termos constantes na eq. (5), os α_i , são iguais a zero ($H_0: \alpha_i=0$), portanto, ao rejeitarmos a hipótese nula, o modelo de efeitos fixos é preferível ao modelo MQO agrupado. Outro teste frequentemente usado é o teste de Breusch-Pagan para decidir entre o modelo de efeitos aleatórios ou MQO agrupado, apresentado a seguir:

$$LM = \frac{nT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it}^2} - 1 \right]^2 \quad (21)$$

Onde: $\hat{\varepsilon}_{it}$ é o resíduo da regressão de MQO agrupado e sob a hipótese nula, $LM \sim \chi^2$ com 1 grau de liberdade. Se esta estatística exceder o valor Tabelado, a hipótese de heterogeneidade não-observada é válida. Portanto rejeita-se a hipótese nula de que o modelo MQO agrupado é preferível ao modelo de efeitos aleatórios.

6.3 Modelo econométrico proposto

Neste item apresenta-se o modelo econométrico proposto para estimar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de São Paulo e verificar a contribuição da introdução de novas variedades de cana-de-açúcar para o rendimento dessa cultura. O modelo compõe-se de uma equação básica que tem como referencial teórico uma função de oferta, entretanto ao invés da produção da cana-de-açúcar ser medida em termos de produção total, ela é medida em termos de produção de ATR por hectare. Admite-se ser possível identificar e analisar as variáveis relevantes que determinam a produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, onde as firmas procuram maximizar lucros e desta forma a quantidade ofertada pela firma será uma função de preços e outros fatores.

Existem diversos fatores que afetam a produtividade da cana-de-açúcar, tais como clima, manejo e mercado. Segundo Marin e Carvalho (2012) analisando a eficiência produtiva da cana-de-açúcar no estado de São Paulo ao longo de 16 safras agrícolas (1990/91 a 2005/06) para verificar a importância relativa do clima e do solo nessa cultura, observaram que os elementos climáticos explicaram 43% da variabilidade da eficiência da produção agrícola da cana-de-açúcar na seguinte ordem de importância: radiação solar, deficiência hídrica, temperatura máxima, precipitação e temperatura mínima. O solo explicou 15% da variabilidade da eficiência de produção de cana-de-açúcar. Portanto os fatores abióticos (clima e solo) respondem por 58% da eficiência da produção da cana-de-açúcar. Os 42% restantes supõe-se estarem relacionados com manejo da cultura e fatores socioeconômicos.

A equação de produtividade agrícola da cana-de-açúcar foi ajustada em forma log-linear. Ou seja, a variável dependente e algumas variáveis explicativas foram expressas na forma logarítmica permitindo obter as respectivas elasticidades. Outras variáveis, medidas em anos e índice porcentual, foram consideradas em suas formas originais. Segundo Wooldridge (2012) variáveis que são medidas em anos (como por exemplo: educação, experiência, idade etc) geralmente aparecem em sua forma original. Uma variável que é uma proporção ou porcentagem (como por exemplo: taxa de desemprego, porcentagem de alunos aprovados em determinado exame, taxas de criminalidade etc) podem aparecer tanto na sua forma original como em forma logarítmica, embora exista uma tendência de usá-la em sua forma original.

Como já mencionado no item anterior, a metodologia adotada neste trabalho é de análise de dados em painel, assim modelos de Mínimos Quadrados Agrupado (*Pooled*),

Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios foram explorados nesse trabalho para estimar a seguinte equação de produtividade da cana-de-açúcar ajustada em forma log-linear¹⁷:

$$\ln Y_{i,t} = C + \beta_1 \ln PT_{i,t-1} + \beta_2 \ln PMO_{i,t-1} + \beta_3 \ln PC_{i,t-1} + \beta_4 \ln PA_{i,t} + \beta_5 EMC_{i,t} + \beta_6 INV_1_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (22)$$

Em que o subscrito i se refere a região do estado de São Paulo, e assume os seguintes valores $i = 1, 2, 3, 4, 5$, e 6 . Por sua vez, t é o ano e o período de análise compreende $t = 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008$ e 2009 . O painel é balanceado, pois os mesmos períodos de tempo estão disponíveis para todas as regiões em estudo. Onde:

$\ln Y_{i,t}$ = logaritmo da variável produtividade da cana-de-açúcar no período t ;

C = constante;

$\ln PT_{i,t-1}$ = logaritmo da variável preço da terra no período $t-1$;

$\ln PMO_{i,t-1}$ = logaritmo da variável preço da mão-de-obra no período $t-1$;

$\ln PC_{i,t-1}$ = logaritmo da variável preço da cana-de-açúcar no período $t-1$;

$\ln PA_{i,t}$ = logaritmo da variável produtividade atingível da cana-de-açúcar (utilizada como *proxy* de fatores climáticos) no período t ;

EMC_t = variável estágio médio de corte da cana-de-açúcar no período t ;

INV_1_t = Índice de Novidade Varietal no ano t que considera a participação porcentual de novas variedades de cana-de-açúcar cultivadas no ano t que não eram cultivadas ou eram menos cultivadas nos anos anteriores ($t-1, t-2, t-3, \dots, t-n$, onde n =número de anos) e,

$\varepsilon_{i,t}$ = o erro aleatório, com média zero, variância constante e não autocorrelacionado no período t .

O período de análise compreendeu os anos de 1998 a 2009 por limitação dos dados, pois a série de preços da cana-de-açúcar para as seis regiões em estudo só foi possível ser obtida a partir de 1998 e a série de produtividade atingível (*proxy* para fatores climáticos) só foi disponibilizada até o ano de 2009.

Antes de definir os métodos de estimação, foram realizados alguns testes econométricos com a intenção de identificar possíveis problemas que geram estimativas

¹⁷ Algumas variáveis independentes foram incluídas no modelo com uma defasagem assumindo a hipótese de exogeneidade estrita (WOOLDRIDGE, 2002).

viesadas dos parâmetros. Logo, foram realizados testes para a detecção de multicolinearidade, heterocedasticidade e autocorrelação.

Para testar a presença de multicolinearidade foi utilizado o Fator de Inflação da Variância (FIV). Na prática, o FIV mostra a velocidade com que a covariância aumenta, devido ao aumento de correlação entre as variáveis explanatórias. Um variável com valor de FIV superior a 10 é altamente colinear.

Para testar a presença de heterocedasticidade foi calculada a estatística de Wald para heterocedasticidade nos resíduos da regressão em painel. A hipótese nula desse modelo especifica que $\sigma_i^2 = \sigma^2$ para $i = 1, \dots, N_g$, onde N_g é o número de unidades *cross-sections*, ou seja, a hipótese nula assume homocedasticidade dos resíduos (BAUM, 2001). Para o teste de autocorrelação foi utilizado o teste de Wooldridge que tem como hipótese nula a ausência de autocorrelação de primeira ordem¹⁸.

A primeira etapa da análise econométrica foi estimar a eq. (22) por MQO Agrupado ou *pooled*, considerando que todas as características das regiões são observadas para todas as unidades de análise. Assim, o modelo pode ser estimado por MQO e, consequentemente os estimadores de β 's serão consistentes e eficientes. Entretanto, se houver uma possível correlação entre o termo de erro $\varepsilon_{i,t}$ e pelo menos uma das variáveis explicativas, então o estimador de MQO será viesado e inconsistente pois existem fatores não observáveis ou de difícil mensuração que se correlacionam com as variáveis de controle.

Dessa forma, a segunda etapa da análise econométrica consistiu em estimar um modelo de efeitos fixos que permite que a heterogeneidade entre as regiões seja captada por um termo constante, o qual é diferente entre elas. Desse modo a variável α_i foi incorporada à eq. (22), da seguinte forma:

$$\ln Y_{i,t} = C + \beta_1 \ln PT_{i,t-1} + \beta_2 \ln PMO_{i,t-1} + \beta_3 \ln PC_{i,t-1} + \beta_4 \ln PA_{i,t} + \beta_5 EMC_{i,t} + \beta_6 INV_{i,t} + \alpha_i + \varepsilon_{i,t} \quad (23)$$

A variável dummy α_i captura todos os efeitos não-observáveis que não variam ao longo do tempo e que afetam $Y_{i,t}$. Tal heterogeneidade pode ser devida às características individuais de cada região que não são diretamente observáveis ou estão omitidas.

¹⁸ Para detalhes sobre o “teste de Wooldridge” ver Drukker (2003).

Admitindo que as características específicas das unidades de análise não estão correlacionadas com as demais variáveis explicativas, utiliza-se o modelo de efeitos aleatórios, o qual utiliza o método dos mínimos quadrados generalizados e insere os efeitos individuais no termo de erro. Esse modelo corresponde a terceira etapa da análise econométrica.

No que diz respeito aos coeficientes, espera-se que os coeficientes das variáveis preço da terra, preço da cana-de-açúcar e produtividade atingível se correlacionem positivamente com a produtividade da cana-de-açúcar (β_1 , β_3 e β_4 positivos) e que o preço da mão-de-obra e o estágio médio de corte se correlacionem negativamente com a produtividade da cana-de-açúcar (β_2 e β_5 negativos). Por fim, se o coeficiente β_6 apresentar um sinal positivo e estatisticamente significativo confirma-se a hipótese de que as inovações biológicas na cana-de-açúcar contribuíram, no período analisado, para o aumento da produtividade dessa cultura.

A seguir são descritas as variáveis que foram consideradas no modelo econométrico proposto para analisar a contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

6.4 Descrição da variáveis consideradas no modelo

6.4.1 Produtividade da cana-de-açúcar

Para a análise da contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo foi necessária a construção da variável produtividade da cana-de-açúcar com dados obtidos junto ao censo varietal do CTC, IEA e Organização dos Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil - ORPLANA.

Considerando que os programas de melhoramento genético têm como objetivo obter variedades de cana-de-açúcar mais produtivas em termos de toneladas por hectare, resistentes às principais doenças e pragas e com maior teor de sacarose, o que é fundamental para um melhor rendimento agroindustrial, foi obtida a produtividade da cana-de-açúcar em termos de quilogramas de Açúcar Total Recuperável (ATR) por hectare de cana (Kg de ATR/ha).

O ATR é a concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) na cana-de-açúcar e recuperáveis no processo industrial para a produção de açúcar e etanol expresso em quilograma por tonelada de cana (kg de ATR/t de cana).

Para a realização desse trabalho, foi utilizado como base de dados o censo varietal do CTC para 6 regiões do estado de São Paulo: Araçatuba, Assis, Piracicaba, Ribeirão Preto, São

Carlos e São José do Rio Preto. Como visto anteriormente, o censo varietal fornece informações sobre as áreas com as variedades de cana-de-açúcar cultivadas nas respectivas regiões. Entretanto, o censo varietal não disponibiliza a produtividade média da cana-de-açúcar por região e nem por variedade. Para contornar esse problema, o CTC disponibilizou um arquivo no formato shapefile, o qual é um arquivo que contém dados geoespaciais e assim, juntamente com um mapa do estado de São Paulo e o auxílio do software ArcView foi possível obter o mapa com as divisões das regiões usadas pelo CTC, conforme Figura 15 abaixo.

Figura 15 – Divisão do estado de São Paulo em seis regiões adotada pelo CTC
Fonte: CTC (2013)

Pode ser observado pela Figura acima que as divisas das regiões fizeram com que alguns municípios fossem divididos em duas regiões¹⁹. Para obter as produtividades agrícolas dos municípios e posteriormente agregá-los nas 6 regiões adotadas pelo CTC é necessário que

¹⁹ Com exceção do município de Arealva que não se enquadrou em nenhuma região, tendo ficado entre as regiões de São Carlos, São José do Rio Preto, Araçatuba e Assis. Assim, foi alocada na região de São Carlos. Considerou que tal alocação não traria grandes problemas tendo vista que esse município apresenta uma pequena área cultivada com cana-de-açúcar (menos de 1% da região entre 1998 e 2005 e variando entre 1% e 2,6% entre 2006 a 2009).

o município pertença a apenas uma região. Portanto, foi realizado um reordenamento desse mapa²⁰, de forma que as regiões ficaram definidas conforme o mapa a seguir.

Figura 16 – Divisão do estado de São Paulo em seis regiões após o reordenamento do mapa fornecido pelo CTC

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do CTC (2013)

Com base na Figura 16, utilizando os dados de área para corte (em hectares) e produção (em toneladas) por município do estado de São Paulo divulgados pelo IEA, foi possível obter a produtividade média da cana-de-açúcar em toneladas por hectare (t/ha) para cada município e posteriormente agrupando-os para as seis regiões constantes no censo varietal para o período em estudo. As produtividades médias obtidas para as seis regiões do estado de São Paulo estão apresentadas na Figura 17.

²⁰ Esse reordenamento foi feito de maneira visual e também com o auxílio de dados geoespaciais gerados pelo programa ArcView.

Figura 17 – Produtividade média da cana-de-açúcar (em t/ha) nas regiões do estado de São Paulo, 1998 a 2009

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2013)

A região de Assis foi a que apresentou menor produtividade agrícola média (em t/ha) entre os anos de 1998 e 2009, embora tenha seguido a tendência das demais regiões. Contudo, foi a região que apresentou a maior variação na produtividade agrícola no período considerado (15,84%), passando de 73,03 t/ha em 1998 para 85,05 t/ha em 2009. A região de São José do Rio Preto foi a que apresentou maior produtividade média na maior parte do período analisado. Ressalta-se a região de Araçatuba, inicialmente apresentando uma produtividade próxima às regiões de Piracicaba, Ribeirão Preto e São Carlos, começou a se destacar a partir do ano de 2004. Embora, as regiões de Ribeirão Preto e Piracicaba sejam tradicionais regiões canavieiras e portanto consideradas regiões com altas produtividades, verifica-se que a região de São José do Rio Preto e Araçatuba apresentaram produtividades superiores no período analisado.

Para a obtenção da produtividade da cana-de-açúcar expressa em quilogramas de ATR/ha de cana para as regiões em estudo foram obtidas junto à ORPLANA as quantidades médias de quilogramas de ATR por tonelada de cana-de-açúcar produzidas pelos fornecedores de cana das Associações dos Fornecedores de Cana-de-Açúcar presentes em cada uma das seis regiões do estado de São Paulo. Assim, para cada região em estudo, a qualidade da matéria-prima (em kg de ATR/t de cana) foi obtida por uma média das associações de produtores localizadas nas respectivas regiões.

Dessa forma, as informações sobre qualidade da matéria-prima para cada região foram obtidas pelas médias das seguintes Associações de Produtores de Cana:

- Região de Araçatuba: Associação de Produtores de Cana de Araçatuba, Andradina, General Salgado e Valparaíso.
- Região de Assis: Associação de Produtores de Cana de Assis, Ourinhos e Chavantes.
- Região de Piracicaba: Associação de Produtores de Cana de Piracicaba, Capivari, Porto Feliz e Santa Bárbara d'Oeste.
- Região de Ribeirão Preto: Associação de Produtores de Cana de Sertãozinho, Guaíra e Igarapava.
- Região de São Carlos: Associação de Produtores de Cana de Araraquara.
- Região de São José do Rio Preto: Associação de Produtores de Cana de Catanduva, Novo Horizonte, Monte Aprazível e Orindiúva.

As produtividades médias em quilogramas de ATR por tonelada de cana para as seis regiões em estudo obtidas pelas médias das associações localizadas em cada uma delas está apresentada na Figura 18.

Figura 18 – Quantidade em quilogramas de ATR por tonelada de cana (Kg de ATR/t de cana) para as seis regiões do estado de São Paulo, 1998-2009

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da Orplana (2014)

Comparando-se as Figuras 17 e 18 é possível observar uma mudança de comportamento da produtividade da cana quando foi considerada a qualidade da matéria-prima (em ATR/t de cana) e quando foi considerado a produtividade agrícola (t/ha). Na região de Assis que apresentou uma produtividade média em t/ha mais baixa em praticamente todo o período, a qualidade da matéria-prima, em termos de ATR/t de cana, embora continue entre as menores, em alguns anos obteve valores maiores ou iguais quando comparada à outras

regiões. A região de São José do Rio Preto que se destacava por uma produtividade maior (em t/ha) em relação às demais regiões agora também se destaca em termos de qualidade da matéria-prima juntamente com a região de Ribeirão Preto. A região de Araçatuba que apresentou um comportamento crescente da produtividade (t/ha), em termos de qualidade, a produtividade média (ATR/t de cana) ficou próxima às regiões de Piracicaba e Assis. Isso pode ser reflexo, como visto anteriormente no item 4, uma região, que embora em expansão no cultivo da cana-de-açúcar, apresentou a menor diversidade de variedades cultivadas bem como apresentou o cultivo com variedades mais antigas.

Em geral, a tendência de comportamento da qualidade da matéria-prima, a qual apresentou ganhos de qualidade nos anos de 2003 e 2006, foi a mesma para todas as regiões. No primeiro caso, os canaviais já estavam recebendo nos últimos anos (a partir da safra 2000/01) investimentos, oriundos da capitalização do setor sucroenergético, com a recuperação dos preços do açúcar no mercado internacional, das fusões e aquisições de usinas, a entrada de capital estrangeiro no país e a crescente demanda pelos veículos *flex fuel* (MACHADO; HABIB, 2009).

A safra 2006/07 foi recorde devido ao bom desempenho dos preços do açúcar no mercado internacional, pela perspectiva que havia de ampliação desse mercado para os produtos brasileiros e a crescente demanda pelo etanol hidratado (BARÃO, 2006). A partir da safra 2007/08 todas as regiões apresentaram queda na qualidade da cana-de-açúcar, reflexo de condições climáticas desfavoráveis e menores investimentos nos canaviais.

A produtividade da cana-de-açúcar em kg de ATR/ha foi obtida da seguinte forma:

$$\text{Produtividade média da cana-de-açúcar em kg de ATR/ha} = \text{Produtividade média em t/ha} \\ \times \text{Kg de ATR/t de cana}$$

A Figura 19 apresenta a produtividade da cana-de-açúcar em quilogramas de ATR/ha de cana-de-açúcar. Observa-se o mesmo comportamento da Figura 18.

Figura 19 – Produtividade média nas regiões em estudo (em kg de ATR/ha de cana-de-açúcar), 1998-2009

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2014) e ORPLANA (2014)

6.4.2 Preço da cana-de-açúcar

Conforme visto na revisão bibliográfica, além dos fatores climáticos, o preço da cana também exerce influência sobre a produtividade agrícola dessa cultura (SATOLO; BACCHI, 2009). O aumento do preço da cana-de-açúcar faz com que os produtores adotem novas práticas de manejo da cultura, intensificando os tratamentos culturais e refletindo portanto, em um incremento na produtividade.

Para a elaboração da série do preço da cana-de-açúcar em R\$/t de cana-de-açúcar para as seis regiões do estado de São Paulo foram utilizadas as séries da quantidade média de quilogramas de ATR por tonelada de cana para as regiões em estudo obtidas junto à ORPLANA, conforme explicado no item anterior e o preço do quilograma do ATR (R\$/kg de ATR) divulgados pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do estado de São Paulo (CONSECANA-SP)²¹ para o período de 1998 a 2009, da seguinte forma:

$$VTC \text{ (R\$/t de cana)} = Q^{de} \text{ de ATR (kg de ATR/t de cana)} \times \text{Valor do ATR (R\$/kg de ATR)}$$

²¹ O CONSECANA é uma associação formada por um grupo técnico e econômico constituído por representantes das indústrias de açúcar e do álcool e dos plantadores de cana-de-açúcar. A principal atribuição desse grupo foi o desenvolvimento de um novo sistema de pagamento de pagamento pelo qualidade da cana entregue pelos produtores às unidades industriais denominado Sistema de Remuneração da Tonelada de Cana pela Qualidade/CONSECANA (CONSELHO, 2006).

Onde:

VTC = valor para a cana-de-açúcar em R\$/t;

ATR = teor de Açúcar Total Recuperável da cana entregue, expresso em quilograma por tonelada de cana (kg de ATR/t) e,

Valor do ATR = preço médio de um quilograma de Açúcar Total Recuperável (ATR), obtido em nível estadual.

O valor do ATR é obtido em função dos preços líquidos do açúcar branco destinado ao mercado interno e externo, do açúcar VHP destinado ao mercado externo, do etanol anidro e hidratado (carburante e industrial) comercializados no mercado doméstico e internacional. É determinado, também, pelo *mix* de produção de cada unidade industrial, ou seja, a quantidade produzida de açúcar e álcool, e pela participação da matéria-prima nos custos de produção do açúcar e do álcool. Portanto, com a adoção do modelo CONSECANA, o preço da matéria-prima a partir da safra 1998/99 passou a ser determinado com base nos preços praticados no mercado para o açúcar e álcool, entre outros fatores²². Dessa forma, os preços desses produtos não foram incluídos no modelo considerando que o preço da cana representa o preço dos produtos finais.

A série de preço da cana-de-açúcar foi deflacionada pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna - IGP-DI obtido da base de dados do Instituto de Pesquisa Economia Aplicada - IPEA e trazido para valores reais de dezembro de 2013. A Figura abaixo mostra o comportamento da série de preço da cana-de-açúcar para o período analisado, nas regiões do estado de São Paulo.

²² Para maiores detalhes do CONSECANA ver CONSELHO (2006).

Figura 20 – Preço da cana-de-açúcar (R\$/t de cana) nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009, em valores reais de dezembro de 2013

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da ORPLANA (2014)

Pela Figura 20 observa-se que a tendência de preço da cana-de-açúcar é a mesma para todas as regiões ao longo do período estudado. As regiões de Ribeirão Preto e São José do Rio Preto foram as que apresentaram os maiores valores da tonelada de cana na maioria dos anos, reflexo da melhor qualidade da matéria-prima nessas regiões, conforme demonstrado pela Figura 18. Verifica-se que em alguns anos, como em 2005, 2006 e 2009, a região de São Carlos apresentou preços superiores que as regiões de Ribeirão Preto e Araçatuba. A região de Assis apresentou os menores preços da cana-de-açúcar entre as regiões estudadas na maioria dos anos. As regiões de Piracicaba e Araçatuba também apresentaram preços mais baixos em alguns anos quando comparadas às demais regiões.

Ao comparar a qualidade média da matéria-prima em ATR/t de cana e os preços da cana-de-açúcar no período estudado (Figuras 18 e 20), observam-se anos que embora a qualidade da matéria-prima apresentou incrementos positivos, o preço recebido pela cana-de-açúcar apresentou decréscimos em função da tendência de queda dos preços dos produtos finais (açúcar e etanol), como por exemplo o ano de 2003. No ano de 2009, embora tenha apresentado uma forte queda na qualidade da matéria-prima, devido às condições climáticas desfavoráveis, entre outros fatores, apresentou um acréscimo de preço da cana em relação aos anos anteriores, reflexo dos bons preços obtidos principalmente pelo açúcar.

6.4.3 Preço da terra

A série de preço da terra refere-se às séries históricas de preços da terra cultura de primeira em R\$/ha provenientes do levantamento por municípios do estado de São Paulo realizado pelo IEA e pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI para o período de 1998 a 2009. Essas informações foram agregadas para as regiões em estudo. A série de preço da terra foi deflacionada pelo IGP-DI obtido da base de dados do IPEA e trazido para valores reais de dezembro de 2013.

A Figura 21 mostra o comportamento dos preços da terra nas regiões em estudo. Nota-se uma maior valorização no preço da terra a partir de 2001 devido à maior demanda por terra por parte dos novos grupos de investidores.

Figura 21 - Evolução do preço da terra cultura de primeira para as regiões em estudo, 1998-2009, em valores reais de dezembro de 2013

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2014)

Em termos regionais, como era de se esperar, a região de Ribeirão Preto e Piracicaba foram as regiões que apresentaram os maiores preços da terra, pois são regiões tradicionais no cultivo da cana, com boa qualidade de solo e possuindo uma menor área disponível para a expansão da cultura. Dos anos de 1998 a 2000 os preços permaneceram estáveis em todas as regiões, com exceção de Piracicaba e São Carlos que apresentaram pequeno decréscimo de preços. A partir de então, a tendência foi de alta para todas as regiões. A região de Assis e Araçatuba foram as que apresentaram menores valores da terra para o período em estudo.

Os preços da região de Araçatuba começaram a se elevar a partir de 2001 movido pela grande expectativa do aumento da demanda por etanol, pois foi na região oeste e noroeste do estado que houve maior expansão da cultura da cana-de-açúcar, processo esse aliado à busca por terras mais baratas em regiões de grande potencial produtivo para a cultura, substituindo as áreas de pastagens degradadas e de baixa produtividade (CARVALHO, 2009).

Na literatura não existe uma relação bem definida entre preço da terra e produtividade agrícola. Um trabalho desenvolvido por Chryst (1965) afirma que preços e renda tendem a aumentar o aluguel e o valor da terra e que o desenvolvimento tecnológico somado às políticas de suporte de preços agrícolas tem efeito positivo sobre o preço e renda da terra. Por outro lado Barros (2009) apud Spolador e Barros (2010) concluiu que o aumento da produtividade da terra gerada pela adoção de novas técnicas e uso mais intensivo de insumos desvaloriza a própria terra, pois quando há a adoção de inovação e há uma alteração dos preços relativos (relação preço de combustíveis e agroquímicos/fertilizantes e preço da terra, por exemplo), os produtores tendem a usar mais o recurso abundante havendo uma substituição da terra pelo insumo, diminuindo a demanda por terra e abaixando seu preço. Quando a produtividade se estabiliza há uma maior demanda por terra, aumentando seu preço, portanto Spolador e Barros (2010) fizeram uma análise da produtividade agrícola e preço da terra e concluíram que há uma relação inversa entre eles. Ferro e Castro (2013) chegaram à diferentes conclusões. Para esses autores em regiões desenvolvidas e com maior grau de ocupação, como no caso do Sudeste do Brasil, onde localiza-se o estado de São Paulo, a produtividade agrícola apresentou uma relação positiva com o preço da terra.

Dessa forma, percebe-se que não há uma relação bem estabelecida na literatura entre preço da terra e produtividade agrícola. Essa relação entre preço da terra e produtividade pode causar o problema de endogeneidade quando colocamos o preço da terra como variável explicativa no modelo econométrico para explicar a produtividade, podendo haver simultaneidade entre elas. Entretanto, esse problema foi eliminado nesse trabalho pois a variável preço da terra como variável controle para explicar a produtividade foi incluída no modelo defasada de um período eliminando uma possível endogeneidade que por ventura pudesse existir.

Considera-se nesse trabalho que quanto melhor a qualidade da terra, como no caso das terras do estado de São Paulo, mais produtiva será a terra, havendo uma relação positiva entre preço da terra e produtividade. Além do mais, a terra sendo o principal ativo de um empreendimento agrícola, as variações do preço da terra exercem influência direta sobre a

rentabilidade do negócio. Portanto, quanto mais alto o valor da terra, apenas a elevada produtividade justifica sua exploração agrícola.

6.4.4 Preço da mão-de-obra

A variável preço da mão-de-obra refere-se às séries históricas de preços do tratorista em R\$/mês provenientes do levantamento por municípios do estado de São Paulo realizado pelo IEA e CATI para o período de 1998 a 2009. Essas informações foram agregadas para as regiões em estudo. A série de preço da mão-de-obra foi deflacionada pelo IGP-DI obtido da base de dados do IPEA e trazido para valores reais de dezembro de 2013 (Figura 22).

Figura 22 – Evolução do preço da mão-de-obra para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009, em valores reais de 2013

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IEA (2014)

O preço da mão-de-obra refere-se ao preço pago ao tratorista na agricultura em geral, usado como proxy para mão-de-obra na cultura da cana-de-açúcar, o qual apresentou a mesma tendência para todas as regiões no período estudado. Do ano de 1998 até 2004, houve uma tendência de queda dos preços do tratorista em todas as regiões, havendo uma inversão dessa tendência a partir de então. Da mesma forma que para o preço da terra, a região de Ribeirão Preto foi a que apresentou os maiores preços da mão-de-obra. A região de Piracicaba apresentou valores próximos a de Ribeirão Preto até o ano de 2002. A partir de então, as regiões de São José do Rio Preto e Araçatuba começaram a apresentar altos valores do preço da mão-de-obra.

Segundo Oliveira (2009) a retomada do crescimento da agropecuária brasileira no período de 1999 a 2007 refletiu-se no aumento mais expressivo do rendimento médio das pessoas ocupadas na agropecuária brasileira. Esse crescimento do rendimento do trabalho é muito parecido com a tendência de crescimento do valor real do salário mínimo após a estabilização monetária.

A variável preço da mão-de-obra foi incluída no modelo como uma variável controle para a determinação da produtividade da cana-de-açúcar, considerando essa variável como um dos componentes do custo de produção da lavoura de cana-de-açúcar. Espera-se que haja uma correlação negativa entre essa variável e a produtividade da cana-de-açúcar.

6.4.5 Produtividade atingível

Como visto anteriormente, a cultura da cana-de-açúcar necessita de um período quente e úmido seguido de um período seco e com temperaturas mais baixas para se desenvolver plenamente. Segundo Machado (1987) a taxa de acúmulo de sacarose é maior durante a última fase do ciclo da cana, quando a planta tem pequena taxa de crescimento, coincidindo com o período de restrição climática que induz a maturação. Portanto, para analisar o efeito do clima sobre a produtividade da cana-de-açúcar seria necessário utilizar as variáveis temperatura e precipitação pluviométrica em diferentes períodos de tempo, pois uma média anual seria de difícil interpretação. Dessa forma, optou-se por utilizar como *proxy* da variável de fatores climáticos (precipitação, temperatura e outras variáveis climáticas) a variável produtividade atingível²³.

Essa variável é modelada por um sistema denominado “Sistema de Suporte à Decisão e Transferência de Agrotecnologia” – DSSAT (do inglês Decision Support System Agrotechnology Transfer)/CANEGRO. Esse sistema leva em consideração, a temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluviométrica, radiação solar e tipo de solo. Dessa forma, essa variável indica qual a produtividade possível de ser atingida considerando essas condições edafoclimáticas no decorrer do ciclo produtivo da cana-de-açúcar.

²³ Segundo Marin (2014) produtividade potencial é definida como aquela obtida por um genótipo adaptado sob condições ótimas de cultivo, sem qualquer fator limitante (água) ou redutores (pragas, doenças, nutrientes) ao seu crescimento. Produtividade atingível é aquela obtida por um genótipo adaptado sob condições reais de cultivo, sob influência desfavorável de um ou mais fatores limitantes (água) ou redutores (pragas, doenças, nutrientes) ao seu desenvolvimento. A definição de produtividade potencial e atingível são similares, porém na produtividade atingível a cultura sofre algum estresse por falta d'água e, portanto é dependente do tipo de solo que afeta a sua capacidade de retenção de água, a profundidade do sistema radicular e da topografia do terreno.

Esse modelo está descrito em Marin et al. (2012) e para modelar essa variável para cada região em estudo foram considerados as estações meteorológicas localizadas em municípios dentro de cada região. Portanto, para a região de Araçatuba os dados meteorológicos foram obtidos das estação do município de Presidente Prudente; para a região de Assis os dados meteorológicos foram obtidos da estação do município de Avaré; para região de Piracicaba os dados meteorológicos foram obtidos da estação do município de Piracicaba; para a região de Ribeirão Preto os dados meteorológicos foram obtidos dos municípios de Pradópolis; para região de São Carlos os dados meteorológicos foram obtidos do municípios de São Simão e para a região de São José do Rio Preto os dados meteorológicos foram obtidos dos municípios de Catanduva.

Essas informações edafoclimáticas inseridas no modelo para obtenção da produtividade atingível foram constituídas de modo a simular três diferentes condições de manejo da cana soca em cada safra. A primeira representou 28% da área total da soqueira de corte precoce, a segunda representou 44% da área total de soqueira de meio de safra e a terceira representou 28% de uma soqueira tardia. Portanto, a produtividade atingível para cada safra foi obtida por uma média ponderada dessas três simulações. Essa variável é considerada contemporaneamente no modelo porque refere-se ao ano de colheita considerando as condições climáticas ocorridas durante todo o ciclo produtivo da cana a partir do seu plantio.

O comportamento da produtividade atingível está apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Produtividade Atingível (em t/ha) para a cana-de-açúcar simulado pelo DSSAT/CANEGRO, 1998-2009

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados fornecidos por Marin (2014)

A produtividade atingível em t/ha também foi transformada em produtividade atingível em kg de ATR/ha, conforme descrito para a variável produtividade agrícola da cana-de-açúcar e está apresentada na Figura 24.

Figura 24 – Produtividade Atingível em kg de ATR/ha de cana-de-açúcar

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Marin (2014) e ORPLANA (2014)

Ao comparar a produtividade atingível com a produtividade observada (Figura 19), existe uma diferença entre as duas. Verifica-se que a região de São José do Rio Preto, apresenta a menor produtividade atingível em comparação com as demais regiões. Entretanto, em relação à produtividade observada foi a região com as maiores produtividades alcançadas. Como a produtividade atingível leva em consideração a produtividade a ser alcançada considerando apenas aspectos climáticos, essa inversão de comportamento provavelmente é reflexo de uma região que apresentou um melhor manejo da cultura e portanto, conseguiu obter maiores produtividades. A região de São Carlos que apresentou os maiores patamares de produtividade atingível obteve produtividades abaixo das regiões de São José do Rio Preto e Ribeirão Preto e em alguns anos abaixo da região de Araçatuba. Essa diferença de valores possíveis de serem atingidos considerando apenas os aspectos climáticos e a produtividade efetivamente realizada, representa regiões em que outros fatores também exerceram influência na produtividade.

6.4.6 Estágio médio de corte

A idade do canavial é representada pela variável Estágio Médio de Corte (EMC) medida em anos. Braga Jr. e Nardy (2014) analisaram a influência da idade do canavial sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Para realizar essa análise, os autores levantaram no programa de Benchmarking do CTC informações de áreas de colheita, produção e produtividade das últimas 26 safras agrícolas da região Centro-Sul. A partir da análise combinada desses dados foi possível obter uma equação que estima o valor da produtividade em t/ha em função do EMC. O resultado encontrado demonstrou que a produtividade agrícola está diretamente relacionada com o EMC, indicando que uma aumento de 1 ano no EMC provoca uma perda de 8,8 t de cana/ha. Portanto a variável EMC da cana-de-açúcar não deve ser desconsiderada em estimativas de produtividade agrícola dessa cultura.

A variável EMC foi calculada com base no censo varietal do CTC. Como visto anteriormente, o censo varietal disponibiliza informações de área cultivada separando as áreas de plantio com cana de ano e meio (plantadas entre os meses de janeiro a março), das colhidas para moagem nos diversos estágios de corte: cana planta de inverno, cana planta de ano, cana planta de ano e meio e socas do segundo ao quinto e demais cortes e cana bisada. O cálculo do EMC excluiu as áreas com plantio de ano e meio (PAM) e bisada.

A fórmula utilizada para calcular o EMC, em anos, fornecida pelo CTC²⁴ é dada a seguir:

$$EMC_t = [(AC_1corte_t \times 1) + (AC_2corte_t \times 2) + (AC_3corte_t \times 3) + (AC_4corte_t \times 4) + (AC_5corte_t \times 5) + (AC_ > 5corte_t \times 6,58)] / AC_total_t \quad (24)$$

Onde:

EMC_t = estágio médio de corte no ano t ;

AC = área colhida com cana nos respectivos cortes no ano t .

O EMC foi calculado para os anos de 1998 a 2009 e para as 6 regiões consideradas nesse estudo e estão apresentados na Figura abaixo.

²⁴ BRAGA JR., R.LC. Centro de Tecnologia Canavieira. Segundo comunicação pessoal as ponderações para o cálculo do EMC foram obtidas após regressão feita entre produtividade e estágio de corte ao longo de 26 safras agrícolas.

Figura 25 – Evolução do estágio médio de corte para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do CTC (2013)

Observa-se pela Figura 25 que as regiões de São José do Rio Preto e Araçatuba foram as que apresentaram o menor estágio médio de corte em relação às demais regiões, ou seja, foram as regiões que renovaram mais as áreas cultivadas, substituindo talhões mais antigos e consequentemente menos produtivos por áreas reformadas e preferencialmente bem manejadas. Isso refletiu em uma maior produtividade em termos de t/ha e Kg de ATR/ha conforme visto nas Figuras 17 e 19.

6.4.7 Índice de novidade varietal

Para poder captar a contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, dado o grande número de variedades cultivadas atualmente, foi necessário a utilização de um número índice que representasse esta variável. A literatura sugere algumas opções: “proporção da área plantada com variedades recentemente lançadas”, “índice de melhoramento varietal” e “índice de novidade varietal”. Esses índices estão descritos em Brennan (1984).

O índice “proporção da área com variedades recentemente lançadas” é um indicador mais simples que os demais, calculado da seguinte forma:

$$q_{it} = p_{i,t} \text{ se ano de lançamento} \geq t-m,$$

$$q_{it}=0 \text{ se ano de lançamento} < t-m$$

Onde:

$p_{i,t}$ = participação percentual da área cultivada com a variedade i sobre o total da área cultivada no ano t .

m = número de anos usados para definir “recente”.

Então

$$I_t = \sum_i q_{it} \quad (25)$$

Onde I_t é a proporção da área total que é cultivada com variedades lançadas nos m anos anteriores.

Conforme visto anteriormente (Figura 12, no item 4), o número de variedades cultivadas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo é muito grande, variando entre 50 a 300 variedades cultivadas no período estudado, e não foi possível ter acesso ao ano de lançamento de todas essas variedades cultivadas, pois são informações esparsas e alguns programas de melhoramento não dispõem da data oficial de lançamento de uma determinada variedade. Além disso, há uma dificuldade em definir o que é um “período recente” para a cultura da cana-de-açúcar pois a obtenção de uma variedade é muito demorada, em média 10 anos, e após sua liberação para plantio comercial, demora aproximadamente 10 anos para atingir um aproveitamento máximo no campo (RAIZER; BRAGA JR.; SELEGATO, 2013).

O “índice de melhoramento varietal” pode ser especificado como:

$$I_t = \sum_i (p_{it} \times v_{it}) \quad (26)$$

Onde:

I_t = é o valor do índice no ano t ;

p_{it} = participação da $i^{ésima}$ variedade no total da área cultivada no ano t e

v_{it} = produtividade da $i^{ésima}$ variedade relativa a produtividade de uma variedade base no ano t .

Este índice requer dados referentes à produtividade e a área para cada variedade cultivada pelos produtores em cada ano. Quando não há essa disponibilidade de informações, é possível fazer um ajustamento para corrigir para a proporção de variedades não incluídas.

O ajuste é feito da seguinte forma:

$$I_t = \sum_i (p_{it} \times v_{it}) / \sum_i p_{it} \quad (27)$$

O ajustamento é exato se as variedades não incluídas apresentam uma performance tão próxima quanto à média das variedades incluídas. Quanto mais próximo de unidade estiver $\sum_i p_{it}$ em cada período, menos importante será o ajuste.

Entretanto, pode não ser possível obter informações relativas às produtividades agrícolas ao nível do produtor. Somente os experimentos varietais são fontes confiáveis de produtividade relativa. Uma abordagem alternativa é usar a produtividade média relativa, baseada nos resultados de todos os experimentos nos quais a variedade foi incluída, mais do que a produtividade para um particular ano. Então a forma modificada do índice será:

$$I_t = \sum_i (p_{it} \times v_i) / \sum_i p_{it} \quad (28)$$

Onde:

v_i = produtividade média da $i^{\text{ésima}}$ variedade relativa à produtividade de uma variedade base.

Assim é provável que haja uma redução nos problemas com os dados desde que a maioria das variedades foram incluídas nos ensaios naquelas regiões em algum período de tempo.

Segundo Brennan (1984) o índice de melhoramento varietal é o que talvez possa melhor captar a contribuição da melhoria varietal para a produção. Porém, a construção desse índice não foi possível pois seu uso limita-se à informação de produtividade por variedade. Embora na forma modificada seja possível considerar a produtividade de uma variedade relativa à uma variedade padrão obtida nos experimentos agrícolas de melhoramento varietal não foi possível obter essa informação junto aos programas de melhoramento genético por algumas razões, a saber: (1) mesmo tendo acesso aos cadernos de lançamentos de algumas variedades, as variedades-padrão usadas para comparar o ganho de produtividade das novas variedades mudam ao longo do tempo, não sendo possível obter uma continuidade para essa informação; (2) não foi possível ter acesso aos dados dos experimentos agrícolas de variedades de alguns dos programas de melhoramento genético existentes no Brasil e (3) como visto para o índice anterior, o número de variedades existentes de cana-de-açúcar é muito grande, impossibilitando a obtenção desse índice.

O terceiro índice proposto por Brennan (1984) é o Índice de Novidade Varietal o qual mede a relativa novidade das variedades cultivadas estimando a proporção da área cultivada com variedades que não eram cultivadas anteriormente. Esse índice mede a taxa de variação da introdução de novas variedades cultivadas ao invés do nível de produtividade dessas variedades. O índice é construído da seguinte forma:

$$z_{it} = p_{i,t} - p_{i,t-n} - 2p_{i,t-2n} - 3p_{i,t-3n} - \dots \quad (29)$$

Onde:

$p_{i,t}$ = porcentagem do total de área cultivada com a variedade i no ano t ,
 $t-n, t-2n, t-3n...$ = referem-se à $n, 2n, 3n$ anos antes e assim por diante e
 $n = 1, 2, 3, .. x$ anos, dependendo da base de dados disponível.

Fazendo:

$$\begin{cases} x_{it} = z_{it} & \text{se } z_{it} \geq 0, e \\ x_{it} = 0 & \text{se } z_{it} < 0 \end{cases} \quad (30)$$

Então $I_t = \sum x_{it}$

Onde I_t é o valor do Índice de Novidade Varietal no ano t .

Dessas três medidas propostas por Brennan (1984) apenas o Índice de Novidade Varietal foi possível de ser calculado com as informações disponíveis no censo varietal do CTC, portanto esse índice foi utilizado nesse trabalho como a variável para medir a contribuição das inovações biológicas na produtividade agrícola da cana-de-açúcar²⁵. Esse índice mede a relativa novidade das variedades cultivadas, estimando a proporção da área total cultivada com cana-de-açúcar cultivadas com variedades de cana no ano t que não eram cultivadas ou eram pouco cultivadas em períodos anteriores. Esse índice mede a taxa de variação das variedades cultivadas ao invés do nível de produtividade dessas variedades. O Índice de Novidade Varietal para o período de 1998 a 2009 foi calculado para o estado de São Paulo e para as regiões em estudo da seguinte forma:

²⁵ Embora o IAV proposto por Raizer, Braga Jr. E Selegatto (2013) também seja um índice para medir a adoção das novas variedades de cana, optou-se pelo uso do Índice de Novidade Varietal proposto por Brennan (1984) pela maior clareza em sua elaboração.

$$z_{it} = p_{i,t} - p_{i,t-1} - 2p_{i,t-2} - 3p_{i,t-3} - \dots \quad (31)$$

Onde

$p_{i,t}$ = porcentagem do total da área cultivada com a variedade i no ano t , onde $t=1998, 1999, \dots, 2009$.

Para ilustrar como foi calculado esse índice, o banco de dados do CTC dispõe de áreas cultivadas por variedades de cana-de-açúcar desde o ano de 1984 até o ano de 2012, portanto, para calcular o Índice de Novidade Varietal foram calculadas as participações percentuais da área cultivada com cada variedade no total cultivado com cana-de-açúcar em cada ano ($p_{i,t}$). Por exemplo, considerando a região de Araçatuba e o ano de 1998. Foram calculadas as participações de todas as variedades que eram cultivadas no ano de 1998 no total da área de cana-de-açúcar de 1998, 1997, 1996, 1995 até o ano de 1984, que foi o primeiro ano disponibilizado pelo CTC. Assim, foi possível obter o $z_{i,t}$ para cada variedade e ano, conforme eq. (31). Com o cálculo do $z_{i,t}$ foi possível estabelecer a relação descrita na eq. (30) e portanto calcular o Índice de Novidade Varietal para o ano de 1998. E assim foi feito para os demais anos e regiões. Esse índice estabelece um maior peso para as variedades que são mais cultivadas no ano t do que quando eram cultivadas em períodos anteriores. O cálculo do índice para o ano de 1998 para a região de Araçatuba, considerando $n = 1$ está apresentado no anexo B.

O índice de novidade varietal está apresentado na Figura 26. Observa-se que após apresentar uma queda nos anos de 1998 a 2000, indicando que a participação de novas variedades de cana-de-açúcar que estavam sendo cultivadas a cada ano estava diminuindo, o quê corresponde ao aumento do EMC nesses anos conforme mostra Figura 25, o índice de novidade varietal ficou praticamente estável até 2009, com alguns anos apresentando uma ligeira alta, como nos anos de 2001 e 2003, e em 2006 para a região de Assis.

Figura 26 - Índice de Novidade Varietal para as regiões do estado de São Paulo, 1998-2009
 Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do CTC (2013)

No próximo item são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados utilizados, os resultados do testes econométricos realizados antes das estimações modelo econométrico proposto, os resultados e discussão do modelo estimado.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da estimação do modelo econométrico proposto para medir a contribuição das inovações biológicas da cana-de-açúcar na produtividade dessa cultura (em kg de ATR/ha) no estado de São Paulo. O modelo foi especificado na forma log-linear, de modo que a variável a ser explicada aparece na forma de logaritmo, enquanto algumas variáveis explicativas aparecem na forma de logaritmo e outras na forma linear²⁶.

Conforme visto no item 6.3, a variável dependente é a produtividade da cana-de-açúcar em kg de ATR/ha de cana e as variáveis explicativas são o preço da terra (R\$/ha), preço da mão-de-obra (R\$/mês), preço da cana (R\$/t de cana), produtividade atingível (como proxy dos fatores climáticos, em kg de ATR/ha), estágio médio de corte (em anos) e índice de novidade varietal (em %). As duas últimas variáveis foram estimadas em suas formas originais enquanto a variável dependente e as demais variáveis foram estimadas na forma de logaritmo. Foi realizada uma análise em painel para 6 regiões do estado de São Paulo para o período de 1998 a 2009. A Tabela 4 mostra as estatísticas descritivas para as variáveis utilizadas na análise empírica, a qual sintetiza as informações sobre o número de observações, média, desvio padrão, valores mínimos e máximos.

Tabela 4 - Variáveis do modelo econométrico proposto, 1998 a 2009

(continua)

Variável	Nº de Obs.	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Produtividade Agrícola em kg de ATR/ha de cana	66	12.071,59	783,26	10.141,13	13.430,95
Preço da Cana em R\$/t	66	67,11	12,45	49,12	87,54
Preço da Terra em R\$/ha	66	15.299,74	5.964,82	5.658,30	29.271,88
Preço da Mão-de-obra em R\$/mês	66	879,83	94,51	725,17	1.117,60

²⁶ No modelo log-linear para medir a porcentagem no aumento da produtividade agrícola ocasionada por uma unidade adicional na variável EMC, utiliza-se a seguinte expressão: $100x(e^{\beta}-1)$. Nesse caso, β é o valor do coeficiente da variável EMC (WOOLDRIDGE, 2012).

Tabela 4 - Variáveis do modelo econométrico proposto, 1998 a 2009

(conclusão)

Variável	Nº de Obs.	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Produtividade Atingível – <i>proxy</i> para fatores climáticos (kg de ATR/ha)	66	18.975,66	2.340,87	14.431,85	23.155,07
Estágio médio de corte em anos	66	3,3	0,25	2,8	3,8
Índice de Novidade Varietal em %	66	1,81	1,27	0,25	8,03

Fonte: Elaborado pelo autor, resultados de pesquisa

Primeiramente são apresentados os resultados dos testes econométricos para multicolinearidade, heterocedasticidade e autocorrelação. Em seguida são apresentados os resultados do modelo MQO agrupado, efeitos fixos e efeitos aleatórios e discutidos seus resultados.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes econométricos do modelo estudado. A multicolinearidade não se mostrou um problema para o presente estudo, bem como a heterocedasticidade. A hipótese nula de que os erros são homocedásticos não foi rejeitada, pois os resultados mostraram que os erros das regressões do modelo são homocedásticos. Foi rejeitada a hipótese nula de ausência de autocorrelação para um nível de significância de 5%.

Tabela 5 – Resultados dos testes econométricos para multicolinearidade, heterocedasticidade e autocorrelação

Multicolinearidade	
FIV=1,24 ^a	
Teste de Wald para Heterocedasticidade	
H ₀ : erros são homocedásticos (ausência de heterocedasticidade).	
Estatística	4,27
<i>p-value</i>	0,6399
Teste de Wooldridge para Autocorrelação	
H ₀ : ausência de correlação de primeira ordem	
Estatística	6,961
<i>p-value</i>	0,0461

Fonte: Elaboração própria com dados do CTC e IEA.

- (a) Como regra prática, a multicolinearidade é considerada um problema sério se $FIV > 10$ (WOOLDRIDGE, 2012)

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos por meio da estimação do modelo de produtividade agrícola da cana-de-açúcar para o estado de São Paulo em Kg de ATR/ha para o período de 1998 a 2009. Em cada coluna, constam os coeficientes das variáveis explicativas e seus respectivos erros padrões obtidos pelos três procedimentos de estimação: MQO Agrupado com erros robustos, Modelo de Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios com erros robustos.

Para cada regressão foram calculados os coeficientes de determinação (R^2). Para as estimações geradas por MQO Agrupado e Efeitos Aleatórios, o poder explicativo do modelo ficou em torno de 56% em ambos os modelos. Nas estimativas fornecidas para o modelo de Efeitos Fixos esse valor aumentou significativamente para aproximadamente 76%.

Tabela 6– Resultados dos modelos estimados para a produtividade da cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009

Variáveis Explicativas	Modelos de Regressão		
	MQO Agrupado	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
LnPC_{t-1}	0,1084* (0,0284)	0,0647* (0,0241)	0,0655** (0,0248)
LnPT_{t-1}	0,0508* (0,0160)	0,0553** (0,0225)	0,0527** (0,0218)
LnPMO_{t-1}	0,0305 (0,0745)	-0,0910 (0,0584)	-0,0917 (0,0565)
LnPA_t	0,1546* (0,0524)	0,2450* (0,0893)	0,2322** (0,0877)
EMC_t	-0,1654* (0,0264)	-0,0691** (0,0324)	-0,0745** (0,0318)
INV_1	-0,0015 (0,0046)	0,0029 (0,0043)	0,0027 (0,0042)
Constante	7,2766* (0,7575)	7,1004* (1,1884)	7,1949* (1,1434)
R^2	56,33	75,86	56,36
Observações	66	66	66
Teste F	12,69*	8,74 ^a *	
Teste de Breusch e Pagan			15,99*
Teste de Hausman			0,03*

Nota: Na estimação dos coeficientes já foi usada a correção para autocorrelação.

(a) Teste F no modelo de efeitos fixos refere-se ao Teste de Chow.

*significativo a 1%; ** significativo a 5%; *** significativo a 10%.

Fonte: Elaborado pelo autor, resultados de pesquisa.

Primeiramente foi estimado o modelo MQO agrupado. Os resultados indicaram que, com exceção dos coeficientes do preço da mão-de-obra e do índice de novidade varietal, todos os demais coeficientes das variáveis explicativas incluídas no modelo foram estatisticamente significativos e com sinais conforme esperados.

Em seguida foi estimado um modelo de efeitos fixos considerando que existem fatores não observados ou que não são possíveis de serem mensurados e são fixos ao longo do tempo e que diferem entre as regiões do estado de São Paulo e podem estar correlacionados com as variáveis explicativas e que afetam a produtividade da cana-de-açúcar sendo necessário controlá-los. Nesse modelo, todos os coeficientes das variáveis explicativas apresentaram os sinais esperados e foram estatisticamente significativos, com exceção dos coeficientes das variáveis preço da mão-de-obra e do índice de novidade varietal, que embora tenham apresentado o sinal esperado foram não significativos.

Por último foi estimado um modelo de efeitos aleatórios, considerando a hipótese de que os fatores não observados não estão correlacionados com nenhuma das variáveis explicativas e que a equação estimada apresenta bons controles, qualquer heterogeneidade negligenciada entre as regiões produtoras de cana-de-açúcar somente induz à correlação serial no erro composto, mas não causa correlação entre o erro composto e as variáveis explicativas. Nesse modelo, como o de efeitos fixos, os coeficientes das variáveis apresentaram sinais esperados, porém os coeficientes das variáveis preço da mão-de-obra e índice de novidade varietal não foram estatisticamente significativos, embora com os sinais esperados.

Antes de analisar a magnitude dos coeficientes, é preciso considerar as informações fornecidas pelos testes econométricos que sugerem um critério de escolha para o procedimento mais adequado de estimação. O teste F de Chow foi significativo ao nível de 1% de significância, indicando que o modelo de efeitos fixos é preferível ao modelo de mínimos quadrados ordinários agrupado. O teste de Hausman não rejeitou a hipótese nula de que os coeficientes não apresentam diferenças sistemáticas e portanto o melhor modelo seria o de efeitos aleatórios. O teste de Breusch e Pagan, comparando o modelo de efeitos aleatórios e o estimado por mínimos quadrados ordinários agrupado não rejeitou a hipótese nula de que o melhor modelo é o de efeitos aleatórios.

Segundo Wooldridge (2012), e também discutido em Greene (2012); Baltagi (2005) e Cameron e Trivedi (2005), deve-se ter precaução ao escolher o melhor modelo somente com base no teste de Hausman pois, segundo esses autores, a questão chave que deve determinar a estimação por modelos de efeitos fixos ou efeitos aleatórios é se, pode-se assumir convincentemente que os efeitos não observados são não correlacionados com nenhuma das variáveis explicativas. Segundo Wooldridge (2012), o modelo de efeitos fixos é considerado uma ferramenta mais convincente para se estimar efeitos *ceteris paribus*. Quando a unidade de observação é uma unidade geográfica grande o suficiente (estados, regiões etc), e todas as unidades de corte transversal são parâmetros da população, ou seja, todas as unidades são

contempladas na amostra, a amostra não pode ser tratada como aleatória, então faz mais sentido pensar cada efeito não observado como um intercepto a ser estimado para cada uma das unidades cross-sections. E neste caso, usa-se o modelo de efeitos fixos. Ainda a respeito da escolha entre os modelos de efeitos fixos ou aleatórios, segundo Cameron e Trivedi (2005) mesmo que os pressupostos para consistência do modelo de efeitos aleatórios sejam atendidos, a escolha entre as duas alternativas pode pautar-se também na aplicação desejada, pois ambos os modelos são consistentes. Caso os dados representem uma amostra aleatória da população para a qual se deseja estimar as relações, o modelo de efeitos aleatórios será o mais adequado, mas, caso o interesse seja intrinsecamente direcionado apenas às unidades específicas da amostra, sugere-se utilizar os efeitos fixos, ainda que possa implicar em menor eficiência.

Dessa forma, optou-se por se ater nas discussões aos coeficientes do modelo de efeitos fixos, pois há pouca diferença entre os coeficientes estimados das variáveis entre os modelos, os sinais dos coeficientes obtidos foram os mesmos e nos dois modelos estimados as mesmas variáveis foram estatisticamente significativas para explicar a produtividade da cana-de-açúcar. Essa decisão foi tomada considerando que podem existir fatores não observados entre as regiões que provavelmente possam estar correlacionados com as variáveis explicativas e que afetam a produtividade da cana-de-açúcar. Além do mais, o interesse desse estudo é específico às regiões em análise, não sendo uma amostra aleatória a partir da qual pretende-se fazer inferências para um universo maior.

Em todos os modelos a variável que exerceu o maior impacto sobre a produtividade foi a variável produtividade atingível, utilizada como proxy dos fatores climáticos. O valor do coeficiente estimado dessa variável no modelo de efeitos fixos foi de 0,2450 significando que um aumento de 10% na produtividade atingível causa um aumento de 24,50% sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Esse resultado, corrobora o encontrado por Marin e Carvalho (2012) que verificaram que os fatores abióticos respondem por 58% da variabilidade da produtividade da cana-de-açúcar.

O segundo mais alto coeficiente estimado em todos os modelos foi o da variável estágio médio de corte, cujo valor do parâmetro foi de -0,0691, significando que o aumento de uma unidade adicional na variável EMC, a mudança percentual sobre a produtividade agrícola será um decréscimo de 6,68%. Portanto esse resultado encontrado corrobora com o resultado encontrado na regressão estimada por Braga Jr. e Nardy (2014) que indicou o EMC é uma variável importante para explicar as variações da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. A variável preço da cana-de-açúcar possui uma relação positiva e estatisticamente significativa

sobre a produtividade da cana-de-açúcar, conforme visto no trabalho de Satolo e Bachi (2009). O coeficiente estimado para essa variável indicou que um aumento de 10% no preço da cana-de-açúcar proporciona um aumento de 6,47% na produtividade da cana-de-açúcar no próximo período. Portanto, quando os preços recebidos pelos produtores de cana-de-açúcar aumentam, provavelmente há uma intensificação dos tratos culturais e manejo da cultura, refletindo no aumento da produtividade dessa cultura na próxima safra.

A análise de regressão mostrou uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre o preço da terra e a produtividade da cana-de-açúcar no próximo período. Embora na literatura essa relação não esteja bem definida, como visto anteriormente, essa variável foi inserida no modelo tendo em vista que a terra é um fator de produção e principal ativo do empreendimento agrícola e quanto mais alto seu valor, a tendência é aumentar a escala de produção de maneira a aumentar sua produtividade. Portanto o valor do coeficiente estimado indicou que uma aumento de 10% no preço da terra causa um aumento de 5,53% na produtividade cana-de-açúcar no próximo período.

Em relação à variável preço da mão-de-obra, o coeficiente estimado dessa variável não foi estatisticamente significativo para explicar a produtividade da cana-de-açúcar nos três modelos estimados, embora o sinal apresentado no modelo de efeitos fixos e aleatórios foi o esperado, pois essa variável foi incluída no modelo como representativa de um componente de custo da cultura.

Por último e mais importante para o presente trabalho, o coeficiente da variável índice de novidade varietal para os anos de 1998 a 2009 não foi estatisticamente significativo, embora tenha apresentado sinal conforme o esperado, tanto no modelo de efeitos fixos como de efeitos aleatórios. Entretanto, mesmo que apresentasse um valor estatisticamente significativo para explicar a produtividade da cana-de-açúcar, o aumento de 1 ponto percentual no índice de novidade varietal, acarretaria em um aumento de apenas 0,29% na produtividade da cana-de-açúcar em termos de ATR/ha.

Esse resultado, embora refute a hipótese inicial do trabalho de que a introdução de novas variedades de cana-de-açúcar, no período considerado, contribuíram para o aumento da produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, corrobora os resultados de alguns trabalhos encontrados na literatura sobre variedades de cana-de-açúcar e produtividade agrícola dessa cultura.

Conforme analisado por Silva (2011), entre os anos de 1984 a 2010, embora muitas variedades de cana-de-açúcar tenham sido liberadas e plantadas, não observou ganhos na qualidade da matéria-prima expressa em Pol da cana e kg de ATR por tonelada de cana. Para

esse autor, as pequenas diferenças constatadas devem-se mais às condições climáticas do que a outros fatores, como o uso de novas variedades.

Para Demattê (2012), apesar dos esforços feitos pelas instituições de pesquisa no período 1984 a 2012 com introdução de novas variedades e novas tecnologias, bem como a ênfase na segurança varietal, não houve ganhos no período analisado, em termos de toneladas de Pol por hectare e tonelada de cana por hectare. Para esse autor, o clima ainda é o principal fator que afeta a produtividade da cana. Considera que a colheita mecanizada reduz a escolha de variedades, existe a proliferação de doenças nas novas variedades e que as variedades da década de 1980 ainda são as melhores opções para as novas áreas de expansão da cana, com solos de baixa fertilidade e condições climáticas marginais. Portanto, para esses autores, a “performance” das novas variedades têm ficado aquém das necessidades do setor, o qual passou por mudanças em suas práticas de manejo, principalmente com a colheita mecânica da cana crua. Essa opinião é compartilhada por Moore (2014)²⁷, o qual acredita que há uma estabilização no rendimento da cultura associada às alterações recentes nas práticas culturais, como a mecanização da colheita da cana crua. Para esse pesquisador, os produtores não adotam uma nova variedade se essa não apresentar aumento significativo de rendimento, o qual não tem sido alcançado recentemente (Informação Verbal).

De fato, ao analisar o índice de novidade varietal apresentado na Figura 26 observa-se uma diminuição na taxa de adoção de novas variedades de cana-de-açúcar nos canaviais das regiões do estado de São Paulo no período estudado, o que vem corroborar a análise do censo varietal feito no item 4, onde pôde-se verificar que, nas regiões produtoras analisadas, existe uma baixa diversidade entre as variedades mais plantadas (em até 70% da área cultivada), as quais são na maioria variedades desenvolvidas na década de 80, estando provavelmente ultrapassadas tecnologicamente e susceptíveis à pragas e doenças.

Para Niko et al. (2013) essa baixa taxa de adoção de novas variedades não é consequência da ausência de novas variedades, pois segundo Braga Jr., Oliveira e Raizer (2011) foram liberadas no Brasil 207 variedades para uso comercial entre 1970 e 2010. Entre 1990 e 2010, 154 diferentes variedades de cana foram testadas e utilizadas pelos agentes produtivos do setor, considerando apenas as variedades que atingiram pelo menos 0,1% da área cultivada com cana segundo o censo varietal do CTC. Entretanto, conforme visto, a participação das variedades mais recentes ainda é muito baixo em relação às mais antigas, as

²⁷ MOORE, P.H. Centro de Tecnologia Canvieira. É pesquisador da unidade do Centro de Pesquisa Celular e Molecular da Cana-de-Açúcar no Centro de Pesquisa de Agricultura no Havaí e está temporariamente como pesquisador no Centro de Tecnologia Canvieira.

quais dominam os canaviais paulistas. Ainda segundo Nikko et al. (2013), a crise de 2008 acarretou uma retração de crédito para as empresas do setor sucroenergético e consequente redução nos investimentos agrícolas, inclusive na renovação dos canaviais. As adversidades climáticas e a recente mecanização tanto da colheita como do plantio geraram efeitos deletérios para a produtividade. De fato o efeito dos fatores climáticos e o estágio médio de corte foram as variáveis mais importantes para explicar a produtividade da cana-de-açúcar no modelo estimado nesse trabalho. Entretanto, o modelo aqui estimado considera um período anterior ao ano de 2008 e mesmo assim, não foi captada a influência da introdução de novas variedades sobre a produtividade agrícola. Portanto esse resultado encontrado para o coeficiente do índice de novidade varietal vai ao encontro com a preocupação de alguns autores sobre a baixa adoção de novas variedades e o desempenho das novas variedades.

No modelo econométrico proposto nesse trabalho não foi possível a inclusão da variável mecanização da colheita da cana por falta de disponibilidade de dados, ainda mais desagregados por região, embora a mecanização seja um fator relevante que interfere na produtividade da cana-de-açúcar, pois o maior tráfego na lavoura, causando maior pisoteamento e consequentemente compactação do solo, corte da base mais alto no colmo da cana-de-açúcar, onde se concentra muito açúcar, deixando no solo uma porção nobre da cana, são problemas advindos desse processo e que provavelmente interferem negativamente na produtividade da cana-de-açúcar. A mecanização agrícola evoluiu nos últimos anos, principalmente a partir do ano de 2007, com a assinatura do Protocolo Agroambiental, conforme pode ser observado na Tabela 7 abaixo. O aumento da colheita da cana crua em 2013 em relação ao ano de 2007 foi de 85% no estado de São Paulo.

Tabela 7 – Evolução da colheita mecanizada no estado de São Paulo, 2003-2013

(continua)

Região	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013*
Araçatuba	18.5	18.5	21.6	24.7	42.8	66.8	71.0	78.5	84.5	90.2	96.1
Assis	26.0	26.1	31.5	40.1	51.0	61.5	71.0	82.0	87.6	91.2	94.1
Piracicaba	28.8	28.3	33.4	37.9	47.4	54.4	65.4	71.7	74.6	78.3	82.3
Ribeirão Preto	58.4	58.9	55.3	56.1	61.6	75.2	78.8	82.7	91.2	93.6	95.7
São Carlos	27.9	27.2	29.5	31.8	38.4	51.4	61.0	72.4	76.9	83.0	87.8

Tabela 7 – Evolução da colheita mecanizada no estado de São Paulo, 2003-2013
(conclusão)

Região	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013*
São José do Rio Preto	33.0	34.0	32.7	36.9	44.4	55.4	61.5	70.6	78.7	83.5	90.0
Estado de São Paulo	36.1	37.8	39.2	41.5	49.1	60.9	68.3	76.4	82.4	86.9	91.3

*dados parciais até outubro de 2013

Fonte: CTC (2013)

Segundo Nikko et al. (2013) a mecanização do plantio e da colheita devem estar adequadas às variedades desenvolvidas, ou seja, o desenvolvimento tecnológico deve estar integrado, considerando que as relações entre as novas variedades e a mecanização não ocorrem em um único sentido.

Dada a importância da variável Índice de Novidade Varietal, foi utilizada ainda análise de sensibilidade na elaboração do mesmo. Dessa forma, foram calculados índice de novidade varietal para $n=2$ e $n=3$. Ou seja, a participação de variedades cultivadas no ano t que não eram cultivadas ou pouco cultivadas dois anos atrás, ou seja, $t-2, t-4, t-6$ e assim por diante. Da mesma forma, para $n=3$, considerando $t-3, t-6, t-9$ e assim por diante. Os resultados dos modelos estimados com esses índices de novidade varietal estão apresentados nos Apêndices. O modelo estimado usando a variável índice de novidade varietal a cada 2 anos apresentou resultados semelhantes aos apresentados na Tabela 6 e embora o coeficiente da variável preço da mão-de-obra tenha sido significativo nesse modelo, optou-se por apresentar e discutir os resultados do modelo com a variável INV_1 ($n=1$) pois anualmente uma parte dos canaviais são renovados e acredita-se que essa variável pudesse captar melhor o efeito desejado. O INV para $n=3$ (INV_3) não apresentou resultados satisfatórios²⁸.

²⁸ Os resultados desses modelos estão apresentados nos Apêndices A e B.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dessa pesquisa indicaram que as inovações biológicas na cana-de-açúcar, consideradas como a introdução de novas variedades dessa cultura, medida pela variável Índice de Novidade Varietal não contribuíram para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período analisado (1998-2009). Embora tenha apresentado correlação positiva com a produtividade, o coeficiente estimado não foi estatisticamente significativo. De fato o ritmo de adoção de novas variedades durante os anos analisados foi baixo, conforme pode ser verificado pelo índice de novidade varietal (Figura 26) e pela análise qualitativa do censo varietal feita nesse trabalho, onde foi possível verificar que a maior parte da área cultivada com cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo foi cultivada com variedades desenvolvidas na década de 1980, defasadas tecnologicamente e susceptíveis à doenças e pragas. É o caso, por exemplo, da variedade RB72454, lançada oficialmente em 1987 e que ainda era uma das mais cultivadas na região de Araçatuba no ano de 2012. Um dos motivos encontrados para justificar esse resultado é que muitos produtores não investem em infraestrutura, não há planejamento dos canaviais com a renovação anual necessária, momento de substituir mudas por outras de melhor qualidade e que tem potencial genético mais produtivo se o manejo for adequado, conforme mostram os resultados finais de experimentação dos programas de melhoramento genético.

Os resultados aqui encontrados, contudo, sugerem que uma análise mais detalhada a respeito das razões da não adoção das novas variedades seria necessária. As variáveis econômicas que influenciam a renovação dos canaviais foram aqui consideradas, ou seja, tiveram seus efeitos controlados na explicação da produtividade. Nem assim, contudo, as novas variedades mostraram-se significativas na explicação da elevação da produtividade no período.

Conforme visto nos resultados desse trabalho a variável que exerceu maior influência sobre a produtividade da cana-de-açúcar nesse período foram os fatores climáticos, representados pela produtividade atingível. Em seguida, a idade do canavial representado pela variável estágio médio de corte, bem como o preço da cana-de-açúcar e o preço da terra.

Segundo Carvalho e Furtado (2014), a adoção de novas variedades de cana-de-açúcar encontra barreiras relacionadas ao custo e a falta de planejamento pelo setor como, por exemplo, a identificação dos ambientes de produção, construção de viveiros e o uso de mudas de qualidade.

Nesse sentido, o IAC lançou um projeto chamado de Projeto de Validação do Kit de Pré-Brotação dos Sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB) que deverá ter impacto direto na qualidade dos canaviais paulistas. Esse projeto constitui-se em distribuir um kit de mudas pré-brotadas composto de quatro modernas variedades desenvolvidas pelo Centro Cana do IAC, somado a um conjunto de ferramentas e treinamento do produtor. Esse projeto tem dois objetivos. Um deles é oferecer condições para que o pequeno produtor de cana retome a gestão do seu negócio e o segundo é diminuir o tempo de adoção de novas variedades desenvolvidas pela pesquisa (PROGRAMA, 2015).

Entretanto ficam aqui as recomendações para estudos posteriores. A primeira delas seria a estimação desse modelo para um período mais longo, pois segundo Carvalho e Furtado (2014) os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar vem empreendendo esforços tecnológicos significativos nos últimos anos, ampliando infra-estrutura com investimentos em modernização de laboratórios e introdução de novas tecnologias na área de biotecnologia entre outros, tais esforços podem estar colaborando para um aumento na adoção de novas variedades nesses últimos anos. A segunda seria uma análise mais específica, regionalmente, para avaliar os motivos que levam os produtores a decidiram entre adotar ou não novas variedades de cana-de-açúcar.

Espera-se assim que esse trabalho contribua ao tema, subsidiando políticas públicas para a difusão e adoção dessas novas tecnologias, em especial as inovações biológicas, dada a importância de investimentos em adoção de novas variedades de cana-de-açúcar para que haja um aumento da produtividade da cana-de-açúcar visando atender ao possível crescimento da demanda por etanol nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H.C.R. **A importância do capital humano na eficiência técnica e na produtividade total dos fatores do setor canavieiro do Brasil**. 2008. 67 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000432820&opt=4>>. Acesso em: 06 ago. 2013.
- ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei%20n.11.241,%20de%2019.09.2002.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2012.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Estatísticas**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/Tabelas.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.
- BALTAGI, B.H. **Econometric analysis of panel data**. 3rd ed. Chichester: John Wiley, 2005. 302 p.
- BARÃO, C. Safra será recorde e a cana avança em São Paulo. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, ano 1, n. 3, p. 20-22, set. 2006.
- BAUM, C.E. Residual diagnostics for cross-section time series regression models. **Stata Journal**, Texas, v. 1, p. 101-104, 2001. Disponível em: <<http://www.stata-journal.com/sjpdf.html?articlenum=st0004>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- BELIK, W. A tecnologia em um setor controlado: o caso da agroindústria canavieira em São Paulo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 99-136, jan./abr. 1985. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/9250>>. Acesso em: 20 fev. 2015.
- BELIK, W.; VIAN, C.E. Desregulamentação estatal e novas estratégias competitivas da agroindústria canavieira em São Paulo. In: MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. (Ed.). **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 69-92.
- BENEDINI, M.S.; BERTOLANI, F.C. Carta de solos e ambientes de produção - Centro de Tecnologia Canavieira. **Revista Coplana**, Guariba, mar. 2008. Disponível em: <<http://www.coplana.com/gxpfiles/ws001/design/RevistaCoplana/2008/Marco/pag24-25.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2014.
- BRAGA JR, R.L.C.; NARDY, V. Efeito do estágio médio de corte na produtividade dos canaviais da região centro-sul. **STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 18-19, mar./abr. 2014.
- BRAGA JR., R.L.C.; OLIVEIRA, I.A.; RAIZER, A.J. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos 20 anos. **STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 46-50, set./out. 2011.

BRASIL. Ministério da Agropecuária e Abastecimento. **Estatísticas**. Brasília: MAPA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/agroenergia/estatistica>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

_____. **Recuperação da produtividade da cana-de-açúcar é meta para 2013**. Brasília: MAPA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/noticias/2012/12/recuperacao-da-produtividade-da-cana-de-acucar-e-meta-para-2013>>. Acesso em: 30 maio 2013.

BRENNAN, J.P. Measuring the contribution of new varieties to increasing wheat yields. **Review of Marketing and Agricultural Economics**, Camberra, v. 52, n. 3, p. 175-195, Dec. 1984. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/12281/1/52030175.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

CAMARGO, A.M.M.P. de; CASER, V.D.; CAMARGO, F.P. de; OLIVETTE, M.P.A.; SACHS, R.C.C.; TORQUATO, S.A. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 47-61, mar. 2008.

CAMERON, A.C.; TRIVEDI, P.K. **Microeconometrics: methods and applications**. New York: Cambridge University Press, 2005. 1034 p.

CARVALHO, G.L. de. **Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre as safras 1990/91 e 2005/06**. 2009. 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CARVALHO, S.A.D.; FURTADO, A.T. Os esforços tecnológicos para o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 57., 2014, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Brasília: SOBER, 2014. Disponível em: <<http://icongresso.itarget.com.br/useradm/anais/?clt=ser.4>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

CASAGRANDE, M.V. Considerações sobre a reforma dos canaviais. **STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 32, n. 3, p. 10-11, jan./fev. 2014.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Censo varietal e de produtividade em 2011**. Piracicaba. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC_Censo2011-12baixa.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2013a.

_____. **Nossa história**. Piracicaba. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/nossahistoria.html/>>. Acesso em: 04 jun. 2013b.

CHAMMA, R.M. **Uma análise da evolução da produção, área, produtividade e emprego nas tradicionais atividades agrícolas no estado de São Paulo**. 2009. 272 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FEA), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

CHAPOLA, R.G.; NUNES, I.K.; SILVESTREIN, B.; HOFFMANN, H. Tendência de participação das principais variedades nos próximos plantios. **Canavieiros**, Sertãozinho, v. 5, n. 62, ago. 2011. Disponível em:

<<http://www.revistacanavieiros.com.br/imagens/pdf/8f2208b9b0969ba38f30691c271b459f.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

CHAPOLA, R.G.; SANTOS, E.G.D.; HOFFMANN, H.P.; BASSINELLO, A.I.; VIEIRA, M.A.S.; ROSA, J.R.B.F.; FERNADES JR, A.R. Mudança no perfil varietal do Estado de São Paulo, no período de 1997 a 2007. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2008. 1 CD ROM.

CHRYST, W.E. Land values and agricultural income: a paradox? **Journal of Farm Economics**, Ithaca, v. 47, n. 5, p. 1265-1273, Dec. 1965. Disponível em:

<<http://www.jstor.org/stable/1236384>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

CONEJERO, M.; NARDY, V. **Cana-de-açúcar e o papel das políticas públicas**. 2012. Disponível em:

<http://www.siamig.org.br/index.php?option=com_content&task=view&id=3389&Itemid=95>. Acesso em: 23 maio 20013.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 111 p.

DEMATTE, J.L.I. Variedades de cana estão devendo... **Revista RPANEWS**, Ribeirão Preto, n. 141, p. 16-24, ago. 2012.

DIAS, F.L.F.; MAZZA, J.A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R.F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 627-634, 1999.

DLAMINI, M.B.; MASUKU, M.B. Productivity of smallholder sugarcane farmers in Swaziland: the case of Komati Downstream Development Programa (KDPP) farmer's association, 2005-2011. **Environment and Natural Resources Research**, Ottawa, v. 2, n. 4, p. 1-7, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5539/enrr.v2n4p1>>. Acesso em 20 dez. 2014.

DOMINGUES, I.A.S. **Variabilidade climática e sua influência na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região norte e noroeste do Paraná**. 2010. 235 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DRUKKER, D.M. Testing for serial correlation in linear panel-data models. **Stata Journal**, Texas, v. 3, n. 2, p. 168-177, 2003. Disponível em: <<http://www.stata-journal.com/sjpdf.html?articlenum=st0039>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

ELLIS, R.N.; BASFORD, K.E.; COOPER, M.; LESLIE, J.K.; BYTH, D.E. A methodology for analysis of sugarcane productivity trends. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 52, p. 1001-1009, 2001. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/?paper=AR00130>>. Acesso em: 05 jun. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional – 2014:** ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. 288 p. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acesso em: 20 de jan. 2015.

FAO. **Banco de dados:** FAOSTAT. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>. Acesso em: 18 fev. 2015.

FERRO, A.B.; CASTRO, E.R. de. Determinantes dos preços de terras no Brasil: uma análise de região de fronteira agrícola e áreas tradicionais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. 3, p. 590- 609, jul./set. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-20032013000300010&script=sci_arttext. Acesso em: 20 nov. 2013.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELLOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. cap. 1, p. 31-44.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Em busca da cana-energia**. São Paulo: Agência FAPESP, 2012. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/16476.html>. Acesso em: 13 nov. 2012.

FURTADO, A.T.; CORTEZ, L.A.B.; SCANDIFFIO, M.I.G. O sistema de inovação da agroindústria canavieira brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 6., 2008, Salvador. **Anais...** Itajubá: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 2008. 1 CD ROM.

GAVA, G.J.C.; SILVA, M.A. da; SILVA, R.C. da; JERONIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S.; KOLLN O.T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, mar. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662011000300005&script=sci_arttext. Acesso em: 20 abr. 2015.

GOES, T.; MARRA, R.; SILVA, G.S. Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 39-51, abr./jun. 2008.

GONÇALVES, M.C. Doenças causadas por vírus. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELLOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. cap. 21, p. 451-464.

GOUVÊA, J.R.F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GREENE, W. **Econometric analysis**. 7th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2012. 1188 p.

GROF, C.P.; ALBERTSON, P.L.; BURSLE, J.; PERROUX, J.M.; BONNETT, G.D.; MANNERS, J.M. Sucrose-phosphate synthase, a biochemical marker of high sucrose accumulation in sugarcane. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 4, p. 1530-1539, July/Aug. 2007. Disponível em: <<https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/47/4/1530>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

HARTELL, J.M.; SMALE, P.W.; SENAUER, B. **The contribution of genetic resources and diversity to wheat productivity: a case from the Punjab of Pakistan**. México: CIMMYT, 1997. 30 p. (CIMMYT. Economics Working Paper, 97-01). Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/7673/1/wp97ha01.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2013.

HAUSMAN, J.A. Specification tests in econometrics. **Econometrica**, Malden, v. 46, p. 1251-1271, 1978.

HOFFMANN, H.P.; FANCELLI, A.L.; MATSUOKA, S.; MASUDA, Y. Contribuição de variedades melhoradas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo nos últimos cinquenta anos. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1999. p. 49-53.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Centro de cana: histórico**. Campinas: IAC. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cana/centrocana.php?pg=historicocana>>. Acesso em: 10 out. 2014.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Banco de dados**. São Paulo: IEA. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>>. Acesso em: 14 fev. 2014.

JOAQUIM, A.C. O canavial do futuro. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 32, 2012. Disponível em: <<http://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/home/>>. Acesso em: 15 out. 2014.

LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. cap. 5, p. 101-155.

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar: crescimento. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. v. 1, p. 56-87.

MACHADO, L.A.; HABIB, M. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil**. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm>. Acesso em: 25 mar. 2015.

MACHADO JR, G.R. **Sugarcane variety notes: an international directory**. 7th ed. Piracicaba: O Autor, 2001. 132 p.

MARIN, F.R. **Eficiência de produção de cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos**. 2014. 262 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MARIN, F.R.; CARVALHO, G.L. de. Spatio-temporal variability of sugarcane yield efficiency in the state of Sao Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 2, p. 149-156, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n2/v47n2a01.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

MARIN, F.R.; JONES, J.W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E.D.; PELLEGRINO, G.Q.; JUSTINO, F. Climatic change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, London, v. 117, n. 1/2, p. 227-239, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-012-0561-y>>. Acesso em: 10 out. 2014

MARIOTONI, M. **O desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo (1975-1985)**. 2004. 118 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cellular & Development Biology Plant**, Raleigh, v. 45, n. 3, p. 372-381, May/June 2009. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/20541039>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

MAULE, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTHA JR., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, abr./jun. 2001.

NAZIR, A.; JARIKO, G.A.; JUNEJO, M.A. Factors affecting sugarcane production in Pakistan. **Pakistan Journal of Commerce and Social Science**, Islamabad, v. 7, n.1, p. 128-140, 2013. Disponível em: <<http://mpira.ub.uni-muenchen.de/50359/>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G. **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. Ribeirão Preto: Markestrat; Fundace; USP, FEA-RP/USP, 2014. 45 p. Disponível em: <http://www.brasilagro.com.br/imagens/pdf/Mapeamento_Quantificacao_Setor_Sucroenergetico_Safra_2013-14.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2015.

NIKO, D.; VALENTE, M.S.; MILANEZ, A. Y.; TANAKA, A.K.R.; RODRIGUES, A.V.P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?. **Bioenergia: BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 399-442, 2013.

OLIVEIRA, F.C.R. de. **Ocupação, emprego e remuneração na cana-de-açúcar e em outras atividades agropecuárias no Brasil, de 1992 a 2007**. 2009. 167 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEDRO, E.S. **Estratégias para a organização da pesquisa em cana-de-açúcar: uma análise de governança em sistemas de inovação**. 2008. 226 p. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000432820&opt=4>>. Acesso em: 06 ago. 2013.

PICOLI, M.C.A. **Estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais**: estudo de caso Usina Catanduva. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

PRODUÇÃO de cana na safra 2011/2012 deve ficar em 533 mi de toneladas. **Estado**, São Paulo, 13 jul. 2011. Disponível em: <<http://economia.estado.com.br/noticias/negocios,producao-de-cana-na-safra-20112012-deve-ficar-em-533-mi-de-toneladas,75819e>>. Acesso em: 18 out. 2013.

PROGRAMA cana IAC tem ação inédita com pequenos produtores. **Informativo Programa Cana IAC**, Ribeirão Preto, v.3, n.9, p.1, abr./maio 2015. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cana/page_flip/info_cana_maio_2015.php?pg=informativo>. Acesso em: 25 abr. 2015.

PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Histórico**. Araras: UFSCAR. Disponível em: <<http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

RAIZER, A.J.; BRAGA JR., R.L.C.; SELEGATO, S.M.; Índices de eficiência no uso de variedades de cana-de-açúcar. **Revista RPANEWS**, Ribeirão Preto, n. 151/152, p. 25-29, jul./ago. 2013.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO. **Melhoramento genético**. Goiânia: UFG. Disponível em: <<http://www.ridesa.agro.ufg.br/p/3721-melhoramento-genetico>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

_____. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136 p. Disponível em: <<http://canaufv.com.br/catalogo/catalogo-2010.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

SANGUINO, A. Moléstias da cana-de-açúcar. In: PLANALSUCAR. **50 anos Estação Experimental de Piracicaba**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1978. p. 43-50.

SANTOS, A.S. Doenças causadas por fungos. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELLOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de ANDRADE (Ed.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. cap. 19, p. 423-436.

SANTOS, E.G.D.; CHAPOLA, R.G.; GONÇALVES, R.A.; MOUTA, E.R.; VIEIRA, M.A.S.; BASSINELLO, A.I.; HOFFMANN, H.P. Censo varietal 2007 de áreas canavieiras da Região Centro-Sul. **STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, n. 4, p. 42-46, mar./abr. 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Protocolo agroambiental**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/protocoloAgroambiental.php>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

SATOLO, L.F.; BACCHI, M.R.P. Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. **Revista de Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 3, p. 377-397, jul./set. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-80502009000300002>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. Anatomia e botânica. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. cap. 2, p. 47-56.

SHIKIDA, P.F.A. **A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995**. Cascavel: Edunioeste, 1998. 149 p.

SILBERBERG, E. **The structure of economics: a mathematical analysis**. 1990. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1990. 686 p.

SILVA, G.L.S.P. da; VICENTE, J.R.; CASER, D.V. Mudança tecnológica e produtividade do milho e da soja no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 2, p. 281-303, abr./jun. 1993.

SILVA, G.M.A. Evolução da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar no período de 1984-2010. **STAB. Açúcar, Alcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n. 3, p. 26-28, jan./fev. 2011.

SOUZA, R.O. de; TEIXEIRA, S.M. Produtividade total dos fatores na agricultura goiana: uma análise para as culturas da cana-de-açúcar, milho e soja. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 211-234, 2013.

SPOLADOR, H.F.S.; BARROS, G.S.B. Produtividade agrícola e preço da terra no Brasil: uma análise estadual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande. **Anais eletrônicos...** Brasília: SOBER, 2010. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/15/169.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 637-646, 2002.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

VEIGA FILHO, A.A.; YOSHII, R.J. Uso da terra no estado de São Paulo: mudanças na composição das atividades agrícolas e o caso da cana para indústria. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 45-53, fev. 1992.

VIAN, C.E.F. **Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização**. Campinas: Átomo, 2003. 216 p.

VICENTE, M.M. A crise do Estado de bem-estar social e a globalização: um balanço. In: _____. **História e comunicação na ordem internacional**. São Paulo: UNESP; Cultura Acadêmica, 2009. p. 123-146. Disponível em:<<http://books.scielo.org/id/b3rzk/pdf/vicente-9788598605968-08.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

VIDIGAL, V.G.; GOMES, M.F.M.; ROCHA-VIDIGAL, C.B.; SILVEIRA, G.F. Análise espacial da produtividade da cana-de-açúcar em Minas Gerais, 1990 a 2007. **Revista de Economia e Administração**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 241-261, abr./jun. 2011. Disponível em:< <http://www.spell.org.br/documentos/ver/5044/analise-espacial-da-produtividade-da-canade--ac--->>. Acesso em: 20 ago. 2013.

WOOLDRIDGE, J.M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. London: MIT Press, 2002. 735 p.

_____. **Introductory econometrics: a modern approach**. 5th ed. Michigan: Cengage Language, 2012. 882 p.

APÊNDICES

Apêndice A – Resultados dos modelos estimados para a produtividade da cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009 (com variável INV_2)

Variáveis Explicativas	Modelos de Regressão		
	MQO Agrupados	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
LnPC _{t-1}	0,1069* (0,0288)	0,0613** (0,0245)	0,06214** (0,0238)
LnPT _{t-1}	0,0603* (0,0202)	0,0717** (0,0285)	0,06858** (0,0298)
LnPMO _{t-1}	0,0109 (0,0667)	-0,10343*** (0,0573)	-0,1046*** (0,0587)
LnPA _t	0,148820* (0,0525)	0,2277** (0,0874)	0,2148** (0,0818)
EMC _t	-0,1675* (0,0264)	-0,0753** (0,0284)	-0,0806* (0,0287)
INV_2	0,0010 (0,0018)	0,0018 (0,0014)	0,0018 (0,0015)
Constante	7,3740* (0,7102)	7,2144* (1,1784)	7,3183* (1,1524)
R ²	56,64	76,31	57,16
Observações	66	66	66
Teste F	12,84	8,97 ^a *	
Teste de Breusch e Pagan			18,86*
Teste de Hausman			0,40

(a) Teste F no modelo de efeitos fixos refere-se ao Teste de Chow.

*significativo a 1%;** significativo a 5%;*** significativo a 10%.

Fonte: Elaborado pelo autor, resultados de pesquisa.

Apêndice B – Resultados dos modelos estimados para a produtividade da cana-de-açúcar nas regiões do estado de São Paulo, 1998-2009 (com variável INV_3)

Variáveis Explicativas	Modelos de Regressão		
	MQO Agrupado	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
LnPC _{t-1}	0,1083* (0,0298)	0,0667** (0,0287)	0,0675** (0,0289)
LnPT _{t-1}	0,0537* (0,0178)	0,0354 (0,0328)	0,0349 (0,0329)
LnPMO _{t-1}	0,0251 (0,0731)	-0,0824 (0,0632)	- 0,0825 (0,0598)
LnPA _t	0,1531* (0,0526)	0,2560* (0,0900)	0,2434* (0,0849)
EMC _t	-0,1636* (0,0256)	-0,0824** (0,0309)	-0,0863* (0,0312)
INV_3	0,00009 (0,0010)	-0,0005 (0,0011)	-0,0005 (0,0011)
Constante	7,2888* (0,7931)	7,1791* (1,1490)	7,2413* (1,0616)
R ²	56,28	75,76	56,19
Observações	66	66	66
Teste F		8,68 ^a *	
Teste de Breusch e Pagan			17,01*
Teste de Hausman			0,50

(a) Teste F no modelo de efeitos fixos refere-se ao Teste de Chow.

*significativo a 1%; ** significativo a 5%; *** significativo a 10%.

Fonte: Elaborado pelo autor, resultados de pesquisa.

ANEXOS

Anexo A – Relação dos municípios pertencentes a cada uma das seis regiões do estado de São Paulo consideradas nesse trabalho

(continua)

Região	Municípios
Araçatuba	Adamantina, Alfredo Marcondes, Alto Alegre, Álvaro de Carvalho, Andradina, Aparecida d'Oeste, Araçatuba, Arco Íris, Aspásia, Auriflama, Avaí, Avandava, Balbinos, Barbosa, Bastos, Bento de Abreu, Bilac, Birigui, Braúna, Brejo Alegre, Buritama, Cafelândia, Caiabu, Cardoso, Castilho, Clementina, Coroados, Dirce Reis, Dolcinópolis, Dracena, Emilianópolis, Estrela D'Oeste, Fernadópolis, Flora Rica, Floreal, Flórida Paulista, Gabriel Monteiro, Gastão Vidigal, General Salgado, Getulina, Glicério, Guaíçara, Guaimbé, Guaraçaí, Guarani d'Oeste, Guarantã, Guararapes, Guzelândia, Herculanópolis, Iacri, Ilha Solteira, Indaiatuba, Inúbia Paulista, Irapuru, Itapura, Jales, Júlio Mesquita, Junqueirópolis, Lavínia, Lins, Lourdes, Lucélia, Luiziana, Macedônia, Magda, Mariópolis, Marília, Marinópolis, Meridiano, Mesópolis, Mira Estrela, Mirandópolis, Monte Castilho, Murutinga do Sul, Nova Canaã Paulista, Nova Castilho, Nova Guataporanga, Nova Independência, Nova Luzitânia, Oriente, Osvaldo Cruz, Ouro Verde, Ouroeste, Pacaembu, Palmeira d'Oeste, Panorama, Paranapuã, Parapuã, Parisi, Paulicéia, Pedranópolis, Penápolis, Pereira Barreto, Piacatu, Pirajuí, Pompéia, Pongai, Pontalinda, Populina, Pracinha, Presidente Alves, Presidente Prudente, Promissão, Queiroz, Quintana, Ribeirão dos Índios, Rinópolis, Rubiácea, Rubinéia, Sabino, Sagres, Salmourão, Santa Albertina, Santa Clara d'Oeste, Santa Fé do Sul, Santa Mercedes, Santa Rita d'Oeste, Santa Salete, Santana da Ponte Preta, Santo Antônio do Aracanguá, Santo Expedito, Santópolis do Aguapeí, São Francisco, São José das Duas Pontes, São João de Iracema, São João do Pau d'Alho, Sud Menucci, Suzanópolis, Três Fronteiras, Tupã, Tupi Paulista, Turmalina, Urânia, Uru, Valentim Gentil, Valparaíso, Vitória Brasil.
Assis	Águas de Santa Bárbara, Agudos, Álvares Machado, Alvinópolis, Anhumas, Arandu, Assis, Avaré, Barão de Antonina, Bauru, Bernardino de Campos, Borá, Borebi, Cabralia Paulista, Caiuá, Campos Novos Paulistas, Cândido Mota, Canitar, Cerqueira César, Chavantes, Coronel Macedo, Cruzália, Duartina, Echaporã, Espírito Santo do Turvo, Estrela do Norte, Euclides da Cunha Paulista, Fartura, Fernão, Florínia, Gália, Garça, Iaras, Ibirarema, Iepê, Indiana, Ipaussu, Itaberá, Itai, Itapeva, Itaporanga, Itararé, Itatinga, João Ramalho, Lucianópolis, Lupércio, Lutécia, Manduri, Marabá Paulista, Maracaí, Martinópolis, Mirante do Paranapanema, Nantes, Narandiba, Ocuçu, Óleo, Oscar Bressane, Ourinhos, Palmital, Paraguaçu Paulista, Paranapanema, Paulistânia, Pedrinhas Paulista, Piquerobi, Piraju, Pirapozinho, Piratininga, Platina, Presidente Bernardes, Presidente Epitácio, Presidente Venceslau, Quatá, Rancharia, Regente Feijó, Ribeirão do Sul, Riversul, Rosana, Salto Grande, Sandovalina, Santa Cruz do Rio Pardo, Santo Anastácio, São Pedro do Turvo, Sarutaiá, Taciba, Taguaí, Taquaritinga, Tarabá, Tarumã, Tejupá, Teodoro Sampaio, Timburi, Ubatuba, Vera Cruz.

Anexo A – Relação dos municípios pertencentes a cada uma das seis regiões do estado de São Paulo consideradas nesse trabalho

(continuação)

Região	Municípios
Piracicaba	Aguai, Águas da Prata, Águas de Lindóia, Águas de São Pedro, Alambari, Americana, Amaparo, Americana, Angatuba, Anhembi, Araçoiaba da Serra, Araras, Artur Nogueira, Bofete, Caconde, Campinas, Capela do Alto, Capivari, Casa Branca, Cerquillo, Cesário Lange, Charqueada, Conchal, Conchas, Cordeirópolis, Cosmópolis, Divinolândia, Elias Fausto, Engenheiro Coelho, Espírito Santo do Pinhal, Estiva Gerbi, Guareí, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Iperó, Ipeúna, Iracemápolis, Itapetininga, Itapira, Itobi, Itú, Jaguariúna, Jumirim, Laranjal Paulista, Leme, Limeira, Lindóia, Mogi Guaçu, Mogi Mirim, Mombuca, Monte Mor, Nova Odessa, Pardinho, Paulínia, Pedreira, Pereiras, Piracicaba, Pirassununga, Porangaba, Porto Feliz, Quadra, Rafard, Rio Claro, Rio das Pedras, Saltinho, Salto, Santa Bárbara d'Oeste, Santa Cruz da Conceição, Santa Cruz das Palmeiras, Santa Gertrudes, Santo Antônio da Posse, Santo Antônio do Jardim, São João da Boa Vista, São José do Rio Pardo, São Pedro, São Sebastião da Gramma, Sarapu, Serra Negra, Sorocaba, Sumaré, Tapiratiba, Tatu, Tietê, Torre de Pedra, Valinhos e Vargem Grande do Sul.
Ribeirão Preto	Altinópolis, Aramina, Barrinha, Batatais, Brodósqui, Buritizal, Cajuru, Cássia dos Coqueiros, Cravinhos, Cristais Paulista, Dobrada, Dumont, Franca, Guaíra, Guar, Guariba, Guataporã, Igarapava, Ipu, Itirapu, Ituverava, Jaborandi, Jardinópolis, Jariquera, Matão, Miguelópolis, Morro Agudo, Motuca, Nuporanga, Orlândia, Patrocínio Paulista, Pedregulho, Pitangueiras, Pontal, Pradópolis, Restinga, Ribeirão Corrente, Ribeirão Preto, Rifaína, Rincão, Sales Oliveira, Santa Cruz da Esperança, Santa Ernestina, Santo Antônio da Alegria, São Joaquim da Barra, São José da Bela Vista, Serra Azul, Serrana, Serãozinho, Terra Roxa e Viradouro.
São Carlos	Américo Brasiliense, Analândia, Araraquara, Arealva, Areópolis, Bariri, Barra Bonita, Boa Esperança do Sul, Bocaína, Boracéia, Botucatu, Brotas, Corumbata, Descalvado, Dois Córregos, Dourado, Gavião Peixoto, Ibaté, Igarau do Tietê, Itaju, Itapu, Itirapina, Jaú, Lençóis Paulista, Luís Antônio, Macatuba, Mineiros do Tietê, Mococa, Nova Europa, Pederneiras, Porto Ferreira, Pratânia, Ribeirão Bonito, Santa Lúcia, Santa Maria da Serra, Santa Rita do Passa Quatro, Santa Rosa do Viterbo, São Carlos, São Manuel, São Simão, Tambaú, Torrinha e Trabiçu.

Anexo A – Relação dos municípios pertencentes a cada uma das seis regiões do estado de São Paulo consideradas nesse trabalho

(conclusão)

Região	Municípios
São José do Rio Preto	Adolfo, Altair, Álvares Florence, Américo de Campos, Ariranha, Bady Bassit, Bálsamo, Barretos, Bebedouro, Borborema, Cajobi, Cândido Rodrigues, Catanduva, Catiguá, Cedral, Colina, Colômbia, Cosmorama, Elisiário, Embaúba, Fernando Prestes, Guapiaçu, Guaraci, Iacanga, Ibirá, Ibitinga, Icem, Ipiruá, Irapuã, Itajobi, Itápolis, Jaci, José Bonifácio, Macaubal, Marapoama, Mendonça, Mirassol, Mirassolândia, Monções, Monte Alto, Monte Aprazível, Monte Azul Paulista, Neves Paulista, Nhandeara, Nipoã, Nova Aliança, Nova Granada, Novais, Novo Horizonte, Olímpia, Onda Verde, Orindiúva, Palestina, Palmares Paulista, Paraíso, Paulo de Faria, Pindorama, Pirangi, Planalto, Poloni, Pontes Gestal, Potirendaba, Reginópolis, Riolândia, Sales, Santa Adélia, São José do Rio Preto, Sebastianópolis do Sul, Severínia, Tabapuã, Tabatinga, Taiaçu, Taiuva, Tanabi, Taquaral, Taquaritinga, Turiúba, Ubarana, Uchôa, União Paulista, Urupês, Vista Alegre do Alto, Votuporanga e Zacarias.

Anexo B– Cálculo do Índice de Novidade Varietal, região de Araçatuba, 1998

(continua)

[illegible]

Anexo B– Cálculo do Índice de Novidade Varietal, região de Araçatuba, 1998

(continuação)

RB855536	0.0072	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0063
RB785148	0.0069	0.0157	0.0215	0.0237	0.0177	0.0107	0.0080	0.0056	0.0007	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.3460	0.0000
IAC52150	0.0054	0.0070	0.0066	0.0058	0.0066	0.0082	0.0189	0.0176	0.0199	0.0234	0.0277	0.0319	0.0515	0.0737	0.0724	-3.9250	0.0000
SP792233	0.0052	0.0006	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.0041
SP701284	0.0044	0.0061	0.0058	0.0073	0.0081	0.0088	0.0128	0.0062	0.0121	0.0066	0.0048	0.0029	0.0002	0.0048	0.0066	-0.6250	0.0000
SP811763	0.0044	0.0049	0.0018	0.0017	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0110	0.0000
RB855113	0.0038	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.0029
RB855035	0.0028	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0016
RB855156	0.0023	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0015
SP813250	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0022
NA5679	0.0017	0.0023	0.0026	0.0041	0.0070	0.0170	0.0491	0.0760	0.0981	0.1522	0.2122	0.3096	0.4331	0.0013	0.0013	-13.8730	0.0000
RB855002	0.0016	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0010
RB855453	0.0015	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0014
SP724928	0.0014	0.0002	0.0130	0.0243	0.0271	0.0234	0.0068	0.0036	0.0026	0.0004	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	-0.4160	0.0000
SP718210	0.0013	0.0017	0.0019	0.0019	0.0010	0.0010	0.0001	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0210	0.0000
RB845197	0.0011	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0009
RB835054	0.0010	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0008
SP713146	0.0008	0.0004	0.0039	0.0050	0.0055	0.0060	0.0037	0.0008	0.0034	0.0033	0.0015	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1790	0.0000

Anexo B– Cálculo do Índice de Novidade Varietal, região de Araçatuba, 1998

(continuação)

[illegible]