

IMPACTOS DA ELIMINAÇÃO DA QUEIMADA DA CANA SOBRE O SETOR SUCROENERGÉTICO: UMA ANÁLISE DE EQUILÍBRIO GERAL

Impacts of elimination of sugarcane burning on the sugar-energy sector: an analysis of general equilibrium

Rodrigo Peixoto da Silva

Economista. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo – Esalq/USP. rodrigo.peixoto@usp.br

Leandro Gilio

Economista. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada Esalq/USP. lgilio@usp.br

Nicole Rennó Castro

Economista. Doutora em Economia Aplicada Esalq/USP. Pesquisadora do Cepea/Esalq. renno.nicole@gmail.com

Resumo: O objetivo deste estudo foi analisar os efeitos de longo prazo da restrição à queima da palha da cana-de-açúcar como método de despalha sobre o nível de mão de obra empregada, investimento, estoque de capital e crescimento da atividade produtiva em indústrias que compõem o setor sucroenergético. Para isso, foi utilizado um modelo de Equilíbrio Geral Computável e construído um cenário que representasse essa restrição. Os resultados sugerem uma redução expressiva do contingente de mão de obra empregada na produção de cana, que terá como consequência a realocação ou marginalização dos trabalhadores volantes. Além disso, apontam um expressivo aumento do investimento e do estoque de capital na indústria da cana, que deverá favorecer a indústria de colhedoras. Para as indústrias de açúcar e etanol, o crescimento dos investimentos e estoque de capital também ocorre, embora em menor proporção, e a demanda por mão de obra deverá aumentar. O consequente aumento da capitalização na produção canavieira, no entanto, poderá concentrar o mercado e estimular a migração ou a marginalização de produtores menores.

Palavras-chave: Colheita mecanizada; Mercado de trabalho; Estoque de capital.

Abstract: This study analyzes the long-term effects of the restriction on the burning of sugarcane straw on the level of employed labor, investment, capital stock and growth of productive activity in industries which make up the sugar-energy sector. For this, a Computable General Equilibrium model was used and a scenario that represented this restriction was constructed. The results suggest a significant reduction in the number of workers employed in sugarcane production, which will result in the relocation or marginalization of these workers. In addition, point to a significant increase in investment and capital stock in the sugarcane industry, which should favor the harvester's industry. For the sugar and ethanol industries, the growth of investment and capital stock also occurs, albeit in a smaller proportion, and the demand for labor is expected to increase. The consequent increase in capitalization in sugarcane production, however, could concentrate the market and stimulate the marginalization or migration of smaller producers to other activities.

Keywords: Mechanized harvesting; Labor market; Capital stock.

1 INTRODUÇÃO

Com a experiência histórica na produção e uso de etanol combustível em larga escala, iniciada na década de 1930 e impulsionada, efetivamente, em 1975 com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o Brasil alcançou uma posição de vanguarda tecnológica e produtiva no que se refere à economia de baixo carbono e à produção de biocombustíveis. Após a década de 1990, a agroindústria sucroenergética brasileira passou por mudanças institucionais profundas, em que ocorreram, dentre outras alterações, a cessação da intervenção governamental, o advento dos veículos bicompostíveis, aquisições, fusões e a rápida internacionalização de ativos e da produção, fatos que contribuíram para a elevação da oferta e demanda por etanol e açúcar (MORAES; ZILBERMAN, 2014).

Segundo informações da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – Anfavea (2017), na média de 2000 a 2003, apenas 3% dos autoveículos licenciados no Brasil eram movidos a etanol ou bicompostíveis. Já em 2016, 94% de todos os licenciamentos referiram-se aos veículos bicompostíveis. Neste cenário, a demanda por etanol hidratado registrou um aumento de 135% entre 2000 e 2013 – de 4,6 milhões de m³ para 10,8 milhões de m³ – o que ampliou significativamente a importância do setor na economia brasileira (ANP, 2013; MORAES; ZILBERMAN, 2014).

De acordo com dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar – Unica (2017), considerando a produção total de etanol no país (anidro e hidratado), entre as safras 1999/2000 e 2015/2016 houve crescimento de 133%, com essa passando de 12,9 milhões de m³ para 30,2 milhões de m³. No mesmo período, a produção nacional de açúcar também expandiu expressivos 75% – passando de 19,3 milhões para 33,8 milhões de toneladas.

Frente às demandas aquecidas para o etanol e o açúcar, domésticas ou internacionais, a expansão da produção de cana-de-açúcar em toneladas foi de 135,7% entre 2000 e 2016, segundo dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). Tamanho crescimento, resultou da combinação de um ligeiro aumento de 10,7% na produtividade da cultura, aliado à expansão significativa de 110% de área plantada no período (IBGE, 2018).

A incorporação de área pelo cultivo de cana ocorreu principalmente pela substituição de áreas de pastagem, mas também sobre áreas de lavouras temporárias e permanentes (CALDARELLI; GILIO, 2018). Mesmo no cenário de crise do setor de etanol, que sofreu com a política de preços e desonerações tributárias sobre a gasolina entre 2010 e 2015, a área plantada de cana-de-açúcar passou de 4.879.841 hectares¹ em 2000, para 10.245.102 hectares em 2016, representando nesse último ano 13,2% do total de áreas de lavouras permanentes e temporárias e mantendo quase constante a proporção de cana-de-açúcar destinada ao açúcar ou etanol (IBGE, 2018).

A expansão canavieira trouxe consigo preocupações de âmbitos social e ambiental, principalmente, devido à emissão de gases pelo processo de queima da palha da cana-de-açúcar e às condições de saúde e qualidade de vida do trabalhador rural envolvido no corte manual pós-queima (GILIO, 2015). No âmbito legislativo e governamental, regulamentações e acordos vêm sendo firmados desde meados dos anos 2000, mas ainda há diferenciação regulatória conforme a região produtora.

As normas que regem a questão das queimadas foram elaboradas e aplicadas em âmbito federal, estadual e municipal, sendo o Decreto Federal n. 2.661 de 08/07/1998 que estabelece a eliminação gradual das queimadas. Todavia, estados como o Mato Grosso do Sul (Lei n. 3.357), Goiás (Lei n. 15.834), Paraná e São Paulo (Lei n. 10.547) estabeleceram normas específicas. No estado de São Paulo, por exemplo, o Protocolo Agroambiental visou a antecipação da eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar para 2014 nas áreas com declividade inferior a 12% e 2017 para as demais áreas (MORAES, 2007). Segundo informações da Unica, em 2016, apenas 10% da área com cana-de-açúcar no estado foi colhida com a técnica da queima. O lapso temporal para eliminação da queimada chega ao horizonte de 2031 entre os demais estados produtores.

A extinção das queimadas, por sua vez, criou algumas dificuldades. A produtividade média por trabalhador na modalidade de corte manual da cana crua cai aproximadamente pela metade quando comparada ao corte manual associado à queima da palha (MORAES, 2007), gerando a necessida-

¹ Corresponde a 9,4% das áreas brasileiras destinadas às lavouras temporárias e permanentes em 2000.

de de mecanização nas áreas com relevo adequado para compensar essa perda.

Com isso, há um reflexo direto sobre o mercado de trabalho da atividade. Moraes (2007) indica que as estimativas da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) apontavam, à época, para uma redução de 114 mil empregos diretos nos segmentos de cana-de-açúcar, açúcar e etanol entre 2006 e 2021. Entre 2006 e 2016, período para o qual já existem dados disponíveis, a redução dos vínculos formais no setor sucroenergético como um todo foi de 319 mil empregos, segundo dados do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE (2018), período em que o setor também foi pressionado por uma crise enfrentada pela atividade iniciada em 2009 (GILIO et al., 2018). Por outro lado, os ganhos de qualidade nos empregos gerados pelo setor no período também foram significativos, com maior demanda por mão de obra qualificada, devido à maior necessidade de tratoristas, pilotos de colhedoras, mecânicos, além de mão de obra especializada nas indústrias fornecedoras de máquinas agrícolas (CEPEA, 2018).

No que se refere ao mercado de máquinas, o Brasil já representa um dos principais mercados de colhedoras de cana, devido à importância dessa atividade para a agricultura brasileira, sobretudo no estado de São Paulo, sendo também um dos principais produtores mundiais desta categoria de máquinas (SILVA, 2015). Embora a colheita mecanizada esteja difundida com maior intensidade no cultivo de grãos, sua expansão no setor canavieiro ocorreu com maior intensidade nas últimas décadas.

No território sul-americano, o Brasil lidera em termos de frota de máquinas agrícolas e tem tomado o espaço argentino na fabricação de tratores e colheitadeiras (SILVA, 2015). A restrição da queima da palha de cana e a consequente expansão da colheita mecanizada, sobretudo no estado de São Paulo, possibilitaram o aumento das vendas e da capacidade produtiva dos principais fabricantes brasileiros de colhedoras.

Diante do breve contexto exposto, o objetivo deste estudo foi analisar os impactos das legislações referentes à proibição da queima da palha de cana-de-açúcar sobre o nível de investimento, o emprego, a atividade produtiva e o estoque de capital em setores diretamente relacionados à produção canavieira: a indústria de cana-de-açúcar, que

representa o cultivo propriamente dito; a indústria de refino de açúcar; e a indústria de produção de etanol. A análise foi realizada com base em um cenário construído para 2031, ano limite para a extinção total das queimadas de cana.

Foi adotada para tal pesquisa a abordagem dos Modelos Aplicados de Equilíbrio Geral (*Computable General Equilibrium* – CGE), que permite a simulação de choques em variáveis-chave, como a produtividade do trabalho, a produtividade do capital e outras variáveis especificadas nos cenários estipulados, visando retratar o cenário econômico no horizonte de 2031. A próxima seção contextualiza e discute brevemente alguns aspectos do mercado de trabalho na indústria canavieira e o mercado de colhedoras de cana-de-açúcar, diretamente relacionados à produção canavieira e aos impactos da proibição da queima como método de despalha.

2 ASPECTOS DO MERCADO DE TRABALHO E DE COLHEDORAS NA INDÚSTRIA CANAVIEIRA BRASILEIRA

Sendo o mercado de trabalho um dos agregados que mais deve ser impactado pela mudança legislativa estudada, esta breve subseção dedica-se a apresentar alguns aspectos estruturais e conjunturais principais sobre o emprego no setor.

Com a restrição à queima da palha da cana-de-açúcar como método de despalha (eliminação da palha e folhas secas) para colheita e a consequente mecanização, vem se desenhando uma nova configuração no âmbito do mercado de trabalho relacionado à cultura. Apesar das vantagens claras associadas às melhorias das condições de trabalho com redução do corte manual, o uso de uma máquina na colheita substitui, em média, o posto de trabalho de 80 cortadores (SMEETS et al., 2008).

Em decorrência desse processo de transformação gradual, o crescimento, entre 2000 e 2005, dos empregados formais das usinas de açúcar (101,9%) e destilarias de etanol (88,4%) foi relativamente maior do que o dos trabalhadores rurais envolvidos com a produção de cana-de-açúcar (16,2%) (MORAES, 2007). Dados mais recentes (Tabela 1) mostram a expressiva redução

dos vínculos empregatícios no cultivo de cana-de-açúcar, concomitante a um cenário de relevante ampliação de empregos na agroindústria relacionada à cultura.

Tabela 1 – Número de trabalhadores formais por atividade relacionada à agroindústria sucroenergética, em 2002 e 2015, no Brasil

Descrição	2002	2015	Δ%
Cultivo de Cana-de-açúcar	367.620	238.320	-35,17%
Produção de açúcar	301.873	427.393	41,58%
Produção de etanol	95.100	174.568	83,56%
Total Geral	764.593	840.281	9,90%

Fonte: elaborado pelos autores com base em MTE (2017).

Entre 2002 e 2015, a redução absoluta dos empregos no cultivo da cana no Brasil foi superior a 129 mil postos de trabalho. Este novo contexto vem abrindo novas possibilidades de assimilação de mão de obra mais qualificada e técnica, embora em uma proporção muito menor e com distintos requisitos de qualificação, criando oportunidades para tratoristas, motoristas, mecânicos, pilotos de colhedoras e profissionais ligados à fabricação de máquinas e equipamentos.

Por outro lado, um grande número de cortadores de cana, desprovidos de escolaridade e experiência profissional em outras áreas, acaba migrando para outros setores em busca de novas oportunidades (MORAES, 2007; RIBEIRO; FICARELLI, 2010; FERREIRA-FILHO, 2013).

Para fortalecer as evidências a respeito do possível aumento de demanda por mão de obra mais qualificada, a Tabela 2 apresenta a proporção de trabalhadores por grau de instrução atuando no cultivo da cana-de-açúcar em 2006² e 2015. Por um lado, houve reduções da proporção de trabalhadores em todas as categorias de trabalhadores com níveis de instrução até o ensino fundamental. No outro extremo, para todas as categorias com nível de instrução mais elevado, ou médio em diante, observou-se aumento da participação. Destaca-se o aumento de 12,53 p.p. na participação dos trabalhadores com até ensino médio completo.

Tabela 2 – Proporção de trabalhadores por grau de instrução atuando no cultivo da cana-de-açúcar em 2006 e 2015

Grau de instrução	2006	2015	Δ
Analfabeto	8,58%	5,22%	-3,36%
Até 5ª Incompleto	33,00%	24,15%	-8,85%
5ª Completo Fundamental	21,00%	13,66%	-7,35%
6ª a 9ª Fundamental	16,78%	15,22%	-1,56%
Fundamental Completo	9,24%	13,66%	4,41%
Médio Incompleto	4,16%	6,33%	2,18%
Médio Completo	5,98%	18,51%	12,53%
Superior Incompleto	0,38%	0,87%	0,49%
Superior Completo	0,87%	2,33%	1,46%
Mestrado	0,01%	0,04%	0,03%
Doutorado	0,00%	0,02%	0,02%

Fonte: elaborado pelos autores com base em dados do MTE (2017).

Evidências sugerem a alocação desses trabalhadores não qualificados principalmente na construção civil, setor de serviços e outras atividades agropecuárias, mas ainda verifica-se na literatura uma relativa carência de estudos que avaliem esse processo sob este aspecto (GILIO, 2015).

Outro mercado afetado pela mudança institucional é a indústria de máquinas agrícolas, responsável por produzir os bens de capital que irão suprir o processo de mecanização da colheita. Embora exista uma grande carência de informações a respeito desse mercado, são discutidos aqui alguns aspectos estruturais e conjunturais sobre a dinâmica de vendas do segmento de colhedoras de cana-de-açúcar e sua participação no mercado mais amplo de colheitadeiras, ainda que de forma preliminar.

A série de venda de colhedoras de cana-de-açúcar no Brasil é relativamente curta (2013 a 2018) e passou a ser divulgada pela associação responsável (Anfavea) apenas no anuário estatístico de 2017. A Tabela 3 ilustra as quantidades vendidas de colhedoras de cana-de-açúcar nesse período e a respectiva participação das colhedoras de cana-de-açúcar no mercado agregado de colheitadeiras (cana e grãos) no Brasil e nos principais estados produtores de cana.

2 Optou-se por utilizar o ano de 2006 para comparações devido à compatibilidade das classificações do nível de instrução. Para os anos de 2005 e anteriores, outra classificação era utilizada.

Tabela 3 – Venda de colhedoras de cana e representatividade no mercado agregado entre 2013 e 2017

Estados	Vendas de colhedoras de cana					Colhedoras de cana/Mercado agregado				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Minas Gerais	-	-	63	86	42	-	-	30%	29%	17%
São Paulo	-	-	362	584	478	-	-	64%	71%	65%
Paraná	-	-	49	69	13	-	-	6%	6%	1%
Mato Grosso do Sul	-	-	97	51	65	-	-	30%	18%	22%
Goiás	-	-	108	81	103	-	-	24%	15%	19%
Brasil	1.406	982	713	910	721	15%	13%	15%	17%	14%

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados da Anfavea (2015; 2017).

As vendas de tratores, colheitadeiras e demais máquinas e implementos são fortemente influenciadas pela produção agrícola e suas respectivas oscilações de preços e quantidades. Além disso, a demanda por esses bens de capital é condicionada também à oferta de crédito agrícola para investimento, que capacita financeiramente produtor rural para a aquisição (SILVA, 2015).

Apesar da forte crise que o setor sucroenergético sofreu nesse período com o represamento dos preços e desonerações tributárias sobre a gasolina, além do ambiente político e econômico totalmente adverso que tem se configurado desde 2013 e que tem drenado os recursos financeiros públicos e privados, os dados revelam que as vendas de colhedoras de cana-de-açúcar mantiveram participação constante no mercado agregado de colheitadeiras. No estado de São Paulo, principal produtor de cana-de-açúcar, as vendas de colhedoras de cana-de-açúcar apresentaram crescimento de 32% entre 2015 e 2017, e as vendas de colhedoras de cana representaram uma participação média de 66% do total de colheitadeiras vendidas no estado, parcela bastante superior à dos demais estados analisados. No Brasil, de forma agregada, essa parcela se manteve relativamente estável em 15%.

A colheita mecanizada apresenta participação significativa em estados como Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e São Paulo, conforme detalhado na Tabela 4. O Centro-oeste brasileiro vem apresentando expansão da produção canavieira com base em tecnologia de ponta, prática comum na região em culturas como a da soja. A Tabela 4 ilustra os valores percentuais e absolutos de área de colheita manual e mecânica no Brasil e principais estados produtores.

Tabela 4 – Participação da colheita mecânica e manual no total da área colhida nos estados, na safra 2013/2014

Estado	Percentual de colheita mecânica	Área estimada de colheita manual (ha)	Área estimada de colheita mecânica (ha)
Minas Gerais	80,00%	155.966	623.864
São Paulo	74,90%	1.140.741	3.411.299
Paraná	65,30%	203.246	383.154
Mato Grosso do Sul	99,90%	720	653.780
Goiás	88,00%	98.616	719.774
Brasil	70,10%	2.635.182	6.175.068

Fonte: elaborado pelos autores com base em informações da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017).

As maiores áreas de colheita mecânica estão concentradas no estado de São Paulo, embora esse estado não tenha apresentado o maior percentual de mecanização da colheita, que ocorre no Mato Grosso do Sul. Os estados nos quais o percentual de colheita mecânica é menor, como o exemplo do Paraná, têm como principal entrave à expansão da mecanização as áreas com relevo acidentado e inclinações superiores ao limite adequado para a operação das máquinas e devem ter uma transição mais lenta entre a colheita manual e mecânica. Todavia, a mecanização da colheita de cana-de-açúcar tem se mostrado um caminho sem volta e as áreas nas quais não for possível essa substituição devem acabar perdendo importância para a produção canavieira.

A próxima seção descreve brevemente a modelagem utilizada nesse trabalho, destacando as características que levaram à sua escolha dentre as outras possibilidades metodológicas da literatura econômica. Tal modelagem possui uma série de características que detalham as inter-relações entre os setores da economia, suas interações com o setor externo, governo e outros atores e que visam representar as condições reais da economia em análise. Todavia, o detalhamento dessas inter-relações expressas no conjunto de equações do mode-

lo foge ao escopo desse trabalho, no qual optou-se por destacar os aspectos centrais dessa classe de modelos, seu funcionamento e suas vantagens em relação a outras abordagens, além de sua adequação ao objetivo da pesquisa. Mais detalhes a respeito da construção do modelo de equilíbrio geral computável utilizado podem ser vistas em Horridge (2000; 2003) e Dixon et al. (1982).

3 MODELOS COMPUTÁVEIS DE EQUILÍBRIO GERAL (CGE)

Os Modelos Computáveis de Equilíbrio Geral (CGE) são geralmente destacados na literatura científica como uma evolução metodológica no que se refere às tentativas de análise das inter-relações entre os setores da economia. Com relação às abordagens anteriores aos modelos CGE, há a vantagem da não necessidade de adoção de premissas altamente restritivas e com grande efeito nos resultados gerados, como a de preços fixos e a não incorporação de restrições de capacidade produtiva da economia (Modelos Aplicados como a Análise de Insumo-Produto de Leontief e o *Tableau Économique* de Quesnay), bem como o pressuposto de que os preços da economia são totalmente exógenos (Modelos de Programação Linear).

Os modelos CGE proporcionam uma solução simultânea multissetorial para preços e quantidades, partindo de um arcabouço microeconômico com um sistema de solução de equações baseado no comportamento otimizador dos agentes da economia, tendo como principal vantagem a capacidade de reproduzir o fluxo circular da renda em suas simulações.

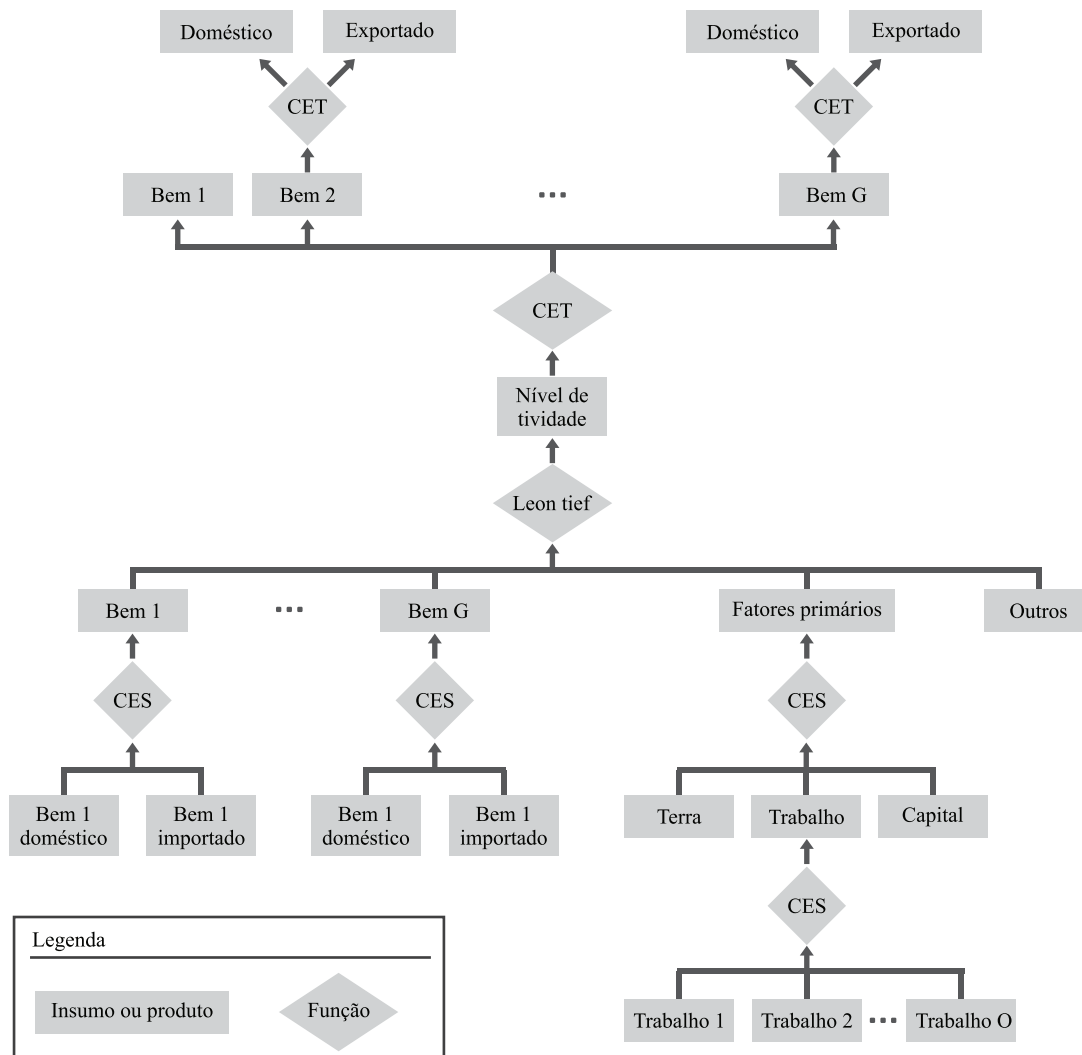
Neste estudo foi utilizado o modelo computável de equilíbrio geral Orani-G, cuja a estrutura teórica foi baseada em Horridge (2000; 2003), porém adaptada ao contexto brasileiro para a realização de uma simulação de longo prazo baseada em cenários predeterminados. A Figura 1 ilustra a estrutura funcional do modelo Orani-G.

Os conjuntos de equações do Orani-G representam as demandas dos produtores por insumos e fatores de produção primários; a oferta de *commodities* por parte dos produtores; a formação de capital; as demandas das famílias, do governo e a demanda externa; as relações entre os preços básicos, custo de produção e os preços ao consumidor; as condições de equilíbrio nos mercados de *commodities* e de fatores primários; além de diversas variáveis macroeconômicas e índices de preços.

O fator trabalho (parte inferior direita da Figura 1) é composto por um conjunto de tipos de mão de obra de diferentes ocupações e determinado por funções de produção com elasticidade de substituição constantes (CES) e irá interagir com os demais fatores produtivos (terra e capital) também por meio de funções CES para determinar o equilíbrio no mercado de fatores primários.

A determinação dos insumos intermediários (parte inferior esquerda da Figura 1) se dá por meio de funções CES para escolher as proporções de insumos domésticos e importados que irão compor os insumos intermediários (agregados) que irão interagir com os fatores produtivos (terra, capital e trabalho) por meio de funções Leontief (proporções fixas).

Figura 1 – Estrutura de produção do modelo ORANI-G



Fonte: versão traduzida com base em Horridge (2000).

Os bens são, então, produzidos, seguindo funções de elasticidade constante de transformação (CET) e destinados ao mercado doméstico ou estrangeiro também assumindo funções CET.

As equações comportamentais dos agentes econômicos refletem a minimização de custos de produção por parte dos setores produtivos. Tais equações são não lineares, optando-se pela linearização para a solução do sistema por meio da técnica de Euler com 3 passos, que, por realizar uma linearização em várias etapas, produz menores erros de aproximação. Dessa forma, as respostas advindas do Orani-G são dadas em termos de variações percentuais.

Todos os preços foram tratados de forma relativa. Nesse sentido, é necessário escolher o preço de um mercado para ser usado como referência aos demais preços, denominado *numeraire* do modelo. Utilizou-se como *numeraire* a taxa de câmbio nominal R\$/US\$.

No que tange à especificação, embora os modelos de CGE sejam fundamentalmente microeconômicos, para uma consistência interna requer-se também que haja equilíbrio entre os fluxos agregados da economia. A operacionalização dessa família de modelos requer o estabelecimento de hipóteses de simulação “permitindo choques exógenos específicos, para determinadas variáveis, que desencadeiam alterações nas variáveis endógenas, por meio de mudanças nos preços relativos e quantidades reais” (SOUZA et al., 2016, p. 106) até a convergência para um novo ponto de equilíbrio.

Diferentes correntes teóricas podem, por sua vez, embasar a determinação do equilíbrio macroeconômico, sendo esta questão denominada “fechamento” dos modelos. A necessidade de fechamento, em termos matemáticos, visa que o sistema seja exatamente determinado (número de equações independentes igual ao de variáveis endógenas).

O fechamento foi orientado no sentido de uma análise de estática comparativa de longo prazo, proposta condizente com a natureza e objetivo da simulação, relacionada aos efeitos de longo prazo avaliados sobre a proibição da queima da palha da cana-de-açúcar no método de despalha, obrigação legal a ser totalmente efetivada em 2031, conforme Decreto Federal n. 2.661.

Deste modo, o emprego nacional foi mantido fixo, mas permitindo-se que houvesse deslocamentos intersetoriais. Os salários reais foram considerados endógenos, bem como o estoque de capital. Para tal, foi considerado que as taxas de retorno do capital se mantivessem relativamente estáveis, podendo variar apenas de maneira proporcional.

Os cenários analisados foram parcialmente baseados na agenda de pesquisa proposta em Vian et al. (2007) e Vian et al. (2008), na qual os autores partem da metodologia de Estudo de Impacto Econômico (EIS) e do modelo Estrutura-Condução-Desempenho para avaliar os impactos econômicos da desregulamentação da economia brasileira nos anos 1990 sobre o setor sucroalcooleiro. Estes trabalhos propunham três cenários, dos quais um foi tomado como base para a análise: aumento da demanda por açúcar e etanol, com a redução da produtividade do trabalho no setor canavieiro e mantendo-se o fator terra constante.

O principal choque foi aplicado sobre a produtividade do trabalho no segmento cana-de-açúcar, simulando a queda de produtividade do corte manual de cana crua e visando reproduzir a mudança institucional do Decreto Federal n. 2.661.

De acordo com Moraes (2007), ocorre uma expressiva perda de produtividade do trabalho, que cai de 6 toneladas/dia.trabalhador para 2,5 toneladas/dia.trabalhador, uma queda de 58,3%. O corte manual da cana crua exige que a despalha seja realizada pelo trabalhador, aumentando o número de tarefas a serem realizadas e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade do trabalho. Ainda de acordo com Moraes (2007), o corte manual da cana crua é inviável também para os trabalhadores

volantes, uma vez que possuem seus salários vinculados à produtividade, e, portanto, as convenções coletivas estipulam que o corte manual deve ser condicionado à queimada prévia da cana.

As evoluções das exportações de açúcar e etanol mostram tendências crescentes, de acordo com as estimativas da Fiesp (2014). De acordo com o estudo, entre as safras 2013/2014 e 2023/24, as exportações de açúcar e etanol devem crescer 21,3% e 20,7%, respectivamente. Em 2012, as exportações de etanol foram próximas dos 3,4 bilhões de litros e, extrapolando a tendência de crescimento das exportações para 2031, deve-se chegar a um aumento em torno de 45,8%. A mesma tendência foi considerada para o caso do açúcar.

A população brasileira também deverá crescer até 2031. A estimativa do Ipea é de que a população se estabilize em 2030 em um contingente de aproximadamente 206,8 milhões de pessoas, um crescimento de 13,66% se comparado a 2005.

Por fim, com o desenvolvimento de novas máquinas, espera-se que ocorra uma evolução tecnológica dos bens de capital utilizados na agricultura (SILVA, 2015). A evolução tecnológica da indústria de máquinas agrícolas ocorre, geralmente, de maneira incremental, com poucas, embora importantes, mudanças de paradigmas tecnológicos ao longo do tempo (FONSECA, 1990; VIAN et al., 2013; SILVA, 2015). Foi considerada, portanto, uma taxa de crescimento da produtividade do capital de 0,9% ao ano, chegando-se ao acumulado de 25% entre 2006 e 2031.

Em resumo, foram considerados choques negativos na produtividade do trabalho e positivos na produtividade do capital e aumentos na demanda de açúcar e etanol (doméstica e externa), por meio de choques positivos nas exportações em ambos os produtos e por choques positivos no contingente populacional, aumentando a demanda interna. O Quadro 1 ilustra as variáveis que sofreram choques e a magnitude de cada choque, bem como o referencial que embasou cada um deles.

Quadro 1 – Descrição das variáveis e choques aplicados nos cenários propostos para 2031

Variável	Descrição	Motivação	Referencial	Choques
a1lab_o(CANAC)	Produtividade do trabalho no cultivo de cana	Queda de produtividade do corte manual	Moraes (2007)	-58.30%
f4q(ACUC)	Exportações de açúcar	Aumento da demanda externa de açúcar	FIESP (2014)	45.80%
f4q(ETANO)	Exportações de etanol	Aumento da demanda externa de etanol	FIESP (2014)	45.80%
Q	População	Crescimento populacional	IPEA (2010)	13.66%
a1cap(CANAC)	Produtividade do capital no cultivo de cana	Evolução tecnológica das máquinas agrícolas	Silva (2015)	25.00%

Fonte: elaborado pelos autores.

A adequação do modelo ao caso brasileiro foi realizada com base nos dados organizados em uma Matriz de Contabilidade Social do Brasil (SAM), originada de informações das Matrizes de Insumo Produto (MIP), Contas Nacionais e Regionais e Censos Demográficos, disponibilizados de modo desagregado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estipulando-se o ano de 2005 como base. Para as simulações, foi utilizado o software Gempack e suas extensões necessárias para a análise dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção ilustra e discute os principais resultados obtidos por meio da análise realizada e discute algumas implicações em termos de mercado de trabalho e investimento nos setores ligados à produção canavieira. A Tabela 5 traz um resumo dos principais resultados.

Tabela 5 – Efeitos dos choques preestabelecidos sobre as variáveis selecionadas (em %)

Descrição	Variável	Indústria		
		Cana de açúcar	Refino de açúcar	Etanol
Investimento	x2tot	30,73	18,68	3,56
Estoque de capital	x1cap	31,20	19,12	3,97
Emprego	x1lab	-53,94	18,92	3,79
Valor adicionado	x1tot	6,07	19,01	3,90

Fonte: elaborado pelos autores com base nos resultados da pesquisa.

A quantidade de mão de obra empregada na produção de cana-de-açúcar sofreria, conforme o esperado, uma redução de 53,94%, indicando maior desemprego oriundo da redução do contingente de trabalhadores volantes, agora “menos eficientes” na colheita da cana. Esse resultado está em linha com os encontrados em Moraes (2007) e Gilio et al. (2018). Segundo Moraes (2007), hou-

ve uma redução de 23% dos empregados do setor de cana-de-açúcar entre 1992 e 2005, sendo essa impulsionada, provavelmente, pela mecanização, já que no período a produção canavieira aumentou 54,6%.

Gilio et al. (2018) atualizam os indicadores de mercado de trabalho para o setor propondo, ainda, uma nova abordagem de classificação dos trabalhadores entre os diferentes elos da cadeia sucroenergética. Para esses autores, entre 2000 e 2016, o crescimento do número de empregados formais na indústria e nas atividades administrativas foi, em termos relativos, maior do que o de trabalhadores rurais, elevando a participação desses segmentos dentro do setor. E, especificamente entre 2008 e 2016, os autores demonstram que houve redução de 45,7% nos empregos formais na cana-de-açúcar.

Dada a baixa qualificação profissional desses trabalhadores, a realocação no mercado de trabalho torna-se um grande desafio. Segundo Greenway et al. (2000), a magnitude na qual as capacitações do indivíduo são específicas a um setor com emprego declinante é determinante para definir qual será o custo de ajustamento para o indivíduo – que, então, deve ser elevado para esses trabalhadores da produção de cana-de-açúcar.

Historicamente, os trabalhadores menos qualificados do campo, ao perderem espaço na atividade agrícola, são redistribuídos em outras atividades agrícolas, ou se transferem para o setor não agrícola dos centros urbanos (PAIVA, 1971). Grande parte acaba atuando na indústria da construção civil e prestação de serviços. Os resultados apontam para esse movimento, demonstrando que a quantidade de trabalho empregada em outras atividades agrícolas aumenta marginalmente como efeito da redistribuição da força de trabalho oriunda da colheita mecanizada da cana-de-açúcar. Todavia esse aspecto não é analisado detalhadamente dentro do escopo deste trabalho. Gilio (2015) destaca que

ainda não há estudos na literatura científica que avaliem efetivamente a alocação dos trabalhadores que deixaram o setor com o processo de mecanização, mas há evidências destacadas na literatura, sem maior exploração empírica, de que houve uma absorção pela construção civil e outros segmentos agrícolas.

Já no segmento de refino de açúcar, o emprego apresentaria um aumento de 18,92%, demonstrando que parte do desemprego oriundo da proibição da queima da palha da cana-de-açúcar seria amenizada, no âmbito do setor como um todo, pelas contratações neste outro segmento da cadeia produtiva, embora não se trate da mesma classe de profissionais que perderiam seus postos de trabalhos na colheita de cana-de-açúcar. O mesmo ocorre no segmento do etanol, que apresentou uma expansão de quantidade de mão de obra de 3,79%.

Os resultados aqui encontrados para o emprego corroboram o apresentado em Toneto Junior e Liboni (2008). Os autores apontam que, com a mecanização, a tendência seria de crescimento no número de usinas, com a expansão geral da atividade e, conseqüentemente, dos empregos agroindustriais. Portanto, parte da redução dos empregos no campo seria compensada tanto pelo aumento dos empregos em modalidades vinculadas à mecanização nas novas áreas de expansão da cultura, quanto pelo aumento dos empregos nas novas usinas.

Os níveis de investimento, por sua vez, devem aumentar significativamente na indústria de cana-de-açúcar. De acordo com os resultados encontrados, haveria uma expansão de 30,73% até 2031, considerando-se o cenário projetado. Embora sejam escassos os trabalhos científicos que analisem as relações entre os produtores agrícolas e os fornecedores de máquinas e equipamentos, que são condicionadas por aspectos como acesso ao crédito (subsidiado) e aspectos macroeconômicos, a grande queda de produtividade do trabalho no corte manual de cana crua acaba impondo a mecanização como solução única para a atividade canavieira, ampliando a demanda por máquinas e implementos agrícolas. A indústria de máquinas agrícolas deve, portanto, ter a demanda por seus produtos fortalecida até o horizonte temporal do Decreto Federal n. 2.661, ainda que as condições político-econômicas adversas que têm se estabelecido desde 2013 amenizem esse efeito.

Por outro lado, o maior grau de capitalização na produção de cana-de-açúcar deve aumentar a concentração do setor em um perfil de produtor mais “moderno” e competitivo, que possui acesso às fontes de financiamento, mão de obra qualificada, porte econômico e escala produtiva adequados para atuarem nesse novo ambiente, excluindo os produtores menores do mercado.

Essa expansão dos investimentos ocorre também nos outros elos do complexo, acarretando novas demandas para a indústria de máquinas e equipamentos para produção de açúcar e etanol, embora em menor proporção. No caso do açúcar, os investimentos devem ampliar 18,68% e no caso do etanol o aumento é de 3,56% até 2031. Todavia, aumento de investimentos nesses segmentos da cadeia produtiva estão mais atrelados ao crescimento da demanda por açúcar e etanol do que propriamente à mecanização da colheita de cana-de-açúcar.

O aumento dos investimentos em todos os elos da cadeia produtiva frente à mecanização também foi sugerido por Toneto Junior e Liboni (2008). Para Toneto Junior e Liboni (2008), apud Padrão (1997), a mecanização do cultivo é fundamental para a competitividade nas usinas e, com isso, se esperava o surgimento de novos empreendimentos frente ao novo ciclo tecnológico e competitivo do setor.

Os novos investimentos aumentariam os estoques de capital nas indústrias analisadas, sobretudo na indústria de cana-de-açúcar, na qual o estoque de capital deve se expandir 31,2%, ampliando as frotas de colheitadeiras e tratores para as atividades antes realizadas por trabalhadores volantes. Nesse sentido, mesmo após a consolidação da mecanização da colheita de cana-de-açúcar, a indústria de máquinas agrícolas deve traçar um horizonte positivo, devido à necessidade de constante substituição/atualização da frota de máquinas, tornando esse mercado mais sólido.

O estoque de capital também se expande no segmento de refino de açúcar e de produção de etanol, com aumentos da ordem de 19,12% e 3,97%, respectivamente. O motivo, novamente, é a ampliação da demanda por esses produtos e não diretamente a proibição das queimadas.

Por fim, a atividade econômica e o valor adicionado devem crescer nos três segmentos analisados, visando atender ao aumento de demanda

doméstica e externa. O maior crescimento se dá na atividade de refino do açúcar (19,01%). No caso da produção de cana-de-açúcar e de etanol os aumentos são mais modestos, atingindo as taxas de 6,07% e 3,90%, respectivamente.

CONCLUSÕES

Com a restrição imposta sobre a queima como método de despalha, reduziu-se expressivamente o contingente de mão de obra empregado na produção de cana-de-açúcar e elevou-se o nível de investimento e o estoque de capital na cadeia produtiva como um todo. A substituição de força de trabalho humana por mecânica na colheita de cana se reflete em um aumento de demanda para a indústria de máquinas e equipamentos, que deve expandir-se ao longo desse período. Embora esses setores não sejam capazes de absorver toda a mão de obra advinda do campo, seus maiores encadeamentos produtivos com outros setores podem aumentar o dinamismo econômico.

A mão de obra desempregada pela imposição da medida legal deverá ser, parcialmente, redistribuída entre as demais atividades produtivas do setor agrícola (outras culturas) ou absorvida pelo setor não agrícola dos centros urbanos brasileiros. Devido à expansão da cadeia produtiva da cana-de-açúcar (e derivados), existe potencial, embora pequeno, de absorção de parte dessa mão de obra desempregada pela própria cadeia produtiva, além da compensação de uma parcela do desemprego com a contratação de mão de obra em outras funções (administrativas e operacionais). Todavia, devido à grande massa de trabalhadores que a colheita de cana empregava e dado seu baixo nível de qualificação profissional, incorre-se no risco da marginalização ou aumento do emprego informal e subemprego.

Neste estudo, há a limitação de não se oferecer uma visão completa sobre a realocação destes trabalhadores que saíram do setor sucroenergético. Verifica-se, portanto, a necessidade de novos estudos que lancem foco sobre a migração intersetorial destes trabalhadores, avaliando a alocação final dos mesmos após o processo de mecanização, sendo essa uma importante agenda de pesquisa futura.

Além da redução de mão de obra na colheita de cana-de-açúcar, a proibição da queima como método de despalha representa novos condicio-

nantes para o produtor rural na atividade, o que pode gerar maior concentração da produção, dada a maior exigência de capitalização dos produtores e maiores níveis de escala mínima eficiente, estimulando parte dos produtores a migrar para outras atividades ou mesmo marginalizando-os, hipótese que deve motivar novos estudos a respeito.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho, pelos comentários e sugestões realizadas ao longo da elaboração do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANFAVEA. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira - 2017**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuarios.html>>. Acesso em: 22 ago. 2018.
- _____. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2015**. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2017/files/assets/common/downloads/publication.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2018.
- ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2013**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2013. 232 p.
- CALDARELLI, C. E.; GILIO, L. Expansion of the sugarcane industry and its effects on land use in São Paulo: analysis from 2000 through 2015. **Land use policy**, v. 76, p. 264-274, 2018.
- CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Dinâmica dos empregos formais na agroindústria sucroenergética de 2000 a 2016**. Mercado de trabalho do agronegócio brasileiro – Edição especial. 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/MERCADODETRABALHO_EDICAOESPECIAL_N2.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2018.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perfil do setor açúcar e do etanol no Brasil**, v. 2, Safra 2013/14, Brasília, p. 1-66, 2017.

_____. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras de 2005/06 a 2014/15 de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 15 jun. 2015.

DIXON, P. B., PARMENTER, B. R., SUTTON, J.; VINCENT, D. P. **ORANI: A multisectoral model of the Australian economy**. Amsterdam: North-Holland, 1982. Disponível em: <<https://www.copsmodels.com/oranibook.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

FIESP. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2023: Projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo, 2014.

FERREIRA FILHO, J. B. S. Food security, the labor market, and poverty in the Brazilian bio-economy. **Agricultural Economics**, West Sussex, v. 44, p. 85-93, nov. 2013.

FONSECA, M. D. G. D. **Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para a agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas**. Campinas, 1990. 249 p. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

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

GILIO, L.; CASTRO, N. R.; RODRIGUES, L.; BELON, J. G. O. Mercado de trabalho formal e rendimentos da agroindústria sucroenergética de 2000 a 2016. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 56., 2018, Campinas. **Anais...**, Campinas: Sober, 2018.

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

GREENWAY, D.; UPWARD, R.; WRIGHT, P. Sectoral transformation and labour-market flows. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 16, n. 3, p. 57-75, 2000.

HORRIDGE, M. **Orani-G: a generic single-country computable general equilibrium model**. Australia: Centre of Policy Studies, Monash University, 2003.

HORRIDGE, M. **Orani-G: a general equilibrium model of the Australian economy**. CoPS/Impact Working Paper Number OP-93. Australia: Centre of Policy Studies, Monash University, 2000.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa agrícola municipal – culturas temporárias e permanentes. Banco de dados agregados: sistema IBGE de recuperação automática – Sidra. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=18&i=P>>. Acesso em: 16 de out. 2015.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **PNAD 2009 –** Primeiras análises: tendências demográficas. Comunicados do Ipea, Rio de Janeiro, 2010.

MTE. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Relação anual de informações sociais (Rais). Programa de disseminação de estatísticas do trabalho – PDET. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/portal-pdet/home/>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

MORAES, M. A. F. D. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. **Economia Aplicada**, v. 11, n. 4, p. 605-619, 2007.

MORAES, M. A. F. D.; ZILBERMAN, D. **Production of ethanol from sugarcane in Brazil**. New York: Springer, 2014. v. 1. PAIVA, R. M. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura. **Pesquisa e Planejamento**, v. 1, n. 2, p. 171-234, 1971.

RIBEIRO, H.; FICARELLI, T. R. A. Sugarcane burning and perspectives for harvesters in Macatuba, São Paulo. **Saúde & Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 48-63, 2010.

SILVA, R. P. **A indústria de máquinas agrícolas**: formação de um oligopólio, internacionalização e poder de mercado. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol - an assessment of the possibilities of certified production. **Biomass & Bioenergy**, Nova York, v. 32, n. 8, p. 781-813, 2008.

SOUZA, K. B.; CARDOSO, D. F.; DOMINGUES, E. P. Medidas recentes de desoneração tributária no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável. **Revista Brasileira de Economia**, v. 70, n. 1, p. 99-125, 2016.

TONETO JUNIOR, R.; LIBONI, L. B. Evolução recente do mercado de trabalho da cana-de-açúcar no Brasil (1995-2006). **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 10, n. 3, p. 455-474, 2008.

ÚNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Histórico de produção e moagem. **Unicadata**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

VIAN, C. E. D. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. 4, p. 719-744, out./dez., 2013.

VIAN, C. E. F.; LIMA, A. A.; SOUZA LIMA, R. A. Estudo de impacto econômico para o setor agroindustrial canavieiro paulista e alagoano: conjuntura e agenda de pesquisa. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 518-539, 2008.

VIAN, C. E. F.; SILVA, R. P.; BARICELO, L.; PISSINATO, B. Evolução da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: desafios e perspectivas. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. (ORG.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p. 608.

VIAN, C. E. F.; SOUZA LIMA, R. A.; FERREIRA-FILHO, J. B. S. Estudo de impacto econômico (EIS) para o complexo agroindustrial canavieiro paulista: desafios e agenda de pesquisa. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 54, n. 2, p. 5-26, 2007.