

DIMENSÃO ECONÔMICA E AMBIENTAL DA CADEIA DA CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO (2000, 2005, 2010 E 2014)

MARCO ANTONIO MONTOYA ^{*}
PERY FRANCISCO ASSIS SHIKIDA [†]
ANDRÉ RICARDO BECHLIN [‡]

Resumo

Este artigo analisa a geração de renda e emprego, o consumo de energia e as emissões de CO₂ da Cadeia da Cana-de-açúcar brasileira para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2014. Para tanto foram compatibilizadas e desagregadas as matrizes energéticas e de emissões de acordo com as matrizes insumo-produto do Brasil. Em relação ao Agronegócio, durante o período, a Cadeia da Cana-de-açúcar teve redução de sua participação no PIB e no número de empregos, porém, apresentou ganhos no consumo de energia e nas emissões de CO₂, sendo estas majoritariamente de fontes renováveis.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; Produto Interno Bruto; emprego; consumo de energia; emissões de CO₂; insumo-produto.

Abstract

This article is aimed at analyzing the income and employment generation, energy consumption and CO₂ emissions of the Brazilian Sugarcane Chain for the years of 2000, 2005, 2010, and 2014. To obtain those data, the energy and emissions matrices were compatibilized and disaggregated, according of Brazil input-output matrix. In the evaluated period, the Sugarcane Chain, related to the Agribusiness, had a reduction in its share in GDP and in the number of employments, however, it showed gains in energy consumption and CO₂ emissions, which are mostly from renewable sources.

Keywords: sugarcane; Gross Domestic Product; employment; energy consumption; CO₂ emissions; input-output.

JEL classification: Q10, Q43, C67

DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/1980-5330/ea158187>

^{*} Universidade de Passo Fundo. E-mail: montoya@upf.br

[†] Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: peryshikida@hotmail.com

[‡] Universidade Estadual do Paraná. E-mail: andre.bechlin@unespar.edu.br

1 Introdução

A formação econômica do Brasil é permeada desde seu princípio pela produção de cana-de-açúcar, alternando entre momentos de maior e menor protagonismo de tal cultura frente as demais, mas é mister afirmar que do início do cultivo em meados do século XVI até o final do século XVIII a cultura se apresentou como única atividade econômica organizada na então colônia (SZMRECSÁNYI, 1979).

Inicialmente a cultura da cana-de-açúcar no Brasil estava localizada no litoral do Nordeste e, posteriormente, no início do século XIX, passou a ocupar áreas no Sudeste, sendo que atualmente as duas áreas produtoras são denominadas Região Norte-Nordeste e Região Centro-Sul. No período compreendido entre os anos 1980 e 2017, houve um aumento da área plantada de cana-de-açúcar na ordem de 277,8%, passando de 2,7 milhões de hectares para 10,2 milhões de hectares, equivalente a 18,47% do total de lavouras temporárias brasileiras em 2017. Aliada a expansão da área, houve também um progressivo aumento da participação da Região Centro-Sul no total, passando de 62,3% (1980) para 90,2% (2017) da área plantada, com concentração de aproximadamente 56% no Estado de São Paulo (IBGE, 2017; UNICA, 2019b).

Essa área plantada permite que o Brasil ocupe a posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar (641 milhões de toneladas processadas na safra 2017/2018), sendo o Setor Sucroenergético responsável por aproximadamente 2% do Produto Interno Bruto (PIB), equivalente a US\$43 bilhões e com uma geração de empregos de aproximadamente 2,4 milhões de trabalhadores diretos e indiretos (UNICA, 2019a).

Na safra 2017/2018, o país obteve US\$12,2 bilhões em divisas advindas das exportações de açúcar e etanol, consolidando a posição de maior produtor (38,6 milhões de toneladas, equivalente a 20% da produção global) e maior exportador mundial de açúcar (27,8 milhões de toneladas, equivalente a 45% do total comercializado). Tais cifras conferem ao Setor Sucroenergético a quarta posição na pauta exportadora do agronegócio nacional. O Brasil também figura como segundo maior produtor mundial de etanol, com uma produção de 27,9 bilhões de litros (UNICA, 2019a).

Além dos fatores econômicos, o Setor Sucroenergético apresenta uma dupla inserção na matriz energética nacional, seja no fornecimento de etanol (anidro e hidratado) para veículos automotores, seja pelo fornecimento de eletricidade gerada por meio da queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. De acordo com (UNICA, 2019a), essa atividade é responsável por 17,5% da matriz energética nacional e 43,5% da oferta de energia renovável no país, com expectativa de geração de 20,2 Gigawatt de bioeletricidade até o ano de 2023.

Com vistas a uma melhor compreensão dos aspectos econômicos e ambientais presentes na Cadeia da Cana-de-açúcar, este artigo busca responder as seguintes questões: qual é a tendência de consumo de energia na cadeia? A energia consumida advém de fontes renováveis ou não renováveis? Qual é o comportamento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na cadeia? Quais são os segmentos da cadeia que mais contribuem com essas emissões? Em comparação ao Agronegócio e a economia brasileira como um todo, qual é a intensidade das emissões de CO₂ da cadeia?

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a geração de renda e emprego, bem como o consumo de energia e as emissões de CO₂ da Cadeia da Cana-de-açúcar brasileira para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2014.

Para tal, além desta introdução, o artigo está composto por mais quatro seções. Na seção 2, apresenta-se a metodologia, na seção 3, os resultados e discussões e, por fim, na seção 4, são apresentadas as conclusões.

2 Metodologia

Para o cálculo da renda e do emprego da Cadeia da Cana-de-açúcar foram utilizadas como referencial as metodologias de [Davis e Goldberg \(1957\)](#) e [Malassis \(1969\)](#), que utilizam as matrizes insumo-produto desenvolvidas por [Leontief \(1951\)](#), bem como as contribuições de [Araújo, Wedekin e Pinazza \(1990\)](#), [Lauschner \(1993\)](#), [Furtuoso \(1998\)](#), [Montoya e Guilhoto \(2000\)](#), [Guilhoto, Furtuoso e Barros \(2000\)](#), [Montoya e Finamore \(2001\)](#) e [CEPEA \(2011\)](#), entre outros.

Os valores referentes ao consumo de energia em toneladas equivalente petróleo (tep) e às emissões de CO₂ da Cadeia da Cana-de-açúcar foram obtidos por meio das metodologias de [Montoya, Lopes e Guilhoto \(2014\)](#), [Montoya e Pasqual \(2015\)](#) e [Montoya et al. \(2016, 2017a,b, 2019\)](#) que compatibilizam e desagregam as Matrizes Energéticas e de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Balanço Energético Nacional (BEN) em nível das Matrizes Insumo-Produto (MIP).

2.1 Mensuração da Cadeia da Cana-de-açúcar

Para a operacionalização desse modelo proposto foi necessária a compilação de uma matriz insumo-produto com tecnologia produto-produto, de forma a desagregar o Produto cana-de açúcar do Setor Agropecuário, bem como desagregar a Indústria da cana-de-açúcar do Setor Agroindústria.

Seguidamente, a Cadeia da Cana-de-açúcar foi dividida em quatro segmentos: I) Insumos para a cana-de-açúcar; II) Produto cana-de-açúcar; III) Indústria da cana-de-açúcar; e, IV) Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar.

Além desse procedimento, para uma análise comparativa, neste trabalho foram realizadas algumas inovações metodológicas que permitem desagregar o segmento Indústria da cana-de-açúcar em mais três subsegmentos: III.A) Indústria do açúcar; III.B) Indústria de bebidas; e, III.C) Indústria do etanol. Essas inovações consistem em utilizar ponderações da participação dos insumos cana-de-açúcar no total de insumos utilizados pelo setor bebidas e pelo setor etanol e outros biocombustíveis, respectivamente.

O segmento Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar foi contabilizado ou deixado em evidência em mais dois subsegmentos: IV.A) Serviços do produto cana-de-açúcar; e, IV.B) Serviços da indústria da cana-de-açúcar. Além disso, deixou-se em evidência os serviços de Comercialização (IV.A.a, IV.B.a), Transporte (IV.A.b, IV.B.b) e “Outros serviços” (IV.A.c, IV.B.c), respectivamente. Estão incluídos em “Outros serviços” os serviços de produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e, limpeza urbana; os serviços de informação; a intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados; as atividades imobiliárias e aluguéis; os serviços de manutenção e negociação; os serviços de alojamento e alimentação; e os serviços prestados às empresas.

Para se obter os valores da renda (PIB), do emprego (L), do consumo de energia (tep) e das emissões de dióxido de carbono (CO₂) da Cadeia da Cana-de-açúcar, o processo metodológico é similar e os cálculos são efetuados se-

paradamente para cada variável, generalizada no modelo matemático com o símbolo W que representa alternativamente as variáveis de interesse.

Inicialmente, para o cálculo da quantidade ou valor de W do segmento I ou Insumos para a cana-de-açúcar são utilizadas as informações disponíveis nas tabelas de insumo-produto, referentes aos valores dos insumos adquiridos pelos produtores de cana-de-açúcar. A coluna com os valores dos insumos é multiplicada pelos respectivos coeficientes da variável de interesse. Para se obter os coeficientes de W por unidade monetária da atividade q , divide-se o valor da variável de interesse (W_q) pela produção da atividade (X_q), ou seja:

$$CW_q = \frac{W_q}{X_q} \quad (1)$$

$q = 1, 2, \dots, 128$ produtos ou atividades

$W = PIB, L, tep, CO_2$, alternativamente

em que:

CW_q = coeficiente da variável W por unidade monetária da atividade q .

Logo, para se estimar o valor do segmento I, multiplicam-se os valores de cada atividade comprados pela produção de cana-de-açúcar pelo respectivo coeficiente da variável de interesse W de cada atividade:

$$E_I = \sum_{q=1}^n Z_q * CW_q \quad (2)$$

em que:

E_I = quantidade de W no segmento I ou Insumos para a cana-de-açúcar;

Z_q = valor total do insumo da atividade q para a produção de W .

Para o segmento II ou Produto cana-de-açúcar considera-se, no cálculo, a quantidade de W gerada pela produção de cana-de-açúcar e, para evitar dupla contagem, subtraem-se dele as quantidades que foram utilizados como insumos, anteriormente incorporados na quantidade de E_I do segmento I.

Tem-se, então, que:

$$E_{II} = W_q - Z_{ql} * CW_q \quad (3)$$

em que:

E_{II} = quantidade de W no segmento II ou Produto cana-de-açúcar;

Z_{ql} = quantidade do Insumo para a cana-de-açúcar adquirido pela própria atividade do Produto cana-de-açúcar.

No caso da estimação do segmento III ou Indústria da cana-de-açúcar, adota-se o somatório da quantidade de W gerada pelas atividades dessa indústria, subtraídos das quantidades de insumos da própria Indústria da cana-de-açúcar que foram utilizados como insumos no segmento I.

$$E_{III} = \sum_{qal} (W_{qal} - Z_{qal} * CW_{qal}) \quad (4)$$

em que:

E_{III} = quantidade de W do segmento III ou Indústria da cana-de-açúcar;

Z_{qal} = quantidade do insumo da Indústria da cana-de-açúcar adquirido pelo Produto cana-de-açúcar.

Cabe salientar que para fins de definição do segmento Indústria da cana-de-açúcar utilizou-se a Classificação Nacional de Atividades Econômicas -

CNAE 1.0 do IBGE (2003). Verificou-se que as Indústrias do açúcar, de bebidas e do etanol compõem esse segmento. Logo, são consideradas atividades como produção de mudas, de maltose e xaropes de açúcares e bagaço de cana-de-açúcar. Nesse sentido, considerando que a indústria do açúcar na MIP vem desagregada, seu valor adicionado foi considerado de forma integral. Para estimar o valor adicionado da indústria de bebidas, como por exemplo de cachaça, maltose, entre outros, foi considerado como fator de ponderação a participação do insumo cana-de-açúcar no total de insumos nacionais utilizados no setor de bebidas. Já para estimar o valor adicionado do etanol o fator de ponderação foi a participação do insumo cana-de-açúcar no total de insumos nacionais utilizados no setor etanol e outros biocombustíveis. Cabe salientar, que nessa linha de mensuração o CEPEA (2011), dentre outros, utiliza esse procedimento para estimar o agronegócio brasileiro trimestralmente.

O segmento IV, denominado Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar, refere-se às atividades a jusante da industrialização do produto, ou seja, Comercialização, Transporte e Outros serviços anteriormente citados. Como esses três setores envolvem todos os produtos do sistema econômico, fez-se o rateio, aplicando a Cadeia da Cana-de-açúcar apenas o que correspondeu à participação do produto Cana-de-açúcar e produtos industriais (Indústria do açúcar, Indústria de bebidas e Indústria do etanol) na demanda final de produtos. Assim, conforme o referencial metodológico utilizado, para o cálculo desse segmento, soma-se o resultado do cálculo dos Serviços da indústria da cana-de-açúcar e dos Serviços do produto cana-de-açúcar.

A sistemática adotada no cálculo do valor da distribuição final ou os Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar pode ser representada por:

$$DFD = DFG - IIL_{DF} - PI_{DF} \quad (5)$$

em que:

DFD = demanda final doméstica;

DFG = demanda final global;

IIL_{DF} = impostos indiretos líquidos pagos pela demanda final;

PI_{DF} = produtos importados pela demanda final.

Para evitar uma dupla contagem no cálculo das variáveis de interesse da Cadeia da Cana-de-açúcar, é necessário subtrair da margem de comercialização as parcelas de insumos utilizados nas atividades de serviços, pertencentes ao segmento I:

$$MC = (WT + WC + WS) - (Z_{qs} * CW_{qs}) \quad (6)$$

em que:

MC = margem de comercialização;

WT = quantidade de W da atividade transporte;

WC = quantidade de W da atividade comércio;

WS = quantidade de W da atividade serviços;

Z_{qs} = quantidade do insumo serviços adquiridos pelos produtores de cana-de-açúcar;

CW_{qs} = coeficiente de serviços da variável de interesse.

Logo, o segmento IV ou Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar é:

$$EIV = MC * \frac{DF_{ql} + \sum_{qal} DF_{qal}}{DFD} \quad (7)$$

em que:

E_{IV} = quantidade de W do segmento IV ou Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar;

DF_{ql} = demanda final doméstica da produção de cana-de-açúcar;

DF_{qal} = demanda final doméstica da atividade Indústria da cana-de-açúcar.

Finalmente, a quantidade total de W da Cadeia da Cana-de-açúcar é dada pela soma dos seus segmentos, ou seja:

$$E_{Cadeia\ Cana-de-acar} = E_I + E_{II} + E_{III} + E_{IV} \quad (8)$$

2.2 Índices de intensidade e produtividade parcial da Cadeia da Cana-de-açúcar

Para visualizar o processo de modernização e de eficiência com que se usam os fatores físicos de produção na Cadeia da Cana-de-açúcar, foram calculados índices de intensidade do uso da mão de obra (L), do consumo de energia (tep) e das emissões de dióxido de carbono (CO_2) por unidade de renda (PIB) gerada na cadeia, expressos pelas seguintes razões: (L/PIB), (tep/PIB) e (CO_2/PIB). Complementando esses índices, foi utilizada a produtividade parcial da mão de obra na geração de renda, no uso de energia e nas emissões expressos por (PIB/L), (tep/L) e (CO_2/L), respectivamente.

Embora os índices de intensidade e produtividade parcial tenham limitações no curto prazo, por ignorar a contribuição de outros fatores na modernização e ganhos de eficiência do sistema de produção, suas tendências de longo prazo quando comparadas com a produtividade total dos fatores tendem a apresentar variações percentuais bastante próximas, o que valida nesses casos seu uso (MESSA, 2015).

2.3 A Matriz Energética Nacional e as emissões de gases do efeito estufa

No Brasil, embora o BEN e a MIP apresentem setores consumidores compatíveis com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 1.0 do IBGE (2003), o nível de agregação é diferente, dado que a Matriz Energética do BEN apresenta 22 setores consumidores em unidades físicas e a MIP 56 setores em unidades monetárias. Em decorrência disso, a compatibilização das informações gera um reduzido número de setores e/ou atividades consumidoras, o que afeta os resultados e as análises do sistema.

Para superar esse problema e calcular o impacto da Cadeia da Cana-de-açúcar no consumo energético e nas emissões de gases de efeito estufa é necessário compatibilizar e realizar a desagregação por produto ou atividade dos dados do BEN, tomando como referência os dados da MIP, sendo que para tal procedimento utilizou-se a metodologia desenvolvida por Montoya, Lopes e Guilhoto (2014). Ao compatibilizar por um lado os setores consumidores de energia, e por outro os fluxos das fontes de energia com os setores consumidores, obteve-se para cada ano (2000, 2005, 2010 e 2014) uma Matriz Energética Nacional desagregada setorialmente em 56 setores (compatíveis com o número de setores consumidores que apresenta a MIP do país)¹.

¹No presente trabalho foi utilizada a primeira proposta metodológica sugerida por Montoya, Lopes e Guilhoto (2014) denominada Base BEN dado que os testes de correlação e acuidade demonstraram maior convergência com os dados. Sobre a disponibilidade das matrizes agregadas,

Em seguida, foi necessária a compilação das matrizes insumo-produto energéticas e de emissões, com tecnologia produto-produto, de forma a desagregar o Produto cana-de-açúcar do Setor Agropecuário, bem como desagregar a Indústria da cana-de-açúcar do Setor Agroindústria. Esse procedimento torna-se necessário para mensurar o PIB, o emprego, o consumo de energia da Cadeia da Cana-de-açúcar e suas emissões de CO₂ por fontes de energia².

2.4 Base de Dados

Para o cálculo da Cadeia da Cana-de-açúcar, os dados utilizados foram extraídos das Matrizes Insumo-Produto do Brasil de 2000, 2005, 2010 e 2014 estimadas por [Guilhoto e Sesso Filho \(2005, 2010\)](#) e das Matrizes Energéticas do Brasil de 2000, 2005, 2010 e 2014 publicadas pela Empresa de Pesquisa Energética (Brasil) – [EPE \(2015\)](#).

Objetivando avaliar o consumo de energia da Cadeia da Cana-de-açúcar, com base em [EPE \(2015\)](#), estabeleceu-se que a fonte de energia renovável é composta por: lenha, produtos da cana-de-açúcar, outras fontes primárias, eletricidade, carvão vegetal, álcool etílico anidro e hidratado. A fonte de energia não renovável é composta pelo gás natural, carvão vapor, óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene, gás de cidade e de coqueria, coque de carvão mineral, outras secundárias de petróleo e alcatrão.

Para calcular as emissões de gases de efeito estufa da economia brasileira foi necessário realizar a conversão da matriz energética estimada em mil tep, para uma matriz de emissões por produto ou atividade em Gg de CO_{2eq}. Para isso, foram utilizados os coeficientes de conversão encontrados no *Intergovernmental Panel on Climate Change* – [IPCC \(2006\)](#), os quais representam a quantidade total de GEE medido em Gg/1000 tep emitida na atmosfera.

3 Resultados e discussões

Nesta sessão, serão apresentados os principais resultados da Cadeia da Cana-de-açúcar, permitindo visualizar as alterações ocorridas nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2014, de modo a identificar os efeitos da atividade econômica com relação ao emprego, consumo de energia e emissões de CO₂.

3.1 O Produto Interno Bruto da Cadeia da Cana-de-açúcar

Nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2014, o PIB da Cadeia da Cana-de-açúcar a preços básicos apresentou uma taxa de crescimento de 1,67% a.a., passando de R\$80 535 milhões para R\$120 270 milhões em 2010, com posterior redução para R\$101 740 milhões em 2014 (Tabela 1). Ao se observar a participa-

está sendo estudada a possibilidade de criação de um site para disponibilização de um banco de dados para ser publicizado para todos os pesquisadores do Brasil e do mundo, com informações referentes a energia, água e recursos bioeconômicos – maiores informações sobre isso consultar os autores do artigo por meio do e-mail disponibilizado.

²Para além das compatibilizações ou comparações que o uso da MIP requer, frisa-se que as Indústrias do Açúcar e do Alcool, conforme [Martins et al. \(2016\)](#), não são consideradas setores-chave da economia. Ambas as Indústrias apresentam expressivas ligações na posição de demandantes de insumos dos demais setores da economia, mas poucas ligações como ofertantes de insumos. Sobre a interação com outros setores e papel sistêmico que os setores analisados desempenham na economia consultar, dentre outros, [Silveira et al. \(2015\)](#) e [Martins et al. \(2016\)](#).

ção da Cadeia da Cana-de-açúcar no PIB nacional, observa-se uma redução de sua participação no período, uma vez que este correspondia a 2,5% em 2000, passando a representar 2% em 2014, mesmo apresentando crescimento do valor absoluto no período. Quando comparado ao PIB do Setor Agronegócio, a Cadeia da Cana-de-açúcar, que em 2000 tinha uma participação de 10,6% do total, apresentou ganhos de participação até o ano de 2010 e, em 2014 sua participação sofreu redução para 9,9%. Tal movimento é advindo da influência de oscilações no mercado sucroalcooleiro internacional e nacional pois, segundo Santos, Garcia e Shikida (2015), as causas da crise vivenciada pela agroindústria canavieira estão diretamente ligadas ao aumento dos custos, perdas de matéria-prima originadas de sucessivas frustrações de safra por fatores climáticos, elevação do custo do crédito, flutuações dos preços externos do açúcar, redução das margens de comércio e diminuição da competitividade do etanol *vis-à-vis* a gasolina.

Analisando a contribuição dos segmentos na composição do PIB da Cadeia da Cana-de-açúcar, o segmento I apresentou uma tendência decrescente, passando de 6,7% em 2000 para 4,53% em 2014, com uma taxa de crescimento de -1,14% a.a. Essa tendência sugere a ocorrência de uma perda de importância relativa frente aos demais segmentos, uma vez que o PIB apresentou queda de aproximadamente 15% do valor absoluto, passando de R\$ 5412 milhões para R\$ 4613 milhões no período.

O Produto cana-de-açúcar, por sua vez, apresentou crescimento de 3,85% a.a. no período, em virtude disso sua participação percentual na composição do PIB da cadeia passou de 17,7% em 2000 para 24% em 2014. O fator apontado para esse ganho de representatividade na cadeia é o aumento dos custos de produção da cana-de-açúcar. Segundo Nachiluk e Oliveira (2013), Farina, Rodrigues e Zechin (2014) e Santos, Garcia e Shikida (2015), o cultivo dessa cultura é responsável por aproximadamente 68% dos custos de produção de toda a cadeia, sendo que o custo total médio passou de R\$ 48,11/tonelada de cana-de-açúcar na safra 2007/2008, para R\$ 70,63/tonelada na safra 2011/2012, em áreas de cultivo tradicional.

No segmento Indústria da cana-de-açúcar, é possível observar uma perda relativa de participação entre os anos de 2000 e 2010, passando de 20,6% para 8,2% respectivamente. No entanto, no período seguinte houve um aumento na participação, atingindo 15% em 2014, resultando em uma taxa de crescimento de -0,59% ao ano para o segmento. Quando o valor do segmento é desagregado, percebe-se que até o ano de 2005 todos os subsegmentos apresentaram incrementos de valor absoluto. Porém, em 2010 os subsegmentos Indústria do açúcar e Indústria de bebidas mantiveram a tendência, ao passo que a Indústria do etanol apresentou tendência de redução de produção, sendo que em 2014 todos os subsegmentos passaram a apresentar valores inferiores ao período anterior. Se considerado o período, parcela considerável da perda de participação relativa na cadeia se deu graças a redução do produto da Indústria do açúcar.

Quando analisadas as tendências para o segmento IV (Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar), de modo geral no período observa-se um crescimento do produto de 1,86% a.a., com um comportamento da sua participação relativamente constante. Entretanto, seus subsegmentos, quais sejam, Serviços do produto cana-de-açúcar e Serviços da indústria da cana-de-açúcar, tiveram comportamentos discrepantes.

O subsegmento de Serviços do produto cana-de-açúcar apresentou a pior

Tabela 1: PIB da Cadeia da Cana-de-açúcar brasileira de 2000 a 2014 – Preços básicos, em R\$ milhões de 2014 e participação percentual

Segmentos	2000		2005		2010		2014		[3]
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	
I Insumos para a cana	5412	6,70%	3430	3,70%	6848	5,70%	4613	4,53%	-1,14%
II Produto cana	14253	17,70%	14487	15,50%	26344	21,90%	24420	24,00%	3,85%
III Indústria da cana	16587	20,60%	21743	11,70%	21046	8,20%	15263	15,00%	-0,59%
III.A) Indústria do açúcar	8106	10,10%	10274	23,20%	10200	17,50%	5507	5,41%	-2,76%
III.B) Indústria de bebidas	399	0,50%	465	11,00%	974	8,50%	819	0,80%	5,14%
III.C) Indústria do etanol	8081	10,00%	11005	0,50%	9871	0,80%	8937	8,78%	0,72%
IV Serviços da Cadeia (A+B)	44282	55,00%	54044	32,10%	66033	43,20%	57445	56,46%	1,86%
IV.A) Serviços do produto cana	13982	17,40%	15107	1,10%	661	0,00%	716	0,70%	-21,23%
IV.A.a) Comercialização	2028	2,50%	2382	57,70%	107	54,90%	122	0,12%	-20,08%
IV.A.b) Transporte	922	1,10%	1037	16,10%	28	0,50%	31	0,03%	-24,23%
IV.A.c) Outros serviços	11032	13,70%	11688	2,50%	526	0,10%	562	0,55%	-21,26%
IV.B) Serviços da indústria	30300	37,60%	38937	2,90%	65372	2,30%	56729	55,76%	4,48%
IV.B.a) Comercialização	4395	5,50%	6140	12,50%	10599	0,40%	9697	9,53%	5,65%
IV.B.b) Transporte	1999	2,50%	2672	41,60%	2807	54,40%	2479	2,44%	1,54%
IV.B.c) Outros serviços	23906	29,70%	30125	6,60%	51966	8,80%	44552	43,79%	4,45%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	80535	100,00%	93705	100,00%	120270	100,00%	101740	100,00%	1,67%
Agronegócio	756767	10,60%	865675	10,80%	951647	12,60%	1022626	9,90%	2,15%
Brasil	3194385	2,50%	3733266	2,50%	4564367	2,60%	4972734	2,00%	3,16%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Notas: [1] Valores do PIB em R\$ milhões; [2] Participação percentual dos segmentos na Cadeia da Cana-de-açúcar; [3] Taxa geométrica de crescimento anual de 2000 a 2014.

taxa de crescimento de toda a cadeia (-21,23% a.a.), com significativa redução no montante de renda gerada no período, passando de R\$ 13 982 milhões em 2000 para apenas R\$ 716 milhões em 2014. Essa redução foi fortemente influenciada pelo valor de “Outros serviços”, que em 2000 tinha uma participação de 13,7% de toda a cadeia e em 2014 representava apenas 0,55%.

Em contrapartida, o maior valor apresentado pela taxa de crescimento geométrica na cadeia foi do subsegmento de Serviços da indústria da cana-de-açúcar (4,48% a.a.), que no ano de 2000 era igual a R\$ 30 300 milhões e representatividade de 37,6%, e em 2014 passou a ter representatividade de 55,76% no produto da cadeia com valor igual a R\$ 56 729 milhões, sendo tal incremento fruto do aumento no produto de “Outros serviços”.

Acredita-se que o aumento no item “Outros serviços”, para o subsegmento Serviços da indústria da cana-de-açúcar, e a retração desse mesmo item para Serviços do produto cana-de-açúcar, estejam atrelados à mudança de alocação da distribuição de eletricidade de um subsegmento para outro. Com efeito, um fator importante no processo produtivo dessa cadeia é a cogeração de energia a partir da queima do bagaço da cana, que gera não apenas energia para a produção sucroalcooleira, como possibilita vender o excedente de energia gerado.

Fica evidenciada uma significativa mudança estrutural na Cadeia da Cana-de-açúcar, consubstanciada no período entre 2000 e 2014 pelos aumentos de participação do segmento Produto cana-de-açúcar, do subsegmento Serviços da indústria da cana-de-açúcar e pelas reduções de participação no segmento Insumos para a cana-de-açúcar e Indústria da cana-de-açúcar.

3.2 A geração de emprego na Cadeia da Cana-de-açúcar

De 2000 a 2014 o número total de empregos gerados pela Cadeia da Cana-de-açúcar, passou de 2 890 248 para 2 522 399, ou seja, uma redução significativa de vagas de emprego na cadeia (367 849 empregos), de modo a apresentar uma taxa de crescimento anual de -1% para o período (Tabela 2). Essa tendência difere do que ocorreu em âmbito nacional, pois a taxa de crescimento anual para a geração de empregos no Brasil foi de 2%, passando em valores absolutos de 79 261 814 empregos em 2000 para 105 472 678 empregos no ano de 2014. O Setor Agronegócio, embora tenha evidenciado no período um aumento no número de empregos, em termos relativos sua contribuição ao emprego nacional reduziu de 9,4% no ano de 2000 para 8,1% no ano de 2014. Ao se analisar a relevância da Cadeia da Cana-de-açúcar no número de empregados nacionalmente, observa-se que a mesma teve sua contribuição reduzida, saindo de 3,6% em 2000 para 2,4% em 2014.

Quando analisados os segmentos da Cadeia, o Insumo para a cana-de-açúcar e Produto cana-de-açúcar apresentaram redução no número total de empregados de 2000 a 2014, com taxas de crescimento de -6,6% a.a. e -2,9% a.a. respectivamente, equivalente a uma redução de 151 598 empregos no primeiro e 500 282 no segundo.

Por outro lado, o segmento Indústria da cana-de-açúcar obteve uma taxa de crescimento de 2,6% a.a., passando de 224 815 empregos no ano de 2000 para 324 177 empregos em 2014, sendo que o subsegmento Indústria do etanol foi o principal responsável por essa expansão. O segmento Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar também apresentou taxa de crescimento positiva

Tabela 2: Número de empregos gerados na Cadeia da Cana-de-açúcar no Brasil, 2000 a 2014

Segmentos	2000		2005		2010		2014		[3]
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	
I Insumos para a cana	251 405	8,7%	136 425	4,6%	155 257	5,0%	99 807	4 %	-6,6%
II Produto cana	1 497 286	51,8%	1 335 578	45,2%	1 334 592	43,0%	997 004	39,5%	-2,9%
III Indústria da cana	224 815	7,8%	340 580	11,5%	333 584	10,7%	324 177	12,9%	2,6%
III.A) Indústria do açúcar	164 730	5,7%	234 564	7,9%	178 121	5,7%	145 357	5,8%	-0,9%
III.B) Indústria de bebidas	9 800	0,3%	10 744	0,4%	8 081	0,3%	8 138	0,3%	-1,3%
III.C) Indústria do etanol	50 285	1,7%	95 272	3,2%	147 383	4,7%	170 682	6,8%	8,7%
IV Serviços da Cadeia (A+B)	916 741	31,7%	1 140 945	38,6%	1 281 849	41,3%	1 101 411	43,7%	1,3%
IV.A) Serviços do produto	289 467	10,0%	318 925	10,8%	12 838	0,4%	13 729	0,5%	-21,8%
IV.A.a) Comercialização	75 024	2,6%	85 422	2,9%	3 311	0,1%	3 505	0,1%	-21,9%
IV.A.b) Transporte	19 238	0,7%	21 282	0,7%	680	0,0%	736	0,0%	-23,3%
IV.A.c) Outros serviços	195 205	6,8%	212 222	7,2%	8 847	0,3%	9 488	0,4%	-21,6%
IV.B) Serviços da indústria	627 275	21,7%	822 020	27,8%	1 269 011	40,9%	1 087 683	43,1%	3,9%
IV.B.a) Comercialização	162 578	5,6%	220 172	7,5%	327 298	10,5%	277 671	11,0%	3,8%
IV.B.b) Transporte	41 688	1,4%	54 853	1,9%	67 252	2,2%	58 292	2,3%	2,4%
IV.B.c) Outros serviços	423 009	14,6%	546 995	18,5%	874 461	28,2%	751 719	29,8%	4,1%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	2 890 248	100,0%	2 953 527	100,0%	3 105 282	100,0%	2 522 399	100,0%	-1,0%
Agronegócio	30 647 062	9,4%	34 472 708	8,6%	31 239 709	9,9%	30 974 547	8,1%	0,1%
Brasil	79 261 814	3,6%	91 224 598	3,2%	98 116 218	3,2%	105 472 678	2,4%	2,0%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Notas: [1] Número de empregos; [2] Participação percentual dos segmentos na Cadeia da Cana-de-açúcar; [3] Taxa geométrica de crescimento anual de 2000 a 2014.

igual a 1,3%, com perda de importância do subsegmento Serviços do produto e forte crescimento do subsegmento Serviços da indústria.

Associando a geração de empregos ao PIB, verifica-se que o segmento Produto cana-de-açúcar aumentou o PIB e reduziu a mão de obra, ou seja, houve um aumento de produtividade do fator trabalho, devido principalmente às inovações ocorridas no cultivo. De acordo com Proença *et al.* (2009), essas inovações estão ligadas à mecanização no preparo do solo, sulcação, plantio e colheita, com investimentos cada vez mais intensivos no uso de tecnologias de direcionamento por satélite das máquinas. O segmento da Indústria da cana-de-açúcar diminuiu seu PIB (-0,2%) e aumentou a mão de obra (2,6%), denotando uma redução de produtividade do fator trabalho.

3.3 O consumo de energia na Cadeia da Cana-de-açúcar

Mesmo com a baixa taxa de crescimento do PIB de 2000 a 2014 (2% a.a.), o consumo de energia apresentou uma taxa de crescimento de 6,7% a.a., conforme apresentado na Tabela 3, evidenciando a importância desse insumo para as atividades produtivas da cadeia. Observa-se, em função desse quadro, a variação do consumo energético da cadeia, que em 2000 foi de 7024 mil tep, alcançando um valor de 17893 mil tep em 2014, ou seja, o consumo energético aumentou 1,55 vezes no período analisado. Em contrapartida, o crescimento do consumo no Agronegócio, para o mesmo período, apresentou taxa de crescimento de 3,6% a.a., e a representatividade da Cadeia da Cana-de-açúcar passou de 16% em 2000 para 24,7% no ano de 2014. Se comparados ao consumo energético nacional, tanto a Cadeia da Cana-de-açúcar como o Setor do Agronegócio apresentaram ganhos relativos de participação.

Quando analisados os segmentos, é possível observar significativas variações na contribuição do consumo energético individual. Primeiramente, o segmento Insumos para a cana-de-açúcar, que no ano de 2000 representava 7,4% do consumo, passou a consumir 2,4% do total em 2014, obtendo uma taxa de crescimento de -1,2%. Posteriormente, o segmento de Produto cana-de-açúcar cresceu menos que proporcionalmente ao total da cadeia (3,5% a.a.), ocasionando uma perda de representatividade – passou de 9% em 2000 para 5,8% em 2014. Por fim, o segmento industrial, anteriormente responsável por 67% do consumo em 2000, passou a representar 85,1% do total da cadeia em 2014, obtendo uma taxa considerável de crescimento de 8,4% a.a.

Nos subsegmentos dos Serviços da Cadeia, destacam-se dois diferentes padrões de comportamento quanto ao consumo energético. O primeiro padrão referente ao segmento de Serviços do produto cana-de-açúcar apresentou queda no período, representando 5,2% do consumo energético da cadeia em 2000 e finalizando em 2014 com apenas 0,1%, com uma taxa de crescimento de -22,90% a.a.

Os Serviços da indústria da cana-de-açúcar apresentaram participação de 11,4% do total em 2000, em 2014 passaram a representar apenas 6,6% do total, porém, com uma taxa de crescimento de 2,80% a.a. no período, ou seja, houve crescimento do consumo de energia, mesmo com perda de representatividade na cadeia. Nos subsegmentos que compõem esse segmento, os dados da pesquisa permitem destacar os serviços de Transporte como os maiores consumidores de energia na cadeia. Segundo Françoso *et al.* (2017), NOVA-CANA (2004) e Vian e Marin (2019), o transporte da cana para a indústria é feito por caminhões (do tipo simples, Romeu e Julieta, treminhão e rodotrem),

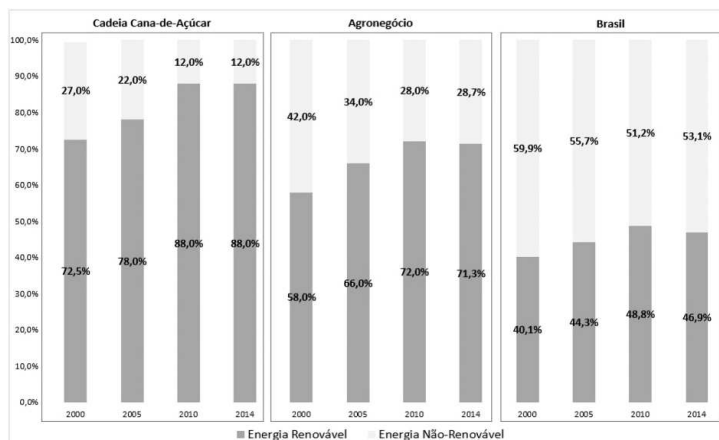
Tabela 3: Consumo de energia na Cadeia da Cana-de-açúcar no período de 2000, 2005, 2010 e 2014 – em 1000 tep e participação percentual

Segmentos	2000		2005		2010		2014		[3]
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	
I Insumos para a cana	519	7,4%	287	3,6%	604	3,1%	437	2,4%	-1,2%
II Produto cana	632	9,0%	603	7,5%	1121	5,7%	1034	5,8%	3,5%
III Indústria da cana	4707	67,0%	5698	71,1%	16758	84,7%	15219	85,1%	8,4%
III.A) Indústria do açúcar	1739	24,8%	1830	22,8%	5464	27,6%	4129	23,1%	6,2%
III.B) Indústria de bebidas	67	1,0%	79	1,0%	123	0,6%	104	0,6%	3,2%
III.C) Indústria do etanol	2900	41,3%	3789	47,3%	11171	56,5%	10986	61,4%	9,5%
IV Serviços da Cadeia (A+B)	1166	16,6%	1427	17,8%	1304	6,6%	1203	6,7%	0,2%
IV.A) Serviços do produto	368	5,2%	399	5,0%	13	0,1%	15	0,1%	-22,9%
IV.A.a) Comercialização	9	0,1%	9	0,1%	1	0,0%	1	0,0%	-16,2%
IV.A.b) Transporte	274	3,9%	290	3,6%	7	0,0%	8	0,0%	-25,2%
IV.A.c) Outros serviços	85	1,2%	100	1,2%	5	0,0%	6	0,0%	-19,0%
IV.B) Serviços da indústria	798	11,4%	1028	12,8%	1290	6,5%	1188	6,6%	2,8%
IV.B.a) Comercialização	20	0,3%	24	0,3%	78	0,4%	74	0,4%	9,5%
IV.B.b) Transporte	594	8,5%	747	9,3%	706	3,6%	642	3,6%	0,6%
IV.B.c) Outros serviços	184	2,6%	257	3,2%	506	2,6%	471	2,6%	6,7%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	7024	100,0%	8015	100,0%	19787	100,0%	17893	100,0%	6,7%
Agronegócio	44016	16,0%	51990	15,4%	70305	28,1%	72366	24,7%	3,6%
Brasil	137336	5,1%	160802	5,0%	177784	11,1%	195541	9,2%	2,5%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Notas: [1] Consumo energético em 1000 tep; [2] Participação percentual dos segmentos na Cadeia da Cana-de-açúcar; [3] Taxa geométrica de crescimento anual de 2000 a 2014.

Figura 1: Evolução do consumo de energia renovável e não renovável na Cadeia da Cana-de-açúcar, no Agronegócio e no Brasil no período de 2000 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

com incremento de distâncias percorridas pelos mesmos no período recente, dada a expansão da área de cultivo ocorrida. O transporte dos produtos da indústria (açúcar e etanol) até o consumidor final são feitos, mormente, pelo modal rodoviário.

Consumo de energia renovável *versus* não renovável

Considerando que o aumento do consumo de energia afeta diretamente o meio ambiente, torna-se necessário avaliar a tendência do consumo de energia por fonte renovável ou não renovável na Cadeia da Cana-de-açúcar.

Pode-se afirmar que no Brasil o consumo de energias renováveis apresentou participação expressiva frente ao consumo total de energia. Com base nos dados apresentados na Figura 1, no ano 2000 cerca de 40,1% do consumo foi oriundo de fontes renováveis, em 2014 esse consumo atingiu a marca de 46,9%. Esse montante ganha relevância ao se considerar que, segundo o Ministério de Minas e Energia – MME (2016), no âmbito mundial e para o ano de 2016, esse percentual foi igual a 13,7%, e, nos 36 países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), essa participação foi de somente 9,7%.

Com relação ao consumo energético do Agronegócio, os resultados foram mais expressivos que os observados para o país como um todo, uma vez que a presença da energia renovável é majoritária e crescente no período, passando de 58,5% em 2000 para 71,3% em 2014.

A composição do consumo energético da Cadeia da Cana-de-açúcar apresentou um alto padrão de consumo da energia renovável, sendo que no período de análise houve uma evolução significativa no consumo desta, passando de 72,5% em 2000 para 87,7% em 2014. Assim, o consumo de energia renovável nas atividades produtivas da cadeia, em termos relativos, é significativamente superior aos apresentados pelo Setor do Agronegócio e do Brasil como um todo.

3.4 As emissões de CO₂ pelo consumo de energia

A emissão e maior concentração de CO₂ gerada principalmente pelo uso de combustíveis fósseis acabou agravando o efeito estufa, ocasionando um aumento das temperaturas maior do que o normal e, conseqüentemente, um aquecimento do globo terrestre que pode trazer consequências negativas para a humanidade (GONÇALVES; NOGUEIRA, 2007). Nesse sentido, é importante analisar as emissões de CO₂ decorrentes do aumento do consumo de energia observado no Brasil entre 2000 e 2014.

As emissões advindas de atividades do Setor do Agronegócio passaram de 104023 Gg de CO_{2eq} em 2000 para 191899 em 2014, com uma taxa de crescimento de 4,4% a.a., conforme apresentado na Tabela 4. Quando se analisa as emissões de CO₂ na Cadeia da Cana-de-açúcar para o mesmo período, houve um aumento de 22878 Gg de CO_{2eq} para 69058, um crescimento mais que proporcional ao apresentado pelo Agronegócio e pelo país, resultando em um incremento na participação relativa da Cadeia da Cana-de-açúcar frente a ambos, representando em 2014 36% e 18,2%, respectivamente, em comparação aos 22% e 8,9% iniciais.

Com a desagregação dos valores da cadeia em seus segmentos, a Indústria da cana-de-açúcar revelou o segmento que mais contribuiu com o aumento das emissões, sendo que inicialmente o mesmo representava 82,5% das emissões em 2000, alcançando a marca de 94,3% em 2014, seguido de longe pelos segmentos de Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar (2,4%), Produto cana-de-açúcar (2,3%) e Insumos para a cana-de-açúcar (1%).

As emissões de CO₂ pelo consumo de energia renovável e não renovável

Considerando o cenário de expansão do consumo de energia no país, um diagnóstico mais eficiente e objetivo das emissões deve ser realizado, detalhando as fontes energéticas renováveis ou não renováveis pois, segundo Paixão e Miranda (2018), é necessária a oferta permanente de energia para a ocorrência do crescimento econômico de forma sustentável. Porém, existe a preocupação relacionada ao impacto do uso de fontes não renováveis na geração desta, o que acarreta poluição e emissão de Gases do Efeito Estufa, sendo que a terminologia sustentável relacionada ao insumo energia está relacionada ao consumo em maior quantidade de energias renováveis.

Os resultados do Agronegócio brasileiro e da Cadeia da Cana-de-açúcar apresentaram taxas de crescimento anual menores para as emissões de CO₂ originárias da queima de energia não renovável, quando comparadas ao consumo de energia renovável de 2000 a 2014, conforme apresentado pela Figura 2. Na Cadeia da Cana-de-açúcar, as emissões oriundas do consumo de energia não renovável foram baixas, em 2000 representavam 14,5%, passando em 2005 para 11,3%, em 2010 para 5,3%, e em 2014 se manteve praticamente constante com 5,4%, denotando uma progressiva redução no consumo de combustíveis fósseis não renováveis na matriz energética da cadeia em um nível inferior ao apresentado pelo Agronegócio e, principalmente, aos valores nacionais.

De forma análoga, o Agronegócio apresentou resultados positivos com relação ao aumento do percentual de CO₂ emitido por fontes de energia renovável, passando de 69,9% em 2000 para 81,9% em 2014, evidenciando uma redução no consumo de energia oriundas de fontes não renováveis. Quando

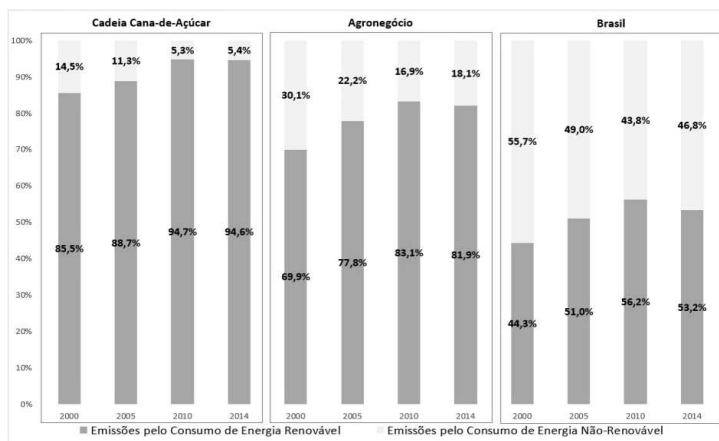
Tabela 4: Emissões de CO₂ pelo consumo de energia na Cadeia da Cana-de-açúcar no período de 2000 a 2014 – valores em Gg de CO_{2eq}

Segmentos	2000		2005		2010		2014		[3]
	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	[1]	[2]	
I Insumos para a cana	844	3,7%	471	1,7%	952	1,2%	684	1,0%	-1,5%
II Produto cana	1143	5,0%	1102	4,1%	1773	2,3%	1576	2,3%	2,3%
III Indústria da cana	18 876	82,5%	22 998	84,7%	72 035	94,0%	65 133	94,3%	8,8%
III.A) Indústria do açúcar	6431	28,1%	6646	24,5%	23 464	30,6%	17 667	25,6%	7,2%
III.B) Indústria de bebidas	222	1,0%	281	1,0%	452	0,6%	377	0,5%	3,8%
III.C) Indústria do etanol	12 222	53,4%	16 071	59,2%	48 119	62,8%	47 088	68,2%	9,6%
IV Serviços da Cadeia (A+B)	2015	8,8%	2568	9,5%	1840	2,4%	1665	2,4%	-1,4%
IV.A) Serviços do produto	636	2,8%	718	2,6%	18	0,0%	21	0,0%	-24,5%
IV.A.a) Comercialização	1	0,0%	2	0,0%	1	0,0%	1	0,0%	-4,3%
IV.A.b) Transporte	517	2,3%	548	2,0%	13	0,0%	14	0,0%	-25,7%
IV.A.c) Outros serviços	118	0,5%	168	0,6%	5	0,0%	6	0,0%	-21,5%
IV.B) Serviços da indústria	1379	6,0%	1850	6,8%	1822	2,4%	1644	2,4%	1,3%
IV.B.a) Comercialização	3	0,0%	4	0,0%	74	0,1%	54	0,1%	21,5%
IV.B.b) Transporte	1121	4,9%	1413	5,2%	1238	1,6%	1129	1,6%	0,0%
IV.B.c) Outros serviços	255	1,1%	433	1,6%	510	0,7%	461	0,7%	4,2%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	22 878	100,0%	27 139	100,0%	76 600	100,0%	69 058	100,0%	7,9%
Agronegócio	104 023	22,0%	133 040	20,4%	192 281	39,8%	191 899	36,0%	4,4%
Brasil	257 087	8,9%	313 454	8,7%	356 485	21,5%	379 595	18,2%	2,8%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Notas: [1] Emissões em Gg de CO_{2eq}; [2] Participação percentual dos segmentos na Cadeia da Cana-de-açúcar; [3] Taxa geométrica de crescimento anual de 2000 a 2014.

Figura 2: Evolução das emissões de CO₂ pelo consumo de energia renovável e não renovável na Cadeia da Cana-de-açúcar, no Agronegócio e no Brasil no período de 2000 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

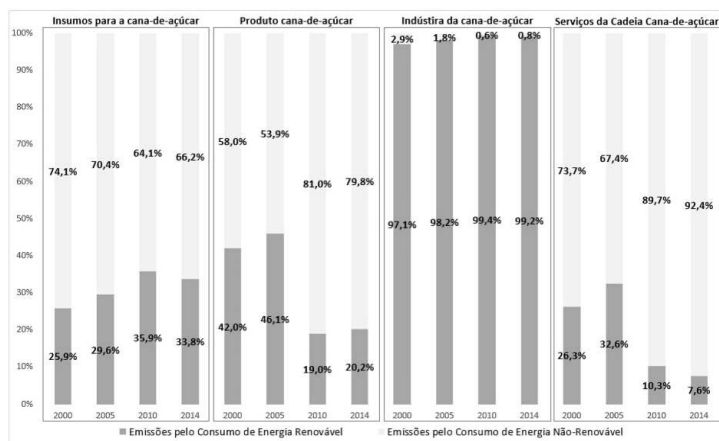
observado o cenário nacional, o consumo de energias renováveis tem apresentado crescimento, porém, em menor proporção, sendo que em 2000 o consumo era de 44,3% e em 2014 foi de 53,2%. É válido ressaltar que o ano de 2010 teve melhores porcentagens relacionadas ao consumo de energia renovável para o Agronegócio e para o Brasil, sofrendo um retrocesso nos anos seguintes.

Dessa forma, fica evidenciado que a Cadeia da Cana-de-açúcar é mais eficiente que o Agronegócio de modo geral, bem como também em relação ao Brasil, quando se trata da emissão de gases ecologicamente corretos com significativas reduções no consumo de combustíveis fósseis não renováveis.

A Figura 3 detalha por segmentos da Cadeia da Cana-de-açúcar o consumo de energia e suas fontes, revelando comportamentos distintos entre os mesmos. O segmento Insumos para a cana-de-açúcar apresentou aumento nas emissões advindas de fontes renováveis no período, com ápice em 2010, em que tais emissões representaram 35,9%, com pequeno retrocesso em 2014 (33,8%). Os segmentos Produto cana-de-açúcar e Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar, por sua vez, têm apresentado contínuos aumentos nas emissões de fontes não renováveis, atingindo 79,8% e 92,4% respectivamente em 2014. O segmento industrial, apesar de demandar a maior quantidade de energia dentro da cadeia, apresentou os melhores resultados para as emissões de CO₂ de fontes renováveis, uma vez que em 2000 apenas 2,9% eram de origem não renovável, passando a um percentual de 0,8% do total em 2014, sendo este o segmento que contribui de forma mais significativa para a manutenção dos valores da cadeia.

Com vistas a redução das emissões decorrentes do consumo de energia não renovável na Cadeia da Cana-de-açúcar ainda há muito a ser realizado, principalmente no segmento de Serviços e Produto que apresentaram os maiores valores para esse tipo de emissão. Portanto, as políticas e planejamentos de médio e longo prazo devem ser focados nesses segmentos que emitem majoritariamente CO₂ de energia não renovável (BNDES; CGEE, 2008).

Figura 3: Evolução das Emissões de CO₂ pelo consumo de energia renovável e não renovável nos segmentos da Cadeia da Cana-de-açúcar no período de 2000 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

3.5 Indicadores físico-econômicos da Cadeia da Cana-de-açúcar

A intensidade de uso do fator trabalho ou do fator capital físico é um dos indicadores mais utilizados para a avaliação do grau de modernização e/ou industrialização de um país, sendo expressa pela divisão do número de trabalhadores pelo PIB. A eficiência do uso do capital físico é medida pela intensidade do uso de energia e determinada pela razão do consumo de energia em tep e a renda setorial. Por conseguinte, a intensidade de emissão de CO₂ por milhão de renda gerada, medida pelo PIB, avalia a poluição gerada na cadeia em relação ao Agronegócio e ao país. A magnitude dessas relações permite avaliar a dinâmica desses indicadores para a Cadeia da Cana-de-açúcar, Agronegócio e para o Brasil nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2014, apresentados na seção 3.5.

Posteriormente, a seção 3.5 apresenta os indicadores de produtividade do trabalhador quanto à geração de renda, uso de energia e emissões de gases. Desse modo, quanto maior a produtividade de renda dos trabalhadores e quanto menor o seu gasto energético e emissão correspondente de CO₂, mais sustentável será o desenvolvimento do país.

A intensidade do uso da mão de obra, do consumo energético e das emissões de CO₂ por unidade de renda gerada

O uso de mão de obra em relação ao PIB gerado (L/PIB) apresenta na Cadeia da Cana-de-açúcar, no Agronegócio e na economia brasileira uma tendência de redução de trabalhadores por milhões de unidade de renda no período posterior a 2000, conforme pode ser observado na Tabela 5. A tendência de redução da mão de obra nas atividades produtivas é mais intensa para a Cadeia da Cana-de-açúcar como um todo, com significativas reduções – em 2000 utilizavam-se 35,9 trabalhadores para cada milhão de reais, passando para 24,8 trabalhadores em 2014, apresentando taxa de crescimento anual de -2,6%.

O mesmo pode ser observado, embora com uma taxa um pouco inferior

Tabela 5: Intensidade do uso de mão de obra (L) por unidade de renda gerada (PIB) no período de 2000 a 2014

Segmentos	Trabalhadores por milhão (L/PIB)				Diferença entre 2014 e 2000	Variação Percentual entre 2000 e 2014	Taxa de crescimento a.a. de 2000 a 2014
	2000	2005	2010	2014			
I Insumos para a cana	46,5	39,8	22,7	21,6	-24,8	-53%	-5,5%
II Produto cana	105,0	92,2	50,7	40,8	-64,2	-61%	-6,8%
III Indústria da cana	13,6	15,7	15,9	21,2	7,7	57%	3,2%
III.A) Indústria do açúcar	20,3	22,8	17,5	26,4	6,1	30%	1,9%
III.B) Indústria de bebidas	24,5	23,1	8,3	9,9	-14,6	-60%	-6,5%
III.C) Indústria do etanol	6,2	8,7	14,9	19,1	12,9	207%	8,0%
IV Serviços da Cadeia	20,7	21,1	19,4	19,2	-1,5	-7%	-0,5%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	35,9	31,5	25,8	24,8	-11,1	-31%	-2,6%
Agronegócio	40,5	39,8	32,8	30,3	-10,2	-25%	-2,1%
Brasil	24,8	24,4	21,5	21,2	-3,6	-15%	-1,1%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

(-2,1%) para o Agronegócio, sendo que em 2000 a relação era de 40,5 trabalhadores por unidade de milhão de reais e em 2014 passou a ser 30,3 trabalhadores. Tal resultado é consequência direta dos ganhos de produtividade obtidos no setor, pelo desenvolvimento e utilização de inovações tecnológicas e consequente substituição da mão de obra. Gasques *et al.* (2014) em artigo que analisa a evolução da produtividade da agricultura brasileira, considerando os insumos terra, trabalho, capital e materiais, demonstrou que a partir da década de 1980 o crescimento da agricultura ocorreu devido a ganhos de produtividade, principalmente dos produtos exportáveis, sendo que a partir do ano 2000 são registradas as melhores taxas de crescimento da produtividade da agricultura (igual a 4,22% entre 2000 e 2009).

Ao analisar os segmentos que compõem a Cadeia da Cana-de-açúcar observa-se que as diminuições em valores absolutos na intensidade de trabalhadores por unidade de milhão de reais na cadeia foram oriundas principalmente do segmento de Produto cana-de-açúcar, sendo este o segmento mais intensivo em mão de obra em relação a renda na cadeia, apresentando uma redução do número absoluto de trabalhadores no período de 61%, passando de 105 trabalhadores para 40,8, uma diferença de 64,2 trabalhadores de 2000 a 2014. Tal situação representa um ganho considerável de produtividade da mão de obra no segmento.

O segmento industrial, por sua vez, apresentou no período o maior incremento de trabalhadores, com uma variação de 57%, sendo que no ano de 2000 foram empregados 13,6 trabalhadores para cada milhão de reais e em 2014 esse valor passou para 21,2 trabalhadores. Os subsegmentos Indústria do açúcar e Indústria do etanol foram os que apresentaram uma maior demanda por mão de obra (redução da produtividade), ao passo que o subsegmento Indústria de bebidas teve uma redução dessa demanda (aumento da produtividade).

A intensidade de uso de energia é medida pelo coeficiente do consumo de energia em tep por milhão de reais (tep/PIB), sendo possível observar um aumento significativo na cadeia, passando de 87,2 em 2000 para 175,9 em 2014, indicando um maior uso de energia, com taxa de crescimento anual igual a 5% (conforme Tabela 6). Pode-se afirmar que a cadeia apresenta acelerada expansão do consumo energético, pois em termos absolutos o valor teve incremento superior a 100% no período. Ao considerar os segmentos que compõem a cadeia, a Indústria da cana-de-açúcar se destaca pelo uso de maior intensidade de energia na cadeia e pelo maior crescimento no período (atingindo a marca de 997,1 milhões de tep/PIB em 2014), com seu consumo energético quase totalmente advindo de fontes renováveis.

Com relação à intensidade do consumo de energia no Agronegócio houve um incremento relativamente baixo no período, com uma taxa de crescimento anual de 1,4%, com valores passando de 58,2 em 2000 para 70,8 em 2014. O cenário nacional diferencia-se dos demais até aqui analisados, uma vez que houve uma redução do consumo energético por milhão de reais, sendo que em 2000 utilizava-se 43 e em 2014 o valor foi igual a 39,3.

Do mesmo modo, a intensidade de emissão de gases (Tabela 7), composta pelos coeficientes de emissões de CO₂ por milhão de reais (CO₂/PIB), segue a mesma tendência do consumo de energia por milhão de reais, com o segmento Indústria da cana-de-açúcar com maior destaque, apresentando significativos aumentos nas emissões quando comparado aos demais segmentos, sendo tal incremento oriundo principalmente das Indústrias do açúcar e do etanol.

Tabela 6: Intensidade do consumo de energia (milhões de tep) por unidade de renda (PIB) no período de 2000 a 2014

Segmentos	Consumo de energia por unidade de renda gerada (tep/PIB)				Diferença entre 2014 e 2000	Variação entre 2000 e 2014	Taxa de cresc. a.a. de 2000 a 2014
	2000	2005	2010	2014			
I Insumos para a cana	95,9	83,5	88,2	94,7	-1,2	-1%	-0,1%
II Produto cana	44,3	41,6	42,5	42,3	-2,0	-5%	-0,3%
III Indústria da cana	283,8	262,1	796,3	997,1	713,4	251%	9,0%
III.A) Indústria do açúcar	214,6	178,2	535,7	749,7	535,1	249%	8,9%
III.B) Indústria de bebidas	167,3	169,6	126,5	126,9	-40,5	-24%	-2,0%
III.C) Indústria do etanol	358,9	344,3	1131,7	1229,3	870,4	243%	8,8%
IV Serviços da Cadeia	26,3	26,4	19,7	20,9	-5,4	-21%	-1,6%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	87,2	85,5	164,5	175,9	88,6	102%	5,0%
Agronegócio	58,2	60,1	73,9	70,8	12,6	22%	1,4%
Brasil	43,0	43,1	39,0	39,3	-3,7	-9%	-0,6%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Tabela 7: Intensidade das emissões de CO₂ por unidade de renda gerada (PIB) no período de 2000 a 2014

Segmentos	Emissões de CO ₂ por unidade de renda gerada (CO ₂ /PIB)				Diferença entre 2014 e 2000	Variação percentual entre 2000 e 2014	Taxa de cresc. a.a. de 2000 a 2014
	2000	2005	2010	2014			
I Insumos para a cana	156,0	137,4	139,0	148,3	-7,6	-5%	-0,4%
II Produto cana	80,2	76,1	67,3	64,6	-15,6	-19%	-1,5%
III Indústria da cana	1138,0	1057,7	3422,8	4267,3	3129,3	275%	9,4%
III.A) Indústria do açúcar	793,4	646,9	2300,34	3208,06	2414,7	304%	10,0%
III.B) Indústria de bebidas	557,3	604,2	463,8	461,0	-96,3	-17%	-1,4%
III.C) Indústria do etanol	1512,4	1460,4	4874,6	5268,7	3756,4	248%	8,9%
IV Serviços da Cadeia	45,5	47,5	27,9	29,0	-16,5	-36%	-3,2%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	284,1	289,6	636,9	678,8	394,7	139%	6,2%
Agronegócio	137,5	153,7	202,1	187,7	50,2	37%	2,2%
Brasil	80,5	84,0	78,1	76,3	-4,1	-5%	-0,4%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Por fim, os resultados apresentados pela cadeia diferem-se do contexto do Agronegócio e do país, uma vez que o consumo energético e as emissões de CO₂ por estes têm apresentado reduções nos últimos anos, sugerindo a existência de mudança estrutural no cenário do país e do Agronegócio por meio da busca de um melhor aproveitamento e eficiência.

A produtividade da renda, do consumo energético e das emissões de CO₂
por trabalhador

A produtividade da mão de obra é medida pelo coeficiente da renda gerada por trabalhador (PIB/L). No cenário nacional, houve no período um incremento no valor da renda gerada por trabalhador, com taxa de crescimento de 1,1% a.a., passando de R\$40 302 em 2000 para R\$47 147 no ano de 2014 (Tabela 8). No mesmo período, o Setor do Agronegócio teve uma taxa de crescimento superior, equivalente a 2,1% a.a., com um incremento de 34% no período, sendo em 2014 gerados R\$33 015 por trabalhador.

De 2000 a 2014, emergem três cenários na renda gerada por trabalhador quando se comparam os diversos segmentos que compõem a Cadeia da Cana-de-açúcar. O primeiro é referente aos números de produtividade da mão de obra com taxas de crescimento elevadas, com destaque ao segmento de Insumos para a cana-de-açúcar com taxa de 5,5% a.a., que passou de R\$21 528 para R\$46 220 em 2014, e ao segmento Produto cana-de-açúcar com taxa de crescimento de 6,8% a.a., que passou de R\$9519 para R\$24 493 em 2014. O segundo cenário refere-se aos números de produtividade da mão de obra com baixa taxa de crescimento observado no segmento de Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar, que foi de apenas 0,5% a.a., passando de R\$48 304 para R\$52 156 em 2014, frisa-se que esse valor foi o mais representativo na cadeia. O terceiro cenário é referente aos números decrescentes de produtividade do trabalho no segmento da Indústria da cana-de-açúcar, com taxa de -3,2% a.a., que passou de R\$73 781 para R\$47 083 em 2014.

Do mesmo modo, na evolução da produtividade do trabalho no Brasil se destacam as mesmas tendências. Nesse contexto, a renda gerada por trabalhador no segmento Produto cana-de-açúcar em 2000 foi 5,04 vezes menor do que a renda gerada nos Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar, porém, em 2014 essa proporção reduziu para 1,12 vezes, sugerindo a elevação de ganhos de produtividade do fator de produção capital no campo, ou seja, no Produto cana-de-açúcar.

Conforme Tabela 9, verifica-se que o consumo de energia por trabalhador (tep/L) na economia brasileira como um todo vem mantendo-se relativamente estável ao longo do tempo, sendo que em 2014 apresentou valor igual a 1,9 tep em média por trabalhador, com taxa de crescimento de 0,5% a.a. Do mesmo modo, observa-se que tanto a Cadeia da Cana-de-açúcar quanto o Agronegócio apresentaram valores superiores ao restante da economia brasileira quanto ao consumo de energia. A Cadeia da Cana-de-açúcar em particular obteve um crescimento significativo, passando de 2,4 tep por trabalhador em 2000 para 7,1 tep em 2014, uma taxa de crescimento de 7,7% a.a.

A Tabela 10 demonstra a relação entre as emissões de CO₂ e a mão de obra para a Cadeia da Cana-de-açúcar, Agronegócio e para o restante da economia brasileira, com aumento na quantidade de CO₂ emitida por trabalhador para as três análises. O menor incremento foi registrado para a economia brasileira com taxa de crescimento de 0,7% a.a., atingindo em 2010 o valor de 3,6 tonela-

Tabela 8: Produtividade da mão de obra (L) na geração de renda (PIB) no período de 2000 a 2014

Segmentos	Unidade de renda gerada por trabalhador (PIB/L)				Diferença entre 2014 e 2000	Variação percentual entre 2000 e 2014	Taxa de cresc. a.a. de 2000 a 2014
	2000	2005	2010	2014			
I Insumos para a cana	21 528	25 145	44 105	46 220	24 692,3	115%	5,5%
II Produto cana	9519	10 847	19 739	24 493	14 973,5	157%	6,8%
III Indústria da cana	73 781	63 842	63 090	47 083	-26 698,1	-36%	-3,2%
III.A) Indústria do açúcar	49 211	43 798	57 266	37 887	-11 323,7	-23%	-1,9%
III.B) Indústria de bebidas	40 736	43 289	120 536	100 603	59 867,0	147%	6,5%
III.C) Indústria do etanol	160 712	115 510	66 978	52 362	-108 349,7	-67%	-8,0%
IV Serviços da Cadeia	48 304	47 368	51 514	52 156	3 851,8	8%	0,5%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	27 864	31 727	38 731	40 335	12 470,6	45%	2,6%
Agronegócio	24 693	25 112	30 463	33 015	8 322,1	34%	2,1%
Brasil	40 302	40 924	46 520	47 147	6 845,4	17%	1,1%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Tabela 9: Produtividade da mão de obra (L) no consumo de energia (tep) no período de 2000 a 2014

Segmentos	Consumo de energia em tep por trabalhador (tep/L)				Diferença entre 2014 e 2000	Variação percentual entre 2000 e 2014	Taxa de cresc. a.a. de 2000 a 2014
	2000	2005	2010	2014			
I Insumos para a cana	2,1	2,1	3,9	4,4	2,31	112,1%	5,4%
II Produto cana	0,4	0,5	0,8	1,0	0,61	145,7%	6,4%
III Indústria da cana	20,9	16,7	50,2	46,9	26,01	124,2%	5,8%
III.A) Indústria do açúcar	10,6	7,8	30,7	28,4	17,85	169,0%	7,1%
III.B) Indústria de bebidas	6,8	7,3	15,2	12,8	5,95	87,3%	4,5%
III.C) Indústria do etanol	57,7	39,8	75,8	64,4	6,69	11,6%	0,8%
IV Serviços da Cadeia	1,3	1,3	1,0	1,1	-0,18	-14,2%	-1,1%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	2,4	2,7	6,4	7,1	4,66	191,9%	7,7%
Agronegócio	1,4	1,5	2,3	2,3	0,90	62,7%	3,5%
Brasil	1,7	1,8	1,8	1,9	0,12	7,0%	0,5%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Tabela 10: Produtividade da mão de obra (L) nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) no período de 2000 a 2014

Segmentos	Emissões de toneladas de CO ₂ por trabalhador (CO ₂ /L)				Diferença entre 2014 e 2000	Variação percentual entre 2000 e 2014	Taxa de cresc. a.a. de 2000 a 2014
	2000	2005	2010	2014			
I Insumos para a cana	3,4	3,5	6,1	6,9	3,50	104,2%	5,1%
II Produto cana	0,8	0,8	1,3	1,6	0,82	107,1%	5,2%
III Indústria da cana	84,0	67,5	215,9	200,9	116,96	139,3%	6,2%
III.A) Indústria do açúcar	39,0	28,3	131,7	121,5	82,50	211,3%	8,1%
III.B) Indústria de bebidas	22,7	26,2	55,9	46,4	23,68	104,3%	5,1%
III.C) Indústria do etanol	243,1	168,7	326,5	275,9	32,83	13,5%	0,9%
IV Serviços da Cadeia	2,2	2,3	1,4	1,5	-0,69	-31,2%	-2,7%
Cadeia da Cana (I+II=III+IV)	7,9	9,2	24,7	27,4	19,46	245,9%	8,9%
Agronegócio	3,4	3,9	6,2	6,2	2,80	82,5%	4,3%
Brasil	3,2	3,4	3,6	3,6	0,36	11,0%	0,7%

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

das de CO₂ por trabalhador com manutenção de tal valor para o ano de 2014. Em seguida está o Setor do Agronegócio com taxa de crescimento de 4,3% a.a., com valor idêntico em 2010 e 2014 de 6,2 toneladas de CO₂ por trabalhador. A Cadeia da Cana-de-açúcar apresentou a maior taxa de crescimento (8,9% a.a.), partindo de 7,9 para 27,4 toneladas de CO₂ por trabalhador em 2014, sendo que o segmento Indústria da cana-de-açúcar foi o que mais contribuiu para esse avanço por meio do subsegmento Indústria do açúcar.

Em resumo, expressou-se neste artigo uma melhor compreensão do contexto da economia da Cadeia da Cana-de-açúcar utilizando-se de suas inter-relações entre Produto Interno Bruto, pessoal ocupado, consumo setorial de energia e emissões de CO₂ por unidade de renda e empregos. A produtividade aqui verificada representa o quão eficiente é um determinado país por renda gerada, consumo energético e emissões de CO₂ por trabalhador. Portanto, trata-se de um elemento de análise crucial para longo prazo, uma vez que o seu aumento pode gerar um produto maior, bem como incentivos para investimentos, fortalecendo assim a economia do mesmo.

4 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar a geração de renda e emprego na Cadeia da Cana-de-açúcar nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2014, bem como a influência destes sobre o consumo de energia e as emissões de CO₂ por fontes de energia, tendo como metodologia a construção de matrizes energéticas e de emissões compatibilizadas com a matriz insumo-produto brasileira. Quando comparada relativamente ao Agronegócio, essa Cadeia teve redução de sua participação no PIB e no número de empregos, porém, apresentou ganhos no consumo de energia e nas emissões.

Com relação ao PIB, houve um ganho de importância do Produto cana-de-açúcar frente aos Insumos para a cana-de-açúcar e a Indústria da cana-de-açúcar. No entanto, quando considerados os Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar, responsáveis no ano de 2014 por 56,5% do PIB total, os Serviços da indústria da cana-de-açúcar apresentaram no período ganhos consideráveis de participação frente aos Serviços do produto cana-de-açúcar.

Para o número de empregos gerados, os Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar passaram no período a representar o segmento com maior participação (43,7% em 2014), assumindo a posição que no ano 2000 era ocupada pelo segmento Produto cana-de-açúcar (51,8%).

O consumo energético, por sua vez, passou de 7.024 mil tep para 17.893 mil tep em 2014 e teve um ganho de participação do segmento Indústria da cana-de-açúcar frente aos demais segmentos no período, passando de uma participação de 67% no total no ano de 2000 para 85,1% em 2014, com tal aumento capitaneado pelo consumo de energia principalmente na Indústria do etanol – com taxa de crescimento igual a 9,5% a.a. Quando considerada a Cadeia da Cana-de-Açúcar houve um aumento de participação da energia renovável, passando de 73% no ano 2000 para 88% em 2014.

As emissões de CO₂ na Cadeia da Cana-de-açúcar foram em todo o período analisado majoritariamente de responsabilidade do segmento Indústria da cana-de-açúcar, apresentando uma taxa de crescimento de 8,8% a.a., sendo em 2014 responsável pela emissão de 94,3% do total. O subsegmento Indústria do etanol foi o maior emissor de CO₂ da Cadeia, entretanto, 99% de toda

essa emissão foi advinda de fontes renováveis, sendo seguido pelo segmento Insumos (34%), Produto (20%) e Serviços da Cadeia da Cana-de-açúcar com apenas 8% de emissões advindas de fontes renováveis. Ainda no que diz respeito as emissões de CO₂, a Cadeia da Cana-de-açúcar apresentou 95% de suas emissões em 2014 advindas de fontes renováveis, com o Agronegócio tendo valor igual a 82% e a economia brasileira (como um todo) com valor igual a 53%.

O indicador físico-econômico que relaciona o número de trabalhadores em relação ao PIB apresentou na Cadeia da Cana-de-açúcar uma taxa de crescimento de -3% a.a. no período, caracterizando a adoção de inovações que proporcionaram ganhos de produtividade da mão de obra de 13 trabalhadores a menos para cada milhão de reais. Dentre os segmentos, Produto cana-de-açúcar foi o que apresentou a maior redução absoluta, passando de 110,7 trabalhadores por milhão de reais em 2000 para 40,8 no ano de 2014, uma redução de 69,9 trabalhadores.

Para os indicadores de consumo de energia em tep por milhão de reais (tep/PIB) e emissões de CO₂ por milhão de reais, evidenciou-se que a Indústria da cana-de-açúcar foi o segmento mais intensivo no uso de energia, com taxa de crescimento no período de 8,6% a.a., passando de 298,9 mil tep por milhão de reais em 2000 para 997,1 mil tep por milhão de reais em 2014. No tocante as emissões na cadeia, o mesmo segmento apresentou significativos aumentos, passando de 1.198,8 em 2000 para 4.267,3 CO₂/PIB em 2014. Porém, como destacado anteriormente, quase todo o consumo de energia e emissões de CO₂ foram oriundos majoritariamente de fontes renováveis.

Com base nos resultados obtidos, este trabalho contribuiu para uma melhor compreensão da Cadeia da Cana-de-açúcar e sua relação com o meio ambiente, fornecendo elementos que podem auxiliar na tomada de decisões com relação à matriz energética nacional e às emissões de poluentes. Como sugestão para futuros trabalhos seria de grande valia uma comparação entre as principais cadeias produtivas nacionais e, ainda, um comparativo das cadeias com outros grandes *players* do comércio internacional.

Referências

- ARAÚJO, N. B.; WEDEKIN, I.; PINAZZA, L. A. *Complexo agroindustrial: o “agribusiness” brasileiro*. 1. ed. São Paulo: AGROCERES, 1990. 238 p.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL — BNDES; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS — CGEE. *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. 1. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA — CEPEA. *Desenvolvimento metodológico e cálculo do PIB das cadeias produtivas do algodão, cana-de-açúcar, soja, pecuária de corte e leite no Brasil*. 2011. Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB_Cadeias_relatorio2009_10.pdf. Acesso em: 28 mar. 2019.
- DAVIS, J.; GOLDBERG, R. A concept of agribusiness. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 39, n. 4, p. 1042–1045, 1957.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA — EPE. *Balanço Energético Nacional – 2015: Ano base 2014*. 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-97/Relat%C3%B3rio%20Final%202015.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2019.
- FARINA, E.; RODRIGUES, L.; ZECHIN, M. *Controle de preço da gasolina e aumento de custos levaram etanol à crise*. 2014. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/industria/usinas/controle-preco-gasolina-aumento-custos-etanol-1-131014>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- FRANÇOSO, R. F. *et al.* Relação do custo de transporte da cana-de-açúcar em função da distância. *Revista iPecege*, v. 3, n. 1, p. 100–105, 2017.
- FURTUOSO, M. C. O. *O Produto Interno Bruto do Complexo Agroindustrial Brasileiro*. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo – Esalq/USP, Piracicaba, 1998.
- GASQUES, J. G. *et al.* Produtividade da agricultura: Resultados para o Brasil e estados selecionados. *Revista de Política Agrícola*, v. 23, n. 3, p. 87–98, 2014.
- GONÇALVES, M. A. B.; NOGUEIRA, R. G. O efeito estufa pode ser reduzido com a produção e a utilização do biodiesel? *Revista Processos Químicos*, v. 1, n. 2, p. 51–59, 2007.
- GUILHOTO, J. J. M.; FURTUOSO, M. C.; BARROS, G. S. C. *O Agronegócio na Economia Brasileira: 1994 a 1999 - Notas Metodológicas*. [S. l.: s. n.], 2000. Piracicaba. CEPEA.
- GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. *Economia Aplicada*, v. 9, n. 2, p. 277–299, 2005.
- GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: Aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005. *Economia & Tecnologia*, v. 6, n. 4, p. 53–62, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. *Censo Agropecuário 2017*. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA — IBGE. *Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE – Versão 1.0*. 2003. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2314.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE — IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2006. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em: 20 jan. 2019.

- LAUSCHNER, R. *Agribusiness, cooperativa e produtor rural*. 1. ed. São Leopoldo: Unisinos, 1993. 293 p.
- LEONTIEF, W. *The structure of the American economy*. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1951. 282 p.
- MALASSIS, L. Analyse du complexe agro-alimentaire d'après la comptabilité nationale française. *Économies et sociétés*, v. 3, n. 9, p. 1667–1687, 1969.
- MARTINS, H. H. *et al.* Ligações intersetoriais e setores-chave da economia brasileira na década de 2000: um estudo sobre as indústrias do açúcar e do álcool. *Revista Capital Científico - Eletrônica (RCCe)*, v. 14, n. 4, p. 92–108, 2016.
- MESSA, A. Determinantes da produtividade na indústria brasileira. In: NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. (ed.). *Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes*. Brasília: IPEA, 2015. v. 1.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA — MME. *Energia no mundo: 2015-2016*. 2016. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em: 15 jan. 2019.
- MONTOYA, M. A. *et al.* A Cadeia Soja brasileira no período de 2000 a 2014: Uma abordagem insumo-produto do PIB, emprego, consumo de energia e emissões de CO₂. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE CENTROS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (ANPEC), 45., 2017, Natal. *Anais*. Natal: ANPEC, 2017a.
- MONTOYA, M. A. *et al.* Consumo de energia, emissões de CO₂ e a geração de renda e emprego no Agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto. *Economia Aplicada*, v. 20, n. 4, p. 383–412, 2016.
- MONTOYA, M. A. *et al.* Dimensão econômica e ambiental do Agronegócio Brasileiro na década de 2000: Uma análise insumo-produto da renda, do consumo de energia e das emissões de CO₂ por fonte de energia. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU)*, v. 11, n. 4, p. 557–577, 2017b.
- MONTOYA, M. A. *et al.* Uma nota sobre consumo energético, emissões, renda e emprego na Cadeia de Soja no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, v. 73, n. 3, p. 345–369, 2019.
- MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Evolução do PIB do agronegócio brasileiro de 1959 a 1995: Uma estimativa na ótica do valor adicionado. *Revista Teoria e Evidência Econômica*, v. 9, n. 16, p. 9–24, 2001.
- MONTOYA, M. A.; GUILHOTO, J. J. M. O agronegócio brasileiro entre 1959 e 1995: Dimensão econômica, mudança estrutural e tendências. In: MONTOYA, M. A.; PARRÉ, J. L. (ed.). *O agronegócio brasileiro no final do século XX*. Passo Fundo: UPF Editora, 2000. v. 1.

- MONTOYA, M. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. Desagregação setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: Uma avaliação metodológica. *Economia Aplicada*, v. 18, n. 3, p. 379–419, 2014.
- MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A. O uso setorial de energia renovável versus não renovável e as emissões de CO₂ na economia brasileira: Um modelo insumo-produto híbrido para 53 setores. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 45, n. 2, p. 289–335, 2015.
- NACHILUK, K.; OLIVEIRA, M. D. M. Cana-de-açúcar: Custos nos diferentes sistemas de produção nas regiões do Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, v. 43, n. 4, p. 45–81, 2013.
- NOVACANA. *Como é feito o transporte de cana-de-açúcar no Brasil*. 2004. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana/transporte-da-cana-brasil>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- PAIXÃO, M. A. S.; MIRANDA, S. H. G. Um comparativo entre a política de energia renovável no Brasil e na China. *Revista Pesquisa & Debate*, v. 29, n. 1, p. 50–83, 2018.
- PROENÇA, E. R. *et al.* Inovações tecnológicas adotadas por usinas do Setor Sucoalcooleiro na regional de Andradina, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL — SOBER, 47., 2009, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre: SOBER, 2009.
- SANTOS, G. R.; GARCIA, E. A.; SHIKIDA, P. F. A. A crise na produção do etanol e as interfaces com as políticas públicas. *Em Radar: Tecnologia, produção e comércio exterior*, n. 39, p. 27–38, 2015.
- SILVEIRA, T. S. *et al.* Input-output analysis for agricultural and livestock sector in the Brazilian economy. *Rivista di Economia Agraria*, v. LXX, n. 1, p. 33–54, 2015.
- SZMRECSÁNYI, T. *O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930–1975)*. 1. ed. São Paulo: HUCITEC/UNICAMP, 1979. 540 p.
- UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA DE AÇÚCAR — UNICA. *Fotografia do setor sucroenergético no Brasil e os benefícios econômicos, ambientais e sociais gerados*. 2019a. Disponível em: <http://www.unica.com.br/download>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA DE AÇÚCAR — UNICA. *UNICADATA*. 2019b. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- VIAN, C. A.; MARIN, F. R. *Cana-de-açúcar: Logística e transporte*. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-a-cucar/arvore/CONTAG01_133_22122006154842.html. Acesso em: 22 jan. 2019.