

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JULIANA AKEMI KANEKO

**DESEMPENHO AMBIENTAL DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JULIANA AKEMI KANEKO

**DESEMPENHO AMBIENTAL DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ferreira Lima

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2022



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Juliana Akemi Kaneko

ORIENTADOR: Dr. Sebastião Ferreira de Lima

TÍTULO: Desempenho ambiental da cana-de-açúcar utilizando a avaliação do ciclo de vida

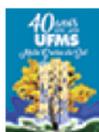
AVALIADORES:

Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima

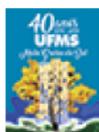
Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro

Prof. Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto

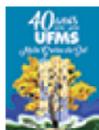
Chapadão do Sul, 28 de fevereiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Sebastiao Ferreira de Lima, Professor do Magisterio Superior**, em 28/02/2022, às 10:26, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 28/02/2022, às 10:26, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **VESPASIANO BORGES DE PAIVA NETO, Usuário Externo**, em 28/02/2022, às 10:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Dedico este trabalho aos meus pais, Lincoln e Maria Alice, que sempre me incentivaram. Sem vocês eu jamais conseguiria alcançar meus objetivos e realizar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado todas as minhas conquistas, acima de tudo com muita alegria e saúde conseguir viver cada momento.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, que me forneceram conhecimento com excelência na Graduação e Pós-Graduação.

A minha família por ter me apoiado durante a vida e principalmente pela atenção e carinho durante os meus estudos na Pós-Graduação.

A empresa Cerradinho, pela oportunidade tanto de emprego quanto de incentivo para ampliar ainda mais meus conhecimentos, me ensinaram muito e além de tudo isso forneceram as informações necessárias para realização deste trabalho.

Ao professor e orientador Sebastião Ferreira de Lima, por todo apoio e incentivo desde a Graduação me acompanha e me orienta com muita paciência e sabedoria. Pelo auxílio durante o planejamento e execução deste trabalho.

Ao professor Thiago Florindo pelo apoio com seus conhecimentos com ciclo de vida e por sua dedicação de nos ajudar e incentivar para conclusão deste trabalho.

E aqueles que não foram citados, mas de alguma forma contribuíram para conclusão deste trabalho.

RESUMO

Diante das mudanças climáticas que estão ocorrendo com maior intensidade ao longo dos últimos anos, devido as emissões de gases de efeito estufa (GEE), ações para realizar uma produção sustentável são indispensáveis. Com os incentivos para aumento de uso e produção de biocombustível, diante disto o presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos ambientais de um sistema de produção de etanol de cana-de-açúcar. Foi realizada a coleta de informações de uma empresa localizada no Centro-Oeste. A unidade funcional definida foi uma tonelada de cana-de-açúcar. Na fase agrícola foram avaliadas as categorias: emissão de GEE, acidificação terrestre e eutrofização das águas. Na fase industrial foi avaliada as emissões de GEE. Obteve-se emissões de 134,9 kg de CO₂ eq. Mg cana⁻¹, sendo 75% das emissões são originadas da etapa de manejo, ou seja, a etapa onde ocorre um maior consumo de insumos agrícolas. Para a categoria de acidificação terrestre foi obtido 0,67 kg de SO₂ eq. Mg cana⁻¹ e 0,22 kg de PO₄ eq. Mg cana⁻¹ na categoria de eutrofização. Dentre as categorias avaliadas na fase industrial as que mais afetam são: Bens e serviços comprados (72%), Combustão estacionária (11%) e combustão móvel (11%). O total de emissão de todas as categorias é de 6,1 t CO₂ eq hectare ano⁻¹. Os resultados mostram a importância de se desenvolver novos estudos para valorizar o sistema produtivo de biocombustíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustível. Agrícola. Impacto ambiental.

ABSTRACT

Faced with climate change that has been occurring with greater intensity over the last few years, due to greenhouse gas (GHG) emissions, actions to achieve sustainable production are essential. With the incentives to increase the use and production of biofuel, in view of this, the present work aims to evaluate the environmental impacts of a sugarcane ethanol production system. Information was collected from a company located in the Midwest. The defined functional unit was a ton of sugarcane. In the agricultural phase, the following categories were evaluated: GHG emissions, terrestrial acidification and water eutrophication. In the industrial phase, GHG emissions were evaluated. Emissions of 134.9 kg of CO₂ eq were obtained. Mg cane⁻¹, with 75% of emissions originating from the management stage, that is, the stage where there is a greater consumption of agricultural inputs. For the terrestrial acidification category, 0.67 kg of SO₂ eq. Mg cane⁻¹ and 0.22 kg of PO₄ eq. Mg cane⁻¹ in the eutrophication category. Among the categories evaluated in the industrial phase, the ones that most affect are: Purchased goods and services (72%), Stationary combustion (11%) and mobile combustion (11%). The total emission of all categories is 6.1 t CO₂ eq hectare year⁻¹. The results show the importance of developing new studies to value the biofuel production system.

KEYWORDS: Biofuel. Agricultural. Environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fronteiras do sistema considerando para o inventário	12
Figura 2. Comparação dos GEE por etapa agrícola	14
Figura 3. Comparação de acificação potencial por etapa agrícola.....	15
Figura 4. Comparação de eutrofização das águas por etapa agrícola.....	16
Figura 5. Classificação dos 3 escopos GHG protocol.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perfil ambiental para produção de cana-de-açúcar na etapa agrícola	13
Tabela 2. Limites operacionais, escopos (1,2 e 3) – GHG protocol.....	22

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO AMBIENTAL DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	11
RESUMO	11
CHAPTER 1 - SUGARCANE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE THROUGH LIFE CICLE VALUATION.....	12
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 Mudanças climáticas	16
3.2 Acidificação terrestre	16
3.3 Eutrofização das águas	17
4 CONCLUSÃO	18
5 REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 2 – IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ETANOL	21
RESUMO	21
CHAPTER 2 - ENVIRONMENTAL IMPACTS ON THE ETHANOL PRODUCTION SYSTEM.....	22
ABSTRACT	22
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4 CONCLUSÕES.....	27
5 REFERÊNCIAS	27

CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO AMBIENTAL DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

RESUMO

Os processos agrícolas, industriais e as questões socioambientais precisam ser melhor entendidos devido as mudanças climáticas e conseqüentemente, do aquecimento global, para que os impactos ambientais possam ser minimizados ao longo do tempo. Na matriz energética, a cana-de-açúcar é responsável por 40% das fontes renováveis. Diante dessas demandas ambientais, o presente trabalho objetivou avaliar os impactos gerados na produção agrícola da cana-de-açúcar avaliando as principais categorias de impacto, para possível identificação de otimização de manejo para melhor desempenho sustentável de produção. A unidade funcional utilizada foi a produção de uma tonelada de cana-de-açúcar. Foram avaliadas as seguintes categorias: emissão de GEE, acidificação terrestre e eutrofização das águas. Obteve-se emissões de 134,9 kg de CO₂ eq. Mg cana⁻¹, sendo que 75% das emissões são originadas da etapa de manejo, ou seja, a etapa onde ocorre o maior consumo de insumos agrícolas. Para a categoria de acidificação terrestre foi obtido 0,67 kg de SO₂ eq. Mg cana⁻¹ e 0,22 kg de PO₄ eq. Mg cana⁻¹ na categoria de eutrofização. Estes resultados mostram que é possível desenvolver alternativas para uma produção com maior sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Produção agrícola. Fontes renováveis. Sustentabilidade.

CHAPTER 1 - SUGARCANE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE THROUGH LIFE CICLE VALUATION.

ABSTRACT

The agricultural process, industrial and socio-environmental issues need to be better comprehended by the climate changes and therefore global warming to minimize the environmental impacts through time. The energetic matrix of sugarcane is responsible for 40% of the renewable sources. In face of the environmental demands the present article aimed evaluate the impacts generated in the sugarcane agricultural production measuring the main impact grades, for the possible identification of optimization management for the best sustainable production performance. The functional unit used was de production of one ton of sugarcane. The following grades were evaluated: GEE emission, Land's acidification and the water eutrophication. It resulted the emission of 134,9 kg of CO₂ eq. Mg cane⁻¹, being 75% of emissions generated by the management, in other words, the step that occur the higher usage of agricultural inputs. For the land's acidification grade was obtained 0,67 kg of SO₂ eq. Mg cane⁻¹ and 0,22 kg of PO₄ eq. Mg cane⁻¹ in the eutrophication grade. The results show that is possible to develop options for production with greater sustainability.

KEY-WORDS: Agricultural Production. Renewable Sources. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, ocupando uma área de produção no ano de 2021 de 8,3 milhões de hectares (CONAB, 2021). Toda essa estrutura produtiva, considerando a parte agrícola e a parte industrial tem impactos ambientais consideráveis (SOARES et al., 2009), que precisam ser entendidos e minimizados, buscando cada vez mais a sustentabilidade do sistema. Com o avanço da degradação ambiental e, conseqüentemente, das alterações climáticas, os impactos decorrentes da agropecuária e floresta têm recebido maior atenção, sendo um aspecto importante na competitividade no mercado mundial (IPPC, 2006; FAO, 2008).

Os produtos que têm como origem a matéria prima da cana-de-açúcar, são responsáveis por cerca de 40% das fontes renováveis da matriz energética brasileira (BEN, 2015). Isso faz com que o Brasil se torne um exemplo como incentivador de uma produção sustentável. Devido ao setor sucroalcooleiro possuir este importante papel na matriz energética, há uma preocupação com os impactos ambientais considerando como a produção dessa matéria prima pode afetar o meio ambiente. Assim os estudos de ciclo de vida (Acompanhamento do Ciclo de Vida – ACV) têm como principal função, destacar o desempenho ambiental no sistema de produção de cana-de-açúcar.

Com isso, o mercado industrial começou a observar com mais atenção os gases causadores do efeito estufa (GEE), como gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Vários estudos confirmam que esses gases têm uma correlação com as mudanças climáticas (RAMACHANDRA et al., 2015). Para obter o potencial de impacto destas emissões são calculadas todas as entradas e saídas do processo, a partir do inventário do ciclo de vida, que é uma das principais etapas dentro do estudo da ACV. Porém, o banco de dados não corresponde adequadamente a realidade do Brasil. Em complemento, considerando as variações de clima, manejo e tipo de solo em diversas regiões produtoras a elaboração destes inventários se torna mais desafiadora.

As atividades que são realizadas na fase agrícola possuem alto impacto ao meio ambiente, por possuírem algumas substâncias que liberam os gases de maior relevância para o efeito estufa, como CO₂, CH₄ e N₂O, entre outros gases (BOSCO et al., 2013).

Para auxiliar a mitigação desses GEE, uma alternativa seria o cultivo de leguminosas para fixação biológica de nitrogênio, reduzindo a necessidade do uso de fertilizantes à base de nitrogênio (ADEWALE et al., 2016; ADEWALE et al., 2018).

O presente estudo considerou informações que condizem com a realidade de uma empresa que quer produzir etanol e energia de forma sustentável e visa reduzir as incertezas

nos estudos relacionados a ciclo de vida da cana-de-açúcar. Com isso a avaliação é mais adequada para o setor canavieiro no Brasil, possibilitando embasamento científico para maior inovação em sustentabilidade da produção desta cultura.

O objetivo do trabalho foi avaliar com a análise de ciclo de vida, a emissão de GEE de um sistema de produção da etapa agrícola de cana-de-açúcar de uma usina no Centro-Oeste do Brasil, para que com os resultados obtidos direcione um manejo ambientalmente mais amigável.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho foi baseada nas normas técnicas ABNT NBR ISO 14044:2009 e ABNT NBR 14044:2009 (ABNT, 2009 a, b).

O inventário da produção da cana-de-açúcar foi elaborado para as condições de clima, de solo e manejo praticado na região Centro-Oeste. A avaliação foi conduzida com o banco de dados fornecidos pela Usina Cerradinho Bioenergia, que possui sede localizada nas coordenadas geográficas: latitude $-18^{\circ}13'06''S$ e longitude $-52^{\circ}35'23''O$ de Greenwich. O clima, segundo Köppen, é tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, precipitação média anual de 1.579 mm e temperatura média anual variando de $20^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$. A unidade de análise adotada foi uma tonelada de cana-de-açúcar. A referência de produtividade estabelecida foi de 85 Mg ha^{-1} . Todos os insumos de entrada e atividades executadas em cada fase de condução da cultura estão inseridos na Figura 1.

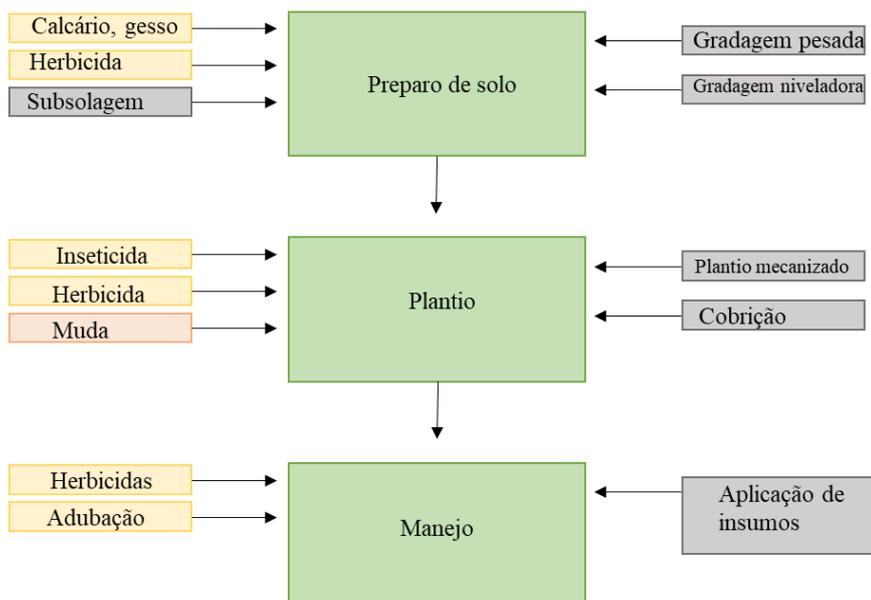


Figura 1: Fronteiras do sistema considerando para inventário da produção de cana-de-açúcar.

Este estudo comparou as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em cada sistema de produção agrícola (preparo do solo, plantio e manejo) de cana-de-açúcar em ambiente desfavorável no Centro-Oeste do Brasil, que segundo Landel et al. (2007) são solos com maiores limitações como (D1, D2, E1 e E2), são solos arenosos, portanto possuem uma textura leve e são pobres em nutrientes. A metodologia adotada foi Life Cycle Assessment (LCA), que mostra em qual das etapas da produção agrícola ocorreu o maior impacto. A fronteira deste estudo foi “do berço a porteira da fazenda” ou conhecida também como “from the cradle to the farm gate”, assim sendo considerados todos os insumos usados do preparo de solo até a fase que antecede a colheita da cultura.

Os dados são referentes a uma fazenda de ambiente desfavorável ao longo dos seus seis últimos anos, até a cana-de-açúcar finalizar o ciclo de colheita. Os insumos que foram considerados neste processo agrícola foram óleo diesel, herbicidas, calcário, gesso, fosfato, fertilizantes e transporte. Entradas que não foram consideradas são os compostos orgânicos que são utilizados para adubação. Saída que não foi considerada é a vinhaça.

No inventário do sistema de produção de ambiente desfavorável, o período de avaliação foi do início do preparo do solo para o plantio de cana até o último corte da soqueira abrangendo um período de 5 cortes da cana-de-açúcar. Foram avaliados todos os causadores do efeito estufa (CO_2 , SO_2 e PO_4) que são emitidos por insumos agrícolas nas três etapas de produção que são preparo, plantio e manejo. Os cálculos e a análise e avaliação dos impactos ambientais foram estimados com o software OpenLCA.

A fase da avaliação de impacto, consiste na soma de todos os GEE emitidos durante todo ciclo de vida da cana-de-açúcar, convertido em CO_2 equivalente com relação a unidade funcional que foi definida (1 tonelada de cana-de-açúcar no portão da fazenda). Para essa avaliação foi usado o potencial de aquecimento global no horizonte de tempo de 100 anos do relatório AR5 do Painel Internacional de mudanças climáticas (Myhre et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho ambiental de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste, e a contribuição de impacto em cada categoria são observados na tabela 1.

Tabela 1: Perfil ambiental para produção de cana-de-açúcar no Centro-Oeste do Brasil na etapa agrícola.

Categoria de Impacto	Unidade	Valor
Mudanças Climáticas	kg CO_2 eq	134,91
Acidificação Terrestre	kg SO_2 eq	0,67
Eutrofização	kg PO_4 eq	0,22

3.1 Mudanças climáticas

Os principais gases de efeito estufa (GEE) que são emitidos na fase agrícola são dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Durante as etapas da fase agrícola, obteve-se emissões de 134,9 kg de CO_2 equivalente por tonelada de cana-de-açúcar (eq. Mg cana⁻¹), sendo a maior emissão verificada na fase de manejo. Nesta fase há uma participação equivalente a 75% das emissões por constituir o momento de maior entrada de fertilizantes minerais na área. Garcia e Von Sperling (2010) estimaram emissões de GEE de 298,2 kg CO_2 eq ha⁻¹ de insumos como calcário e fertilizantes.

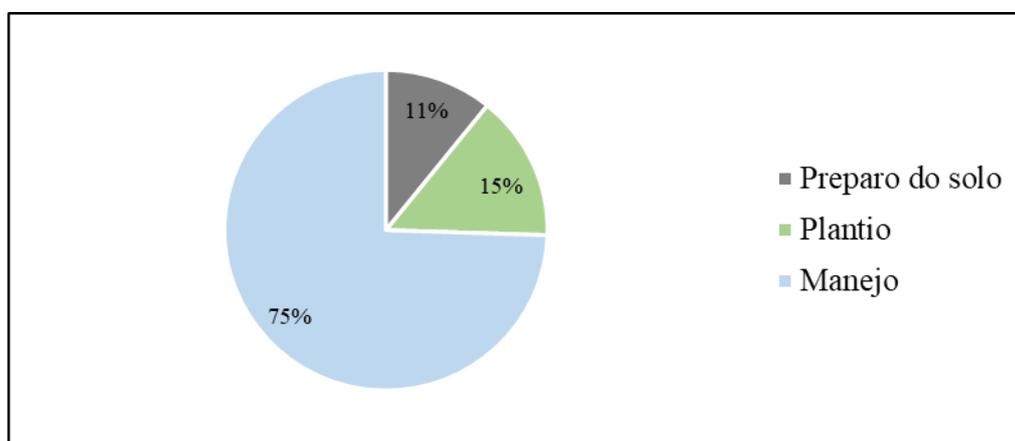


Figura 2: Comparação dos GEE por etapa agrícola na cultura da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste no ano de 2020.

A principal forma de emissão de CO_2 na agricultura é dependente da forma de armazenamento do carbono no solo, enquanto as emissões de NO_2 estão relacionadas diretamente a aplicação de adubos nitrogenados. Existem ainda, trabalhos que demonstram o impacto de diferentes insumos aplicados, porém os insumos com maior relevância nesta categoria de impacto são os fertilizantes nitrogenados (LISBOA et al., 2011). Estes liberam NO_2 no solo, tornando-se um importante fator na emissão de GEE (Brandão et al., 2011).

De acordo com Bordonal et al. (2015) o solo e a biomassa são reservas de carbonos, portanto a modificação destas duas variáveis pode interferir significativamente na categoria de impacto “mudanças climáticas”. A ação de decomposição da matéria orgânica também resulta na emissão de CH_4 (BORDONAL, 2013).

3.2 Acidificação terrestre

As substâncias inorgânicas como sulfatos, nitratos e fosfatos são emitidas pela atmosfera e o nível de acidez no solo se altera, este fenômeno ocorre com a chuva ácida e

pode prejudicar algumas espécies de plantas (HUIJBREGTS et al., 2016). Neste trabalho o resultado de acidificação terrestre foi de $0,67 \text{ kg SO}_2 \text{ eq Mg}^{-1}$.

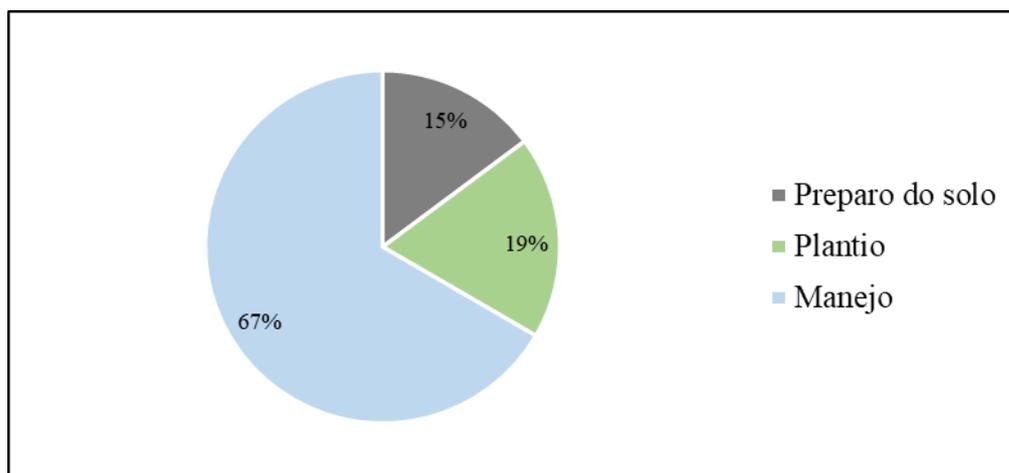


Figura 3: Comparação de acidificação potencial por etapa agrícola etapa agrícola na cultura da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste no ano de 2020.

Ponce (2019), obteve uma emissão de $0,2196 \text{ kg SO}_2 \text{ eq}$ na produção de cana-de-açúcar orgânica enquanto a produção convencional totalizou $0,1788 \text{ kg SO}_2 \text{ eq}$, um dos principais motivos do maior impacto em cultivo orgânico é que obteve um número maior de cortes comparado ao cultivo convencional. A fonte de maior participação neste estudo foi o consumo do diesel no maquinário agrícola. Uma vez que produz SO_2 , e com a combustão do diesel são emitidos óxidos de nitrogênio (Nox).

Assim, constata-se que o sistema produtivo relatado por Ponce (2019) apresenta valores de acidificação menor do que o presente estudo. Essa diferença pode ser explicada pelo processo de produção e eficiência ambiental ser mais eficiente. Portanto com este resultado do presente trabalho é possível propor reduzir a acidificação potencial do sistema de produção com otimização da logística do maquinário agrícola. Assim como Zucali et al. (2018) propuseram reduzir a acidificação potencial de $0,015 \text{ kg SO}_2 \text{ eq kg FPCM}^{-1}$ (*Fat Protein Corrected Milk*), que é o valor bruto do leite corrigido pelo teor de gordura e proteína (GERBER et al., 2010), no sistema de produção de alfafa e silagem, usando culturas mais ricas em proteínas como soja e feno de alfafa.

3.3 Eutrofização das águas

Segundo Huijbregts et al. (2016) a eutrofização de água doce é quando nutrientes como fósforo e potássio estão em contato com o solo e por consequência atingem os corpos hídricos de água doce e com isso interferem a sobrevivência de organismos presentes na água.

O potencial de eutrofização das águas obtido no presente trabalho foi de 0,2246 kg PO₄ eq *kg Mg⁻¹.

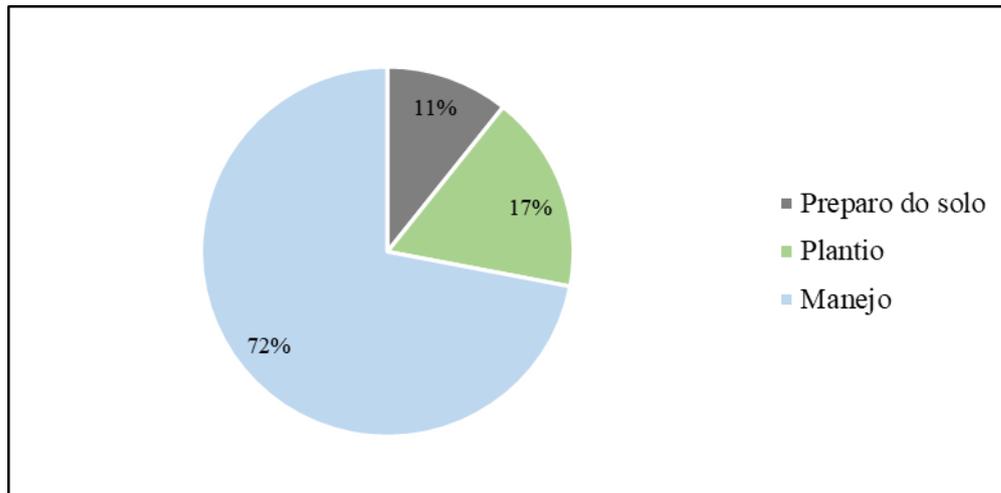


Figura 4: Comparação de eutrofização das águas por etapa agrícola

A etapa que mais contribuiu na Eutrofização foi o manejo, ou seja, a etapa de tratamentos culturais com 0,16 kg de PO₄ eq Mg⁻¹ de cana-de-açúcar, sendo o fósforo a principal substância que contribuiu para este impacto. Picolli et al. (2016) também observaram este fato que os insumos utilizados na fase agrícola são muito impactantes, como por exemplo o fósforo (0,056 kg P eq TC), essa unidade analisada é tonelada de cana-de-açúcar sendo emitido por erosão para as águas superficiais.

Segundo Silva et al. (2015) os insumos sintéticos usados na cana-de-açúcar possuem potencial de impacto que podem levar a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas com fertilizantes, e as operações de arados e grade niveladoras no preparo de solo ocasionam alterações morfoestruturais no solo, reduzindo a atividade biológica que é benéfica para a disponibilidades dos nutrientes no solo.

Outro fator que prejudica a atividade biológica é o trânsito de maquinário agrícola, que provocam a compactação do solo e acarretam impactos ambientais, mas para reverter este problema demanda-se uma intensificação das operações de preparo de solo (CHAGAS et al., 2016).

4 CONCLUSÃO

O ambiente de produção avaliado apresentou uma maior emissão na categoria de mudanças climáticas, por emitir gases do efeito estufa que são dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. O manejo é a etapa agrícola com maiores emissões em todas as categorias analisadas, por ser o momento de maior entrada de fertilizantes na área. Com estes resultados

foi possível verificar a oportunidade na implementação de um manejo com maior sustentabilidade, que tenha maior eficiência no uso de fertilizantes e com isto uma redução na aplicação, por conseguinte, nas emissões causadas por este insumo fundamental para produção agrícola.

5 REFERÊNCIAS

ADEWALE, C.; HIGGINS, S.; GRANATSTEIN, D.; STOCKLE, C.; CARLSON, B.; ZAHER, U.; CARPENTER-BOGGS, L. Identifying hotspots in the carbon footprint of a small scale organic vegetable farm. **Agricultural systems**, v. 149, p. 112-121, 2016.

ADEWALE, C.; REGANOLD, J.; HIGGINS, S.; EVANS, R.; CARPENTER-BOGGS, L. Improving carbon footprinting of agricultural systems: Boundaries, tiers, and organic farming. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 71, p. 41-48, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: **ABNT**, 2009.

BOSCO, S.; BENE, C.; GALLI, M.; REMORINI, D.; MASSAI, R.; BONARI, E. Soil organic matter accounting in the carbon footprint analysis of the wine chain. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 973-989, 2013.

BORDONAL, R.; FIGUEIREDO, E. B.; AGUIAR, D. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; LA SCALA, N. Greenhouse gas mitigation potential from green harvested sugarcane scenarios in São Paulo State, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 59, p. 195- 207, 2013.

BORDONAL, R.; LAL, R.; AGUIAR, D. A.; FIGUEIREDO, E. B.; PERILLO, L. I.; ADAMI, M.; RUDORFF, M.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in south-central Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 547-556, 2015.

BRANDÃO, M., MILÀ I CANALS, L., CLIFT, R.. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. **Biomass Bioenerg.** 35, 2323-2336, 2011.

CHAGAS, M.; BORDONAL, R.; CAVALETT, O.; CARVALHO, J.; BONOMI, A.; LA SCALA, N. Environmental and economic impacts of different sugarcane production systems in the ethanol biorefinery. *Biofuels*, **Bioproducts and Biorefining**, v. 10, n. 1, p. 89-106, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar - 2º levantamento - safra 2021/22**. Brasília: CONAB, 2021

DA SILVA, F. C.; ANTONIOLLI, A.; FREITAS, P. L.; ZOTELLI, H. B.; DONAGEMMA, G. K.; MAMEDE, R.; PIRES, R. F.; CARVALHO, J. R.; SCHIAVINATO, S. R. Avaliação da produtividade agrícola da cana-planta e cana-soca sob diferentes espaçamentos entre plantas para produção de açúcar e etanol. **Embrapa Informática Agropecuária-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (INFOTECA-E), 2015.

GARCIA, J. C.; VON SPERLING, E. Greenhouse gas emissions from sugar cane ethanol: Estimate considering current different production scenarios in Minas Gerais, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 1033-1049, 2017.

HUIJBREGTS, M. A. J. ET AL. RECIPE 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. 2016.

GERBER, P. et al. **Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector - A Life Cycle Assessment**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 2010. 98 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.

MYHRE, G., ET AL., Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge university press**, Cambridge, Unites Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

LANDELL, M. G. de A.; CAMPANA, M. P.; FIGEIREDO, P. et al. Variedades de cana-de-açúcar para o centro sul do Brasil: 16ª liberação do programa cana IAC (1959 – 2007). **Boletim Técnico IAC**, Campinas: Instituto Agrônômico, n. 2001, 37 p., 2007.

LISBOA, C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MAUDER, M.; KIESE, R. Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouse gases—known and unknowns. **Gcb Bioenergy**, v. 3, n. 4, p. 277-292, 2011.

SOARES, L.H.B. et al. Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. **Circular Técnica**, 27. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

PONCE, R. O. Avaliação do ciclo de vida dos sistemas de produção orgânico e convencional da cana-de-açúcar: um estudo comparativo. **Dissertação (Mestrado em administração)** – Universidade Estadual Paulista de São Paulo. São Paulo, 2019.

T.V. RAMACHANDRA; BHARATH H. AITHAL; K. SREEJITH. GHG footprint of major cities in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Índia, v.44, p. 473-496, 2015.

ZUCALI, M., BACENETTI, J., TAMBURINI, A., NONINI, L., SANDRUCCI, A., BAVA, L. Environmental impact assessment of different cropping systems of home-grown feed for milk production. **J. Clean. Prod.** 172, 3734-3746, 2018.

CAPÍTULO 2 – IMPACTOS AMBIENTAIS NO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ETANOL

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol proveniente de cana-de-açúcar, sendo que um dos fatores importantes para melhorar competitividade internacional considera os cálculos de emissões de efeito estufa (GEE). O uso de fontes renováveis de combustível ganhou espaço nos últimos anos, pela preocupação com as mudanças climáticas que estão ocorrendo ao longo do tempo. A metodologia GHG protocol foi utilizada para realização de cálculo de emissões no processo de produção de etanol de cana-de-açúcar. Os fatores de emissão que foram utilizados foram a partir de uma base de dados como Ecoinvent e IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Dentre as categorias avaliadas a que mais afetam são: Bens e serviços comprados (72%), Combustão estacionária (11%) e combustão móvel (11%). O total de emissão de todas as categorias é de 6,1 t CO₂ eq hectare ano⁻¹. Com isso, precisa-se melhorar a eficiência do uso de combustíveis e energia para o processo de produção de etanol e entrega de produtos para o processo.

Palavras-chave: Pegada de carbono; GHG protocol; mudanças climáticas.

CHAPTER 2 - ENVIRONMENTAL IMPACTS ON THE ETHANOL PRODUCTION SYSTEM

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest producers of ethanol from sugarcane, one of the important factors for international competitiveness is the calculation of greenhouse emissions (GHG). The use of renewable fuel sources has gained space in recent years, due to the concern with climate change that is occurring over time. The GHG protocol methodology was used to calculate emissions in the sugarcane ethanol production process. The emission factors that were used were from a database such as Ecoinvent and IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Among the evaluated categories, the ones that most affect are: Purchased goods and services (72%), Stationary combustion (11%) and mobile combustion (11%). The total emission of all categories is 6.1 t CO₂ eq/ hectare year. With this, we need to improve the efficiency of fuel and energy use for the ethanol production process and delivery of products to the process.

Keywords: Carbon footprint; GHG protocol; climate changes.

1 INTRODUÇÃO

A produção de etanol na safra 2021/22 de cana-de-açúcar é menor em 13,2% comparado com a safra 2020/21, sendo estimado uma colheita de 568,4 milhões de toneladas. Os efeitos climáticos de estiagem e baixas temperaturas durante o ciclo produtivo, impactaram na produtividade da cultura (CONAB, 2021).

A sustentabilidade ambiental ganhou uma maior importância nos últimos anos, devido ao elevado uso de combustíveis fósseis, que conseqüentemente, ocasionam efeitos sobre as mudanças climáticas. Portanto, os biocombustíveis assumem papel essencial neste cenário, sendo o etanol a alternativa mais predominante (HANDLER et al., 2016).

Segundo Coelho et al. (2006) o etanol de cana-de-açúcar causa uma menor dependência de fontes não renováveis como o petróleo e redução de gases de efeito estufa

(GEE). As emissões de GEE para fabricação do etanol, estão principalmente no consumo de combustíveis fósseis e uso de produtos químicos.

Os inventários de emissões são fundamentais para o levantamento de GEE, para conseguir apontar quais as principais vantagens ambientais e energéticas. Durante o ciclo de vida da cana-de-açúcar existem vários gases que são liberados para a produção do etanol, a maior parte desses gases são provenientes dos agrotóxicos usados para produção da cultura, neste sentido a UE (União Europeia), estabeleceu que os GEE (Gases de efeito estufa) são CO₂, N₂O e CH₄ (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Segundo o IPCC (Painel Internacional de Peritos sobre Mudanças climáticas), o setor de agricultura, silvicultura e outros usos do solo são responsáveis por cerca de 10 a 12 Gt CO₂ eq ano⁻¹ de emissões GEE (IPCC, 2014). Todas as emissões de GEE produzidas por uma atividade, ao longo de um ciclo de vida é expressa em toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂eq), portanto são englobadas na pegada de carbono (ESPÍNDOLA e VALDERRAMA, 2012).

A matriz energética mundial é composta por fontes não renováveis, principalmente o petróleo. Porém o Brasil possui um diferencial que é uma matriz energética muito expressiva de fontes renováveis. Assim, este estudo tem como objetivo evidenciar os principais impactos na produção de etanol, para que com as informações sejam minimizadas as emissões e promovam a redução dos impactos ambientais, e conseqüentemente, reduzam o custo de produção para tornar o biocombustível mais competitivo no mercado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O GHG protocol tem como objetivo estabelecer bases para contabilizar as emissões de gases de efeito estufa. Foi implementado em 2001, pelo Conselho Business for Sustainable Development e pelo World Resources Institute (WRI) (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2004). Para calcular a pegada de carbono em organizações e produtos o instituto desenvolveu ferramentas de software. As emissões são classificadas em diretas e indiretas, que serão em 3 escopos.

Como etapa inicial, foi estabelecido o limite deste estudo que são as emissões da indústria como descrito na tabela 1. A unidade funcional escolhida para a avaliação é t CO₂ eq Mg de cana-de-açúcar⁻¹. Posteriormente, foram coletados dados na empresa CerradinhoBio SA sobre as quantidades de matérias primas adquiridas e utilizadas em 2020. Para realizar o cálculo de pegada de carbono, foram utilizados padrões do GHG protocol.

Tabela 1: Limites operacionais (escopos 1,2 e 3).

Escopo 1	Escopo 2
<ol style="list-style-type: none"> 1. Combustão estacionária 2. Combustão móvel 3. Emissões fugitivas 4. Processos industriais 5. Mudanças no uso do solo 6. Resíduos sólidos e efluentes líquidos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compra de energia elétrica 2. Compra de energia térmica 3. Perdas por transmissão e distribuição
Escopo 3	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compra de produtos e serviços 2. Bens e capital 3. Atividades relacionadas com combustível e energia 4. Transporte e distribuição 5. Resíduos gerados pela operação 6. Viagens a negócio 7. Deslocamento de funcionários 	<ol style="list-style-type: none"> 8. Bens arrendados 9. Processamento de produtos vendidos 10. Tratamento de fim de vida dos produtos vendidos 11. Uso dos produtos vendidos 12. Franquias 13. Investimentos

Fonte: FGV

O escopo 1 considera fonte de emissões diretas geradas pelas empresas, ou seja, 100% das atividades da própria empresa. Escopo 2 são consideradas as emissões indiretas, que provêm da energia fornecida da rede pública. O escopo 3 representa as emissões de fontes indiretas que foram geradas fora da empresa.



Figura 1: Classificação dos 3 escopos. Fonte: World Resources Institute.

Para calcular as emissões são necessárias as quantidades de matérias primas compradas e usadas durante o ano de 2020 e o fator de emissão de cada uma delas. Fórmula para cálculo de emissões:

$$Emissões = \sum [Dados \ atividade * FE]$$

Onde:

Emissões = emissões totais

Dados atividades = quantidade de matérias primas usadas e compradas em 2020

FE = Fator de emissão

Após o cálculo de emissão, é feita a multiplicação pelo índice GWP (Global Warning Potential) que irá converter os gases de cada categoria em CO₂ equivalente e com isto será possível unir as informações do inventário.

Tabela 2: Índices de potencial de aquecimento global

Nome do gás	Fórmula química	GWP (AR4)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido nitroso	N ₂ O	298
Hidrofluorcarbonetos	HFCs	124-14.800
Perfluorcarbonetos	PFCs	7.390-12.200
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	22.800
Triflureto de nitrogênio	NF ₃	17.200

Fonte: IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do clima)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O escopo 1 considera três categorias que são combustão estacionária, combustão móvel e fugitivas (Figura 2). São as emissões das atividades industriais, que gerou um total de 1,4 t CO₂ eq ha⁻¹. Porém Gutiérrez e Montoya (2014) observaram que o escopo 1 possui uma maior emissão de GEE, mas neste estudo foram consideradas as práticas agrícolas que contribuem umas das categorias de maior impacto dentro deste escopo.

Em relação ao escopo 2, as emissões indiretas referem-se somente ao fornecimento de energia que emitiu 0,1 t CO₂ eq ha⁻¹. Dentre os escopos, este é o com menor impacto, ainda assim, pode ser mitigado com uso de energias renováveis. Neste sentido, existem projetos no Brasil para ajudar os países industrializados a reduzirem os gases de efeito estufa (GEE), que contemplam energia renovável como hidroeletricidade, eólica e biomassa (MORI-CLEMENT e BEDNAR-FRIEDL, 2019).

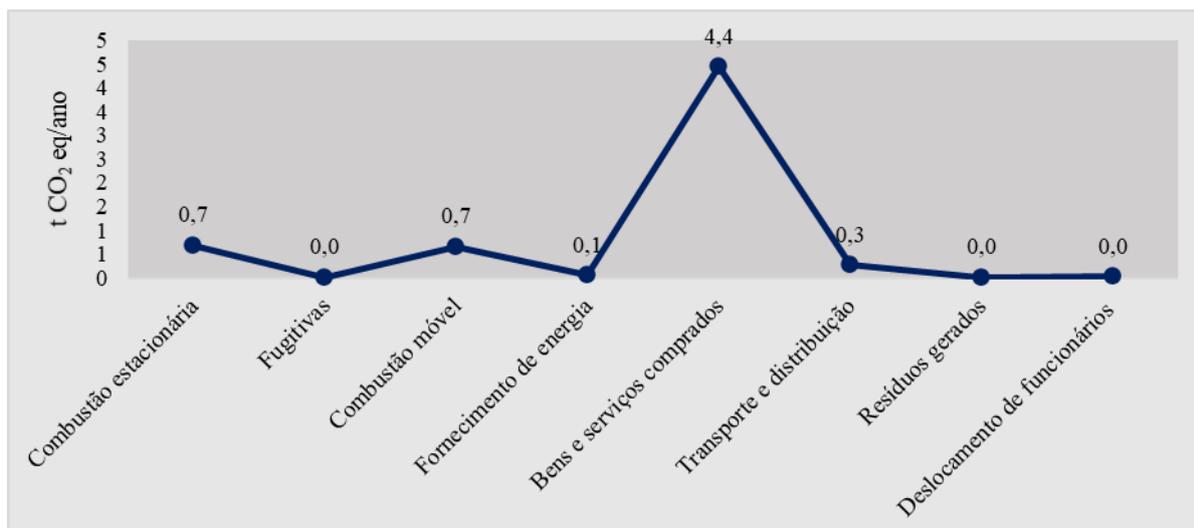


Figura 2: Emissões de CO₂eq correspondentes aos 3 escopos, agrupados em 8 categorias.

As emissões do escopo 3, mesmo sendo indiretas possuem um grande impacto, principalmente na categoria de bens e serviços comprados, isto ocorre por abranger todos os insumos comprados para uso industrial e agrícola.

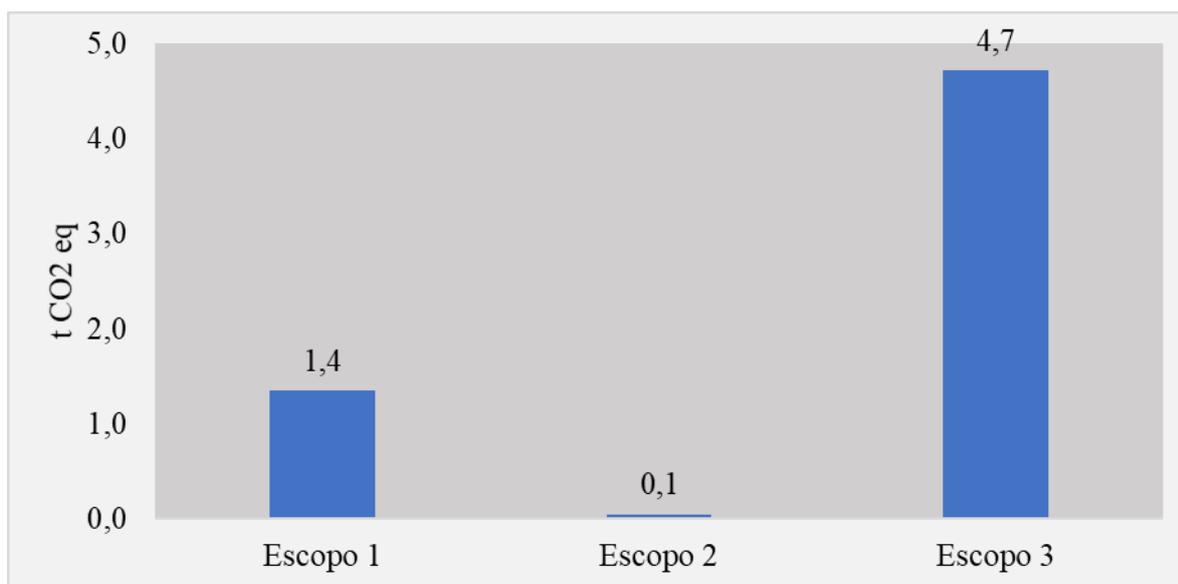


Figura 3. Emissões de CO₂eq correspondentes aos 3 escopos, agrupados em 8 categorias.

O consumo direto de combustíveis fósseis está relacionado com a compra para uso em caminhões, máquinas de colheita e implementos agrícolas (GOLDEMBERG, 2008). A compra e uso de combustíveis fósseis representa o principal item da pegada de carbono nos processos industriais. Por essa razão recomenda-se substituir os combustíveis fósseis por biocombustíveis. O governo Federal criou um Projeto de Lei 1873/21, que incentiva pesquisa,

a produção e consumo de biocombustíveis no Brasil, devida a característica de baixas emissões de gases de efeito estufa no processo de fabricação (UDOP, 2021).

Portanto a principal vantagem do uso do etanol à base de cana-de-açúcar como substituto da gasolina é por ser um combustível de fonte renovável, assim não resulta em emissão significativa de GEE. O CO₂ emitido na queima do bagaço na caldeira e etanol é reabsorvido na fotossíntese da cultura.

Segundo EPA (2010) há uma redução de 61% de emissões de GEE com uso de biocombustível comparado a combustíveis fósseis. Nassar (2010) com informações de vários estados do Brasil atingiu o valor de 52%.

Os investimentos feitos no setor para aumento de produtividade e melhoria do processo, nos últimos anos fez com que o etanol se tornasse competitivo no mercado internacional (GOLDEMBERG, 2008).

4 CONCLUSÕES

A pegada de carbono na produção de etanol somente na fase industrial é 6,1 t CO₂ eq/hectare no ano de 2020. Dentre as categorias avaliadas a que mais afetam são: Bens e serviços comprados (72%), Combustão estacionária (11%) e combustão móvel (11%). O principal impacto foi o uso de combustíveis de fontes não renováveis como diesel e gasolina. Devida a alta pegada de carbono para produção de etanol, a sugestão para reduzir as emissões de GEE é com o uso de biocombustível e energia de fontes renováveis.

5 REFERÊNCIAS

COELHO, S. T. et al. Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. **Energy for Sustainable Development**, v. 10, n. 2, p. 26 – 39, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – Safra 2021/2022**. Brasília, DF: Conab, v. 6, n. 3, quinto levantamento, dez. 2021.

Ecoinvent System Processes. “**Ecoinvent**”, <http://www.ecoinvent.org>. 2016.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. Federal Register, v. 75, n. 58. Regulation of Fuels and Fuel Additives: **Changes to Renewable Fuel Standard Program. Final Rule**. 2010. Disponível em: <http://www.bia.gov/idc/groups/xopa/documents/text/idc008922.pdf>. Acesso 02 de dezembro de 2021.

ESPÍNDOLA, CÉSAR, Y JOSÉ VALDERRAMA. “**Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas**”. Información tecnológica 23 (1): 163-176, 2012.

EUROPEAN COMMISSION. DIRECTIVA 2009/28/CE. **Official Journal of the European Union**. [S.l: s.n.], 2009

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

Gutiérrez, Fernando y Laura Montoya. “La huella de Carbono como herramienta para lograr una producción sostenible en un cultivo de flores ubicado en la Sabana de Bogotá-Colombia”. **Revista de Tecnología** 13: 73-86, 2014.

HANDLER, R. M. et al. Life Cycle Assessments of Ethanol Production via Gas Fermentation: Anticipated Greenhouse Gas Emissions for Cellulosic and Waste Gas Feedstocks. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 55, n. 12, p.3253–3261, 2016.

IPCC. 2006. “Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases Efecto Invernadero”, [http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish\(pdf/2_Volumen2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish(pdf/2_Volumen2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf).

MORI-CLEMENT, Y.; BEDNAR-FRIEDL, B. Do clean development mechanism projects generate local employment? Testing for sectoral effects across Brazilian municipalities. **Ecological economics**, v. 157, p. 47-60, 2019.

NASSAR, A.M. ET AL. An allocation methodology to asses ghg emission associated with land use change - final report. **ICONE - Intitute for International Trade Negotiations**, 2010.

UDOP, **União Nacional da Bioenergia**, 2021. Disponível em: < Câmara aprova urgência para projeto que cria programa para biocombustíveis avançados; confira (udop.com.br)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2022.

World Resources Institute. “A Corporate Accounting and Reporting Standar”, 2004..<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/ghg-protocol-revised.pdf>.