



**Oferta e Demanda de Energia – o papel da tecnologia da
informação na integração dos recursos
26 a 28 de setembro de 2016
Gramado – RS**

Desempenho ambiental da cana-de-açúcar: avaliação regional do ciclo de vida

Juliana Ferreira Picoli

Joaquim Eugênio Abel Seabra

Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura

Otávio Cavalett, Mateus Ferreira Chagas

RESUMO

O setor sucroalcooleiro cumpre um papel estratégico para a segurança energética. Os produtos energéticos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país. Devido à importante participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética brasileira e à crescente preocupação com os impactos ambientais, estudos de Avaliação de Ciclo de Vida tornam-se importantes para a análise do desempenho ambiental dos sistemas de produção de cana-de-açúcar. A elaboração de inventários de ciclo de vida (ICV) representativos é um grande desafio, considerando as diferentes regiões produtoras e suas características específicas de clima, solo e nível tecnológico. O objetivo deste trabalho foi elaborar inventários regionalizados da produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do país. Além disso, foi gerado o perfil ambiental dos sistemas típicos das regiões produtoras de cana-de-açúcar. Foram utilizados dados do IDEA (2014) validados por especialistas do setor e compatibilizados para a composição de ICV médios. As emissões foram estimadas segundo Nemecek e Schnetzer (2011), Canals (2003) e Novaes et al. (2016). Analisando os resultados da avaliação de impacto ambiental normalizados, observou-se que, dentre as 14 categorias de impacto analisadas, as

mais significativas foram Eutrofização de Água Doce, Toxicidade Humana e Formação de Material Particulado. Por fim, foi possível destacar a importância da elaboração destes ICVs regionalizados para melhor representar os processos agrícolas do setor canavieiro no Brasil e possibilitar avaliações mais confiáveis no âmbito da ACV.

Palavras-chave: Setor Sucroenergético, Avaliação de Impacto Ambiental, Avaliação de Ciclo de Vida.

ABSTRACT

The sugar ethanol industry plays a strategic role in energy security. Energy products of sugarcane account for 15.7% of the national energy matrix. Due to the important role of this sector in the Brazilian energy matrix and the growing concern about the environmental impacts, Life Cycle Assessment studies become important for analyzing the environmental performance of sugarcane production systems. The development of Life Cycle Inventory (LCI) representative is a big challenge, considering the different producing regions and their specific features of climate, soil and technological level. The main purpose of this study was to create regionalized inventories of sugarcane production in the South-Central region. Moreover, it was generated the environmental profile of the typical systems of the sugarcane producing regions. IDEA data were used (2014) validated by industry experts and matched to the composition of average LCI. The emissions were estimated according Nemecek and Schnetzer (2011), Canals (2003) and Novaes et al. (2016). Analyzing the results of the environmental impact assessment, normalized, it was observed that among the 14 impact categories analyzed, the most significant were Freshwater Eutrophication, Human Toxicity and Particulate Matter Formation. In conclusion, it was possible to highlight the importance of developing these regionalized life cycle inventories to better reflect the sugarcane sector in Brazil and to allow more reliable assessments under the scope of LCA.

Keywords: Sugar-energy industry, Environmental impact assessment, Life cycle assessment.

1. INTRODUÇÃO

Depois dos recentes relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) em 2014 e das decisões da 21ª Conferência das Partes (COP-21) em 2015, intensificaram-se, em todo o mundo, as discussões sobre a necessidade de redução de gases do efeito estufa.

No Brasil, o setor sucroalcooleiro cumpre um papel estratégico para a segurança energética e para o desempenho ambiental do país. Os produtos energéticos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia, representando cerca de 40% entre as fontes renováveis da matriz energética brasileira (BEN,2015).

O Brasil é também um dos principais utilizadores do etanol combustível no setor de transportes. Aproximadamente 64% da frota de automóveis brasileira têm a tecnologia flexible-fuel, sendo abastecidos com etanol de cana-de-açúcar, gasolina ou mistura de ambos os combustíveis (DENATRAN, 2015).

Devido à importante participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética brasileira e à crescente preocupação com os impactos ambientais, estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tornam-se importantes para a análise do desempenho ambiental dos sistemas de produção de cana-de-açúcar.

A ACV é uma ferramenta utilizada para avaliar os impactos ambientais causados por um produto ou processo durante todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração de recursos junto à natureza até sua disposição junto ao meio ambiente, incluindo as etapas de transporte de matérias-primas, insumos e do produto em si. Esta ferramenta vem sendo utilizada para gerar informações abrangentes sobre impactos ambientais, auxiliando na detecção de pontos críticos e na obtenção de sistemas mais sustentáveis (SEO E KULAY, 2006).

Uma das etapas fundamentais de um estudo de ACV é a elaboração de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) que englobem todas as entradas e saídas representativas de um sistema de produto. Apesar de existirem inventários de cana-de-açúcar em bases de dados de ACV, poucos representam adequadamente a realidade brasileira. A elaboração destes inventários é um grande desafio, considerando as diferentes regiões produtoras e suas características específicas de clima, solo e nível tecnológico.

Este trabalho considerou importantes adaptações a fim de melhorar a qualidade dos ICV e reduzir as incertezas em estudos de ACV. As principais adaptações estão relacionadas aos ajustes nos modelos de estimativa das emissões; à cobertura geográfica (considerando os diferentes biomas brasileiros); aos ajustes das operações agrícolas (considerando equipamentos de maior porte e melhor rendimento); e a inclusão do impacto de Mudança de Uso da Terra (MUT). Nesse sentido, a elaboração destes inventários permite uma descrição mais

adequada dos processos agrícolas do setor canavieiro no Brasil, possibilitando avaliações mais confiáveis no âmbito da ACV.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O método utilizado neste trabalho foi baseado nos requisitos técnicos das normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009 a, b).

2.1 Definição do objetivo e escopo

Os objetivos deste trabalho foram elaborar inventários da produção de cana-de-açúcar representativos de cada estado produtor da região Centro-Sul do país e gerar o perfil ambiental dos sistemas típicos desta região.

Os sistemas de produto corresponderam aos sistemas de produção de cana-de-açúcar típicos de cada um dos principais estados produtores brasileiros: São Paulo (composto pelos inventários das regiões de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Araçatuba e Piracicaba), Goiás, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. A unidade de análise adotada foi uma tonelada de cana-de-açúcar (TC). O fluxo de referência foi estabelecido com base na produtividade agrícola de cada região.

2.1.1 – Fronteiras do sistema

Os processos incluídos nos sistemas de produto foram: produção de insumos agrícolas; operações agrícolas; e produção de cana-de-açúcar (Figura 1). Não fizeram parte da fronteira do sistema os processos de transporte dos insumos até o canavial e da cana-de-açúcar até a unidade de processamento. Não foram consideradas entradas de operações agrícolas manuais, visto que não trazem consigo nenhuma carga ambiental relevante.

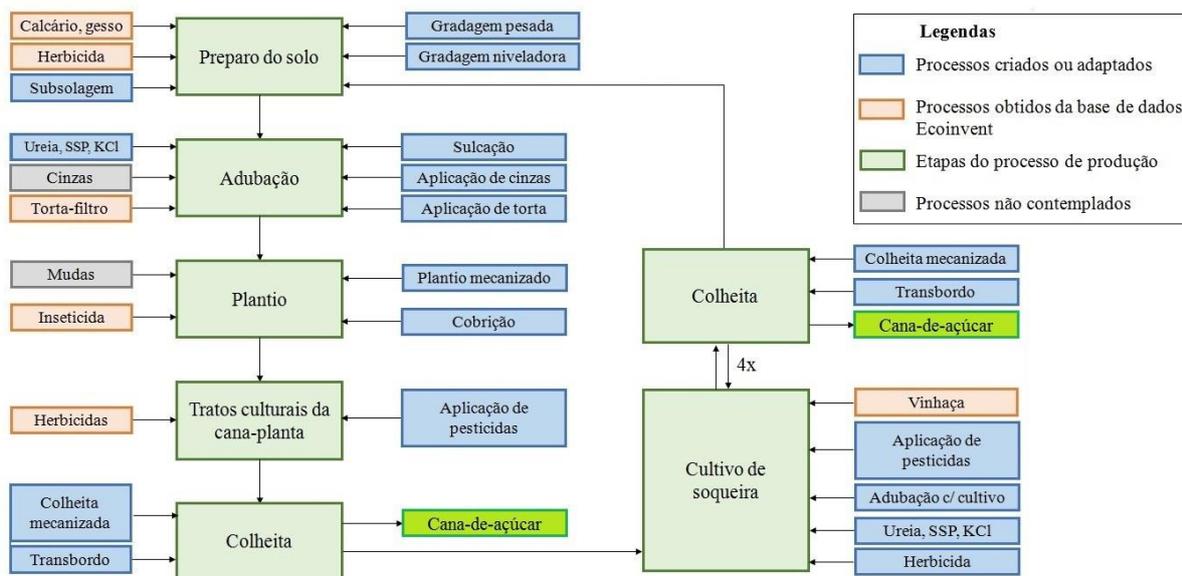


Figura 1 – Fronteiras do sistema considerado para o inventário da produção de cana-de-açúcar. Elaboração própria.

2.1.2 – Fonte de dados

Para os inventários da produção de cana-de-açúcar dos sistemas típicos das regiões estudadas, os dados de entrada foram adaptados a partir dos levantamentos do Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial (IDEA, 2014), com exceção dos dados sobre pesticidas, obtidos por consulta a especialista (MAY, 2015).

Os inventários de operações agrícolas foram gerados por especialistas do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CAVALETT et al., 2016) e consideram equipamentos e coeficientes técnicos representativos da canavicultura brasileira. Os inventários da produção de fertilizantes foram gerados por especialistas do Grupo de Prevenção à Poluição da USP (GP2). Os demais inventários da produção de insumos agrícolas (calcário, gesso e pesticidas) corresponderam aos disponíveis na base de dados ecoinvent v. 3.1.

Os cálculos de emissões foram estimados com base em modelos da literatura científica (CANALS, 2003; GREET, 2010; NEMECEK E SCHNETZER, 2011; NOVAES et al., 2016), adequados para as condições brasileiras. Os principais parâmetros regionalizados neste trabalho são apresentados na Tabela 1, tomando como exemplo a região de Ribeirão Preto.

Tabela 1 – Principais parâmetros adequados nos modelos de emissões. Exemplo do sistema de produção de cana-de-açúcar da região de Ribeirão Preto - SP.

Parâmetro	Valor	Unidade	Fonte
Teor total de N na vinhaça	0,375	kg N/m ³	CGEE, 2012
Profundidade de raiz	0,6	m	MACEDO, 2005
N absorvido pela cultura	1,11	kg N/t cana	DEMATTE, 2004
Precipitação	1094,9	mm/ano	IDEA, 2014
Teor de argila	50	%	IBGE, 2011 (adaptado)
C orgânico no solo ^a	95,01	t C/ha	MELLO et al., 2014 (adaptado)
Quantidade de solo erodido	12400	kg/ha*a	MACEDO, 2005
Quantidade de raiz	8,41	t raiz/ha	BONOMI et al., 2012 & FRANCO, 2008
Quantidade de palha	0,14	t palha/t cana	MACEDO, 2005
Quantidade de N na raiz	5,14	kg N/ t raiz	BONOMI et al., 2012 & FRANCO, 2008
Quantidade de N na palha	4,77	kg N/ t palha	BONOMI et al., 2012 & FRANCO, 2008

^a Para profundidade de 0-50cm.

2.2 Método para a elaboração dos inventários do ciclo de vida

Para que os inventários representassem adequadamente os sistemas de produção de cana-de-açúcar, foi necessário ajustar os dados de entrada e de produção obtidos em IDEA (2014) para um “hectare médio de produção”. Considerou-se que um sistema de produção de ciclo médio de cinco cortes é composto pelas seguintes fases, convertidas em área: implantação ou reforma do canavial; cana-planta; e cana-soca. Foram consideradas as seguintes variáveis, também convertidas em área: (a) proporção de “cana de ano” e “cana de ano e meio”; (b) proporção da área de plantio mecanizado; (c) proporção da área de colheita mecanizada; e (d) proporção da área que recebe aplicação de resíduos agroindustriais.

Para contabilizar a produção de mudas, optou-se por descontá-la da produção total de cana-de-açúcar, de forma similar à feita por Jungbluth et al. (2007). Esta foi uma opção conservadora, visto que a produtividade informada em IDEA (2014) possivelmente já tenha contabilizado esse desconto.

Vinhaça, torta-filtro e cinzas correspondem a resíduos da fase industrial e, por isso, considerou-se apenas a carga ambiental do seu uso agrícola e não de sua

produção. Além disso, não foi considerada a aplicação de potássio em área de aplicação de vinhaça, nem a aplicação de fósforo em área de aplicação de torta-filtro. Quanto aos fertilizantes, considerou-se como única fonte de N, P₂O₅ e KCl os fertilizantes ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Para a composição do inventário da produção de cana-de-açúcar da região Centro-Sul, os ICVs foram agregados em função da produção relativa de cada município ou estado em relação ao total de cana-de-açúcar produzida na região (Tabela 2).

Tabela 2 – Produção total e relativa de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil, na safra 2013/2014.

Região	UF	Produção (t)	Participação Relativa (%)
São Paulo	SP	372.805.910	62,5%
Ribeirão Preto	SP	165.295.060	44,3%
S. J. do Rio Preto	SP	121.750.555	32,7%
Araçatuba	SP	56.903.661	15,3%
Piracicaba	SP	28.856.634	7,7%

Tabela 2 – Produção total e relativa de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil, na safra 2013/2014. - Continuação

Região	UF	Produção (t)	Participação Relativa (%)
Goiás	GO	62.017.740	10,4%
Minas Gerais	MG	60.759.480	10,2%
Paraná	PR	42.230.960	7,1%
Mato Grosso do Sul	MS	41.496.040	7,0%
Mato Grosso	MT	16.948.510	2,8%
Centro-Sul		596.258.640	100%

Fonte: Adaptado de CONAB (2014) e IBGE (2014).

2.3 Método para a avaliação de impactos do ciclo de vida

Para a Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV) foi adotado o método ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World ReCiPe H, desconsiderando-se as categorias de impacto não relevantes ao estudo. Foi usado como software de apoio o SimaPro®, versão 8.1.1.16 e a base de dados ecoinvent v3.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil ambiental da produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul e a contribuição de cada estado pode ser observado na Tabela 3 e Figura 2, respectivamente.

Tabela 3 – Perfil ambiental da produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil.

Categoria de Impacto	Unidade	Valor
Mudanças Climáticas	kg CO ₂ eq	47,70
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	1,87E-06
Acidificação Terrestre	kg SO ₂ eq	0,78
Eutrofização de Água Doce	kg P eq	0,07
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	29,18
Formação de Oxidação Fotoquímica	kg NMVOC	0,29
Formação de Material Particulado	kg PM10 eq	0,47
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq	0,05
Ecotoxicidade de Água Doce	kg 1,4-DB eq	0,12
Ocupação de Terra Agrícola	m ² a	142,61
Transformação de Terra Natural	m ²	4,55E-03
Depleção de Água	m ³	0,09
Depleção de Metais	kg Fe eq	1,22
Depleção de Recursos Fósseis	kg petróleo eq	4,18

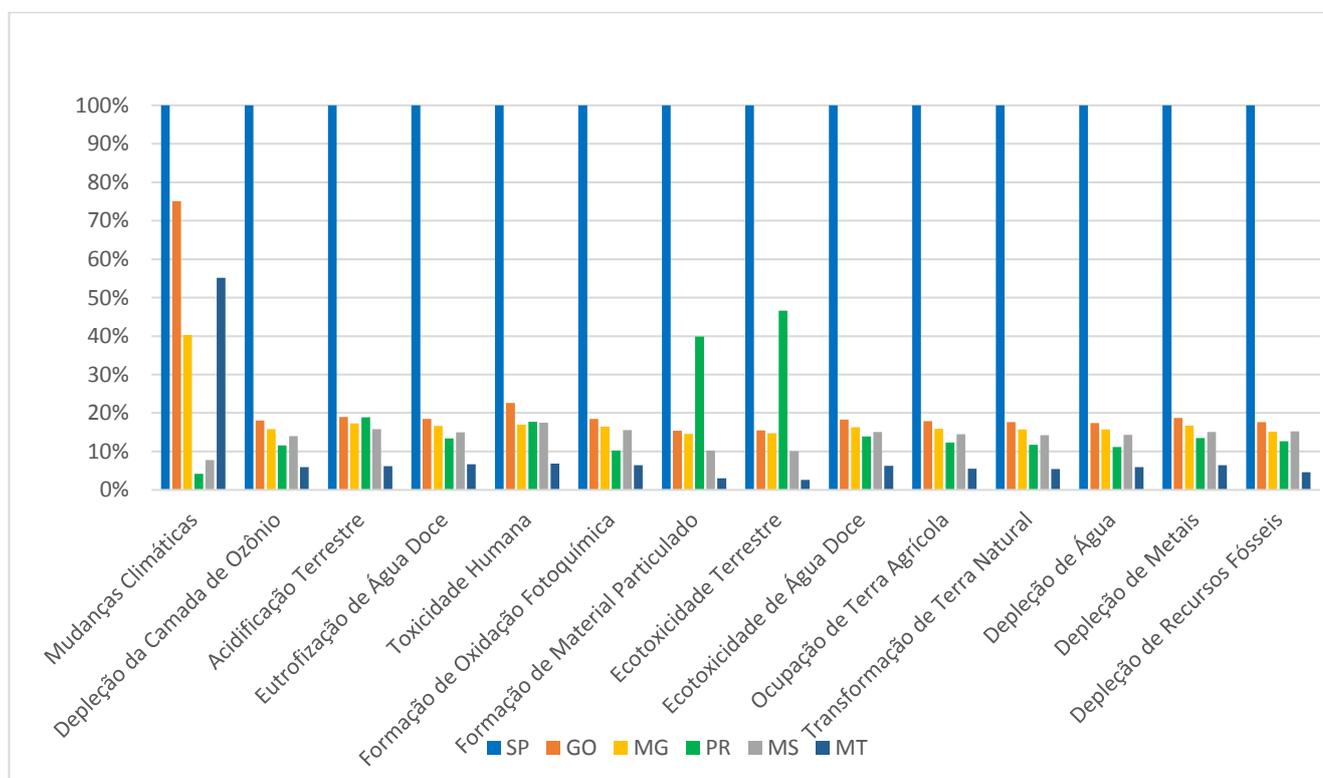


Figura 2 – Impactos ambientais da produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil.

O desempenho ambiental da região Centro-Sul foi obviamente sensível à produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, devido a sua maior participação relativa (62,5%). Além disso, foram contribuintes importantes os parâmetros: produtividade, porcentagem de colheita mecanizada e quantidade de fertilizantes e resíduos industriais aportados ao sistema.

Analisando os resultados da avaliação de impacto ambiental normalizados, observou-se que, dentre as 14 categorias de impacto analisadas, as que mais se destacaram foram Eutrofização de Água Doce, Toxicidade Humana e Formação de Material Particulado. Com importância secundária, destacaram-se as categorias Ecotoxicidade de Água Doce, Acidificação Terrestre e Mudança Climática. É importante lembrar que na AICV também são consideradas as etapas a montante e a jusante do processo em estudo.

Para uma análise mais detalhada, foi avaliado o perfil ambiental do sistema típico de Ribeirão Preto – SP, já que este foi o principal componente do inventário regional (Figura 3).

A principal substância que contribuiu para o impacto Eutrofização de Água Doce foi o fósforo (0,056 Kg P eq/TC) emitido para águas superficiais por erosão. Foi adotado um valor médio para o parâmetro “quantidade de solo erodido” (12400 kg de solo/ ha*a), sem distinção entre as regiões e práticas agrícolas. Vale ressaltar a dificuldade de identificar um valor adequado para este fator. Nesta fase, o processo impactante foi a fase agrícola de produção de cana-de-açúcar (respondendo por 95,0% do impacto). Entende-se por fase agrícola de produção a etapa do ciclo de vida onde ocorre a produção de cana-de-açúcar propriamente dita (compreendendo o uso dos insumos e suas emissões específicas no campo).

Para o impacto de Toxicidade Humana (27,0 kg 1,4 DB eq/TC), as principais contribuições foram das operações agrícolas, mais especificamente a colheita mecanizada (20,0%) e o transbordo (54,9%). O principal contaminante foi o metal pesado cádmio (24,1 kg 1,4 DB eq/TC, emitido para o solo), aportado ao sistema nas etapas de fabricação do maquinário agrícola e durante o uso de fertilizantes no sistema.

A Ecotoxicidade de Água Doce contabilizou 0,11 kg 1,4 DB eq/TC. Nesta fase, as substâncias causadoras de impacto foram cobre (36,9%) e fipronil (23,3%). Os principais processos que responderam por este impacto foram produção de fertilizantes – ureia (26,9%) e cloreto de potássio (15,6%) – e produção agrícola (23,7%). Fipronil, um pesticida usado na fase agrícola, também foi o principal

contribuinte para Ecotoxicidade Terrestre (0,04 kg 1,4 DB eq/TC), com 98,0% do total.

Quanto à Acidificação Terrestre (0,61 kg SO₂ eq/TC), o processo agrícola respondeu por 87,5% deste impacto, gerado principalmente pelas emissões de amônia (82,4% ou 0,58 kg SO₂ eq/TC) e óxidos de nitrogênio (11,7% ou 0,08 kg SO₂ eq/TC) derivadas da aplicação de fertilizante nitrogenado e da queima da palha.

Para Formação de Material Particulado, o processo agrícola contribuiu com 0,34 kg PM₁₀ eq/TC de um total de 0,38 kg PM₁₀ eq/TC. As substâncias mais impactantes foram os particulados <10 um (43,0%) e particulados <2.5 um (25,7%), derivados da queima da palha na operação prévia à colheita manual.

A Formação de Oxidante Fotoquímico forneceu 0,25 kg NMVOC/TC. As principais substâncias causadoras do impacto foram: óxidos de nitrogênio (59,0%) e monóxido de carbono (35,6%). Estes gases foram emitidos principalmente durante fase agrícola (61,4%), devido ao uso de fertilizante e à de queima da palha. Os processos de colheita mecanizada (12,9%), transbordo (7,8%) e produção de ureia (4,1%) também foram impactantes.

As emissões de monóxido de dinitrogênio (15,1 kg CO₂ eq/TC) e metano (12,4 kg CO₂ eq/TC) foram as principais substâncias que contribuíram para Mudança Climática (25,6 kg CO₂ eq/TC). Não houve influência importante das emissões derivadas de MUT, porém para outros estados isto não é verdade, por exemplo, em Mato Grosso estas emissões foram responsáveis por 88,7% do impacto. Respondem por este impacto as fases: produção agrícola (55,1%), produção de ureia (13,6%), colheita mecanizada (10,4%) e transbordo (7,4%). Quanto à Depleção da Camada de Ozônio (1,77E-06 kg CFC-11 eq/TC), as mesmas fases respondem por 30,5%, 19,2%, 14,2%, respectivamente.

A Transformação de Terra Natural está relacionada principalmente à exploração de recursos fósseis, em particular o petróleo, em etapas do ciclo de vida que ocorrem fora do país.

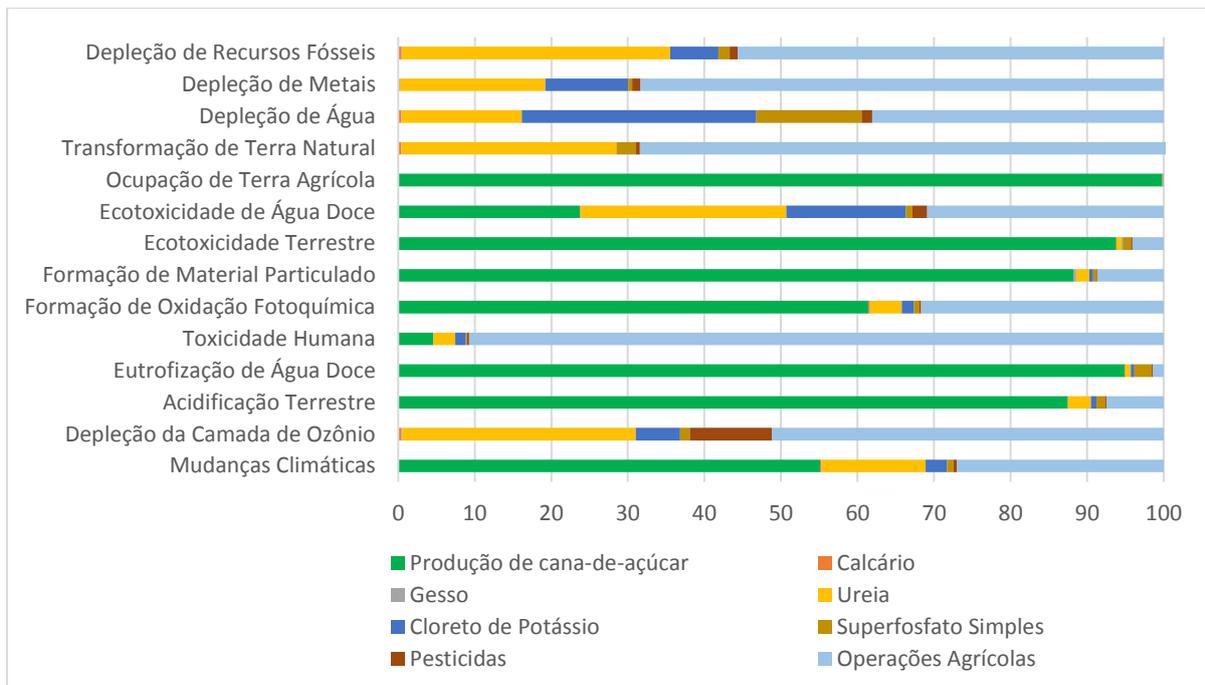


Figura 3 – Perfil ambiental da produção de cana-de-açúcar em Ribeirão Preto, maior região produtora do país.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o perfil ambiental da produção de cana-de-açúcar dos principais estados produtores brasileiros: SP, GO, MG, PR, MS e MT, através de inventários regionalizados e melhor representados.

Os resultados mostraram que o manejo agrícola e as características de solo e clima influenciaram o desempenho ambiental de cada região. Merecem destaque produtividade, porcentagem de colheita mecanizada e quantidade de fertilizantes e resíduos industriais aportados ao sistema. Estes parâmetros afetaram principalmente as categorias Toxicidade Humana, Formação de Material Particulado e Ecotoxicidade de Água Doce. Os parâmetros utilizados para estimativa das emissões de fósforo foram contribuintes importantes para a categoria Eutrofização de Água Doce e ainda precisam ser melhor estimados.

Em suma, confirmou-se a importância da elaboração destes inventários de ciclo de vida regionalizados e seus efeitos nos resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida da cana-de-açúcar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações*. Rio de Janeiro, 2009.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). *Relatório Síntese 2015: Ano base: 2014..* Rio de Janeiro: Epe, 2015. 62 p.

BONOMI, A.; CAVALETT, O.; CARDOSO, T. F.; et al. *Sugarcane Life Cycle Inventory*. Brazilian Bioethanol Science And Technology Laboratory (CTBE). Campinas, 2012. 37 p.

CANALS, L. M. *Contributions to LCA methodology for agricultural systems*. Barcelona, 2003. 250 p. Tesis (Doutorat en Ciències Ambientals) – Unitat de Química Física del Departament de Química de la Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2003.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Sustainability of sugarcane bioenergy*. Brasília - DF, 2012. 336 p. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/publicacoes/sustainability.php>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; CARVALHO, J. L. N.; CARDOSO, T. F.; FRANCO, H. C. J.; BRAUNBECK, O. A.; BONOMI, A. The Agricultural Production Model. In: Antonio Bonomi; Otávio Cavalett; Marcelo Pereira da Cunha; Marco Aurélio Pinheiro Lima. (Org.). *Green Energy and Technology*. 1st Ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2016, p. 13-51.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2015/16*. Terceiro Levantamento. 3. ed. Brasília: CONAB, 2015. 70 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2014/15*. Primeiro Levantamento. 1. ed. Brasília: CONAB, 2014. 25 p.

DEMATTE, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. *Revista Visão Agrícola*, Esalq – USP, Ano 1, Jan. 2004.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. *Frota nacional: Dezembro de 2015*. Disponível em < <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>>. Acesso em: 05 de maio de 2016.

REET. *Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation*, version 1.8d. Argonne National Laboratory. Argonne, Illinois, USA, 2010.

IBGE. *Sistema IBGE de Recuperação Automática*. 2014. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em 2015.

IDEA - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROINDUSTRIAL. *Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: Safras 2012/2013 e 2013/2014*. Ribeirão Preto: Grupo Idea, 2014.

IPCC. 2006 *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Japan, 2006.

JUNGBLUTH N., CHUDACOFF M., DAURIAT A., et al. *Life Cycle Inventories of Bioenergy*. Final report ecoinvent data v2.0 No. 17. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.

MACEDO I. C. *Sugarcane's energy: Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability*. Berlendis & Vertecchia: UNICA, São Paulo, 2005.

MAY, A. 2015. *Recomendação técnica pesticidas cana*. 08 de junho de 2015.

MELLO, F. C. et al. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 4, n. 7, p.605-609, 8 jun. 2014. *Nature Publishing Group*. DOI: 10.1038/nclimate2239. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v4/n7/full/nclimate2239.html>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. *Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems*. Zurich, Data v3.0, 2012. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/fileadmin/talkpages/pages/01-01-crop-production/01_crop_production_-_direct_field_emissions___natural_resources_v1.1.pdf> Acesso em: 28 jan. 2015.

NOVAES, R.M.L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; LUIZ, A. J. B.; et al. Parâmetros para estimativa de emissões decorrentes de mudança de uso da terra para inventários de ciclo de vida de produtos agropecuários. In: *Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida*, 5. Fortaleza - CE. Anais. 2016.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

SEO, E.S.M e KULAY, L.A. *Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão*. Interfacehs, 2006.