

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS FÍSICOS, BIÓTICOS E ANTRÓPICOS DE USINAS SUCROENERGÉTICOS DE MINAS GERAIS

William Correa¹, Alexandre André Feil²

Resumo: Este estudo mensurou e avaliou os impactos benéficos e maléficos causados ao meio físico, biótico e antrópico pelas usinas sucroenergéticas de Minas Gerais. A metodologia empregada vincula-se a qualiquantitativa, descritiva e estudo de caso com auxílio do procedimento técnico *survey*, em especial, o questionário. A unidade de análise é composta por cinco usinas sucroenergéticas. Os principais resultados, de um lado, apontam maior grau de impactos negativos no meio físico e biótico, em especial, pela contaminação de recursos hídricos, liberação de partículas a atmosfera e lesões a animais. Estes impactos negativos ocorrem em sua maioria na etapa do plantio e colheita da cana-de-açúcar. O impacto positivo, por outro lado, com maior assiduidade relaciona-se ao meio antrópico na geração de empregos, novas tecnologias e qualidade de vida. Conclui-se que esta ferramenta utilizada na forma de questionário para mensurar os impactos benéficos e maléficos nas usinas sucroenergéticas apresentou-se eficaz para gerenciar os impactos no meio físico, biótico e antrópico.

Palavras-chave: Etanol. Cana-de-açúcar. Energias renováveis. Meio Ambiente.

INTRODUÇÃO

A demanda por energia, em nível mundial, está crescendo diariamente, que pode ser reflexo do aumento da industrialização e da população (GUPTA; VERMA, 2015). A energia é um meio de subsistência essencial para o crescimento e desenvolvimento da população de forma contínua nos tempos modernos (HUSSAIN; ARIF; ASLAM, 2017). Na atualidade a principal fonte energética é o combustível fóssil, por exemplo, gás natural, petróleo, carvão,

1 Docente e coordenador na Faculdade do Noroeste de Minas (FINOM), Mestrado em Sistemas Ambientais Sustentáveis (PPGSAS) pela Universidade do Vale do Taquari – Univates, william.correa03@gmail.com.

2 Docente e pesquisador permanente no Programa de Pós-graduação em Sistemas Ambientais Sustentáveis (PPGSAS) na Universidade do Vale do Taquari – Univates, Doutorado em Qualidade Ambiental pela Universidade Feevale, alexandre.feil1@gmail.com.

entre outros, que são considerados como fontes não renováveis. Entretanto, o seu uso causou aquecimento global, poluição do ar, impactos a vida aquática, malefícios a saúde humana, entre outros (HORST; HOVORKA, 2009).

As fontes de energia renovável, por outro lado, possuem a capacidade de fornecimento de energia sem as consequências relacionadas aos malefícios causados pela energia não renovável e, além disso, são considerados inesgotáveis (PANWAR; KAUSHIK; KOTHARI, 2011). Estas fontes renováveis já representam 23,7% do total da energia global, e são provenientes, por exemplo, da energia solar, energia geotérmica, energia de biomassa, energia eólica, entre outras (REN21, 2016). Um dos principais combustíveis renováveis relaciona-se ao etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, pois caracteriza como energia limpa, acessível e gera baixo nível de carbono (FIGUEIREDO et al., 2017). O Brasil e os EUA são os principais produtores de etanol, em nível global, a partir da cana-de-açúcar e do milho (GUPTA; VERMA, 2015).

A energia renovável advinda do etanol pode ser considerada limpa, mas para isto todo processo deve ser limpo, desde a preparação do solo para plantio da cana-de-açúcar até a destinação dos resíduos pelas usinas sucroenergéticas (SILALERTRUKSA; PONGPAT; GHEEWALA, 2017). O processo produtivo de etanol, a partir da cana-de-açúcar, inicia na recepção, passa pela lavagem, moagem, tratamento do suco, cozimento e centrifugação, fermentação, destilaria e desidratação, e finaliza com a destinação final dos resíduos gerados (GONÇALES FILHO *et al.*, 2018).

As consequências relacionadas a produção de etanol podem abranger as alterações climáticas, acidificação do solo, toxicidade humana, materiais particulados, ecotoxicidade, entre outros (SILALERTRUKSA; PONGPAT; GHEEWALA, 2017). Além disso, Rebelato et al. (2019) acrescentam que em toda a extensão da produção do etanol, considerando a etapa agrícola e industrial, gera resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões gasosas, entre outros. Os resíduos gerados pelas usinas produtoras de etanol estão relacionados a vinhaça, cinzas, bagaço, torta de filtro, efluentes de lavagem de tanques, entre outros (REBELATO *et al.*, 2019).

A mensuração e avaliação dos impactos ambientais pode ser realizado mediante a ferramenta Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), que representam métodos estruturados para identificar, coletar, organizar e apresentar as informações de forma compreensível e objetiva (MORAES; D'ÁQUINO, 2016). A mensuração e avaliação dos impactos ambientais nas usinas sucroenergéticas, no Brasil, é escassa. Neste sentido, apresenta-se brevemente os estudos localizados, a saber, Gallardo e Bond (2010) avaliaram os cuidados ambientais com viés sustentável de usinas sucroenergéticas de SP; Raupp *et al.* (2015) estudaram os indicadores de desempenho ambiental nas usinas; Dias, Binotto e Silva (2015) identificaram o perfil e atribuições relacionados aos técnicos e profissionais de licenciamentos de impactos ambientais em usinas sucroenergéticas; Pugliese, Lourencetti e Ribeiro (2017)

compilaram os principais impactos ambientais das usinas; Schmidt Filho *et al.* (2016) avaliaram os atributos relacionados ao solo e a umidade; e entre outros.

Os estudos recentes sobre a avaliação de impactos no âmbito das usinas sucroenergéticas estão centrados na avaliação e descrição dos impactos ambientais, neste sentido, raramente incluem os impactos sociais e econômicos. Além disso, a ênfase das avaliações está vinculada aos impactos negativos, mas também podem existir impactos positivos no âmbito social e econômico. Neste contexto, este estudo objetiva mensurar os impactos benéficos e maléficos no meio físico, biótico e antrópico de cinco usinas sucroenergéticas de Minas Gerais, Brasil.

REFERENCIAL TEÓRICO

IMPACTOS AMBIENTAIS E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

O impacto ambiental é “[...] qualquer modificação no meio ambiente, adversa ou benéfica que resulte no todo, ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização” (NBR ISO 14.001, 2015, p. 2). O CONAMA (1986) define o impacto ambiental como [...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente [...].

O impacto ambiental pode ser entendido como a modificação no meio ambiente causada pela ação da humanidade (DIAS, 2011). Este termo é utilizado, em especial, para especificar os aspectos negativos causados pela humanidade ao meio ambiente, porém o impacto ambiental também pode apontar aspectos positivos, ou seja, um impactos pode afetar de forma benéfica o meio ambiente (MENEGUZZO; CHAICOUSKI, 2010).

Os impactos ambientais, nesta lógica, podem ser classificados quanto seus potenciais, segundo Weitzenfeld (1996) e CONAMA (1986): a) Impactos: Benéficos ou prejudiciais, planejados ou acidentes, diretos ou indiretos; b) Tempo de duração: Curtos ou de longo prazo, temporários ou contínuos, reversíveis e irreversíveis; d) Área de abrangência: Local, regional, nacional, internacional; e) Potencial de mitigação: Mitigáveis ou não mitigáveis; e f) Acidentes: Gravidade e Probabilidade.

As definições de impacto ambiental e degradação ambiental são distintas. A degradação ambiental é considerada uma tarefa difícil para definição (ADJEI; BUOR; ADDRAH, 2017). Entretanto, Brasil (1981) tenta definir a degradação ambiental como “[...] a alteração adversa das características do meio ambiente”. Neste sentido, a degradação ambiental advém da utilização dos recursos do meio ambiente pela humanidade sem preocupações em relação a sustentabilidade, que pode gerar um esgotamento dos recursos ambientais em distintos níveis (RUBIRA, 2016).

A Millennium Ecosystem Assessment (2005) enfatiza que a degradação ambiental acontece quando os recursos naturais permanecem, mas perdem a capacidade de fornecimento dos serviços do ecossistema ou sofrem alterações significativas na composição das espécies. Neste sentido, esta definição vincula-se ao declínio de longo prazo dos estoques e na capacidade produtiva dos recursos naturais renováveis em uma determinada área geográfica (ADJEL; BUOR; ADDRAH, 2017).

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAL

Os métodos de avaliação de impacto ambiental apresentados nesta seção, são os mais citados na literatura, a saber: a) *Ad Hoc*; b) *Checklists*; c) Matrizes de Interação; d) Redes de Interação; e) Superposição de Cartas; f) Modelos de Simulação; g) Métodos Quantitativos; e entre outros. Sendo assim, na sequência apresenta-se a definição básica de cada um destes métodos.

O método *ad hoc* utiliza-se de grupos de trabalho de distintas áreas de formação profissional (multidisciplinares), que apresentam suas opiniões baseadas na experiência para a elaboração de um relatório que relaciona o projeto e seus impactos ambientais (CARVALHO; LIMA, 2010). As vantagens do *ad hoc* centram-se no seu fácil desenvolvimento com reduzida disponibilidade de tempo e em casos onde há escassez de informações (ARAÚJO; COTT, 2011). Entretanto, ainda destacam que possui significativa subjetividade dos resultados e dependem da qualidade do grupo de especialistas. O método *Delphi* (ou método *Delfos*) é um dos exemplos mais conhecidos do método de *ad hoc*.

O método *checklist* consiste na identificação e enumeração dos impactos, a partir da diagnose ambiental, realizada por especialistas das áreas dos meios físico, biótico e socioeconômico (COSTA; CHAVES; OLIVEIRA, 2005). Esse método tem como principal vantagem reunir os mais prováveis impactos positivos e negativos (GALLARDO, 2004). Entretanto, o *checklist* não identifica impactos diretos, não considera características temporais dos impactos, não considera a dinâmica dos sistemas ambientais e não indica a magnitude dos impactos, além de obter resultados subjetivos (CARVALHO; LIMA, 2010).

O método de matrizes de interação permite associar as ações organizacionais às características ambientais de sua área de influência, através de uma listagem bidimensional (CREMONEZ *et al.*, 2014). A Matriz de *Leopold* foi uma das primeiras ferramentas no formato de matriz feita para avaliar os impactos ambientais e é composta do cruzamento de 88 componentes (ou fatores) ambientais e 100 ações potencialmente alteradoras do ambiente, resultando em 8.800 quadrículas (SÁNCHEZ, 2008). Nestas quadrículas são indicados algarismos que variam entre 1 e 10, correspondendo, à magnitude e à importância do impacto. O sinal (+) ou (-) na frente dos números indica se o impacto é, respectivamente, benéfico ou adverso. Este método também apresenta

risco da subjetividade. Pereira e Bórem (2007) salientam que a vantagem deste método possibilita a comparação entre várias alternativas de intervenção e abrangente, pois envolve o meio físico, biológico e socioeconômico.

As redes de interação consistem na visualização entre ação e impacto, sejam eles diretos ou indiretos, indicando medidas de mitigação e controle (CREMONEZ *et al.*, 2014). Além disso, estabelece relações do tipo causa-condição-efeito que propicia uma apreciável e sucinta identificação dos impactos e suas inter-relações (FINUCCI, 2010). As redes de interação estabelecem a sucessão de impactos ambientais gerados por uma ação, através de quadros e diagramas que permitem traçar um conjunto de ações (SANTOS, 2010).

O método superposição de cartas pode ser utilizado em sistemas geográficos, pois caracteriza-se como uma superposição de imagens (RODRIGUES, 1998). A intensidade da cor nos mapas varia de acordo com a gravidade dos impactos ambientais. Esses mapas quando integrados produzem a síntese da situação ambiental de uma determinada área geográfica, podendo ser elaborados de acordo com os conceitos de vulnerabilidade ou potencial dos recursos ambientais (CREMONEZ *et al.*, 2014).

Os modelos de simulação permitem representar matematicamente a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambientais (PEREIRA; BORÉM, 2007). Este método é útil em projetos de usos múltiplos e pode ser aplicado mesmo depois do início das operações de um projeto (CARVALHO; LIMA, 2010). A limitação deste método é a simplificação de todas as características do meio em um modelo matemático (PEREIRA; BORÉM, 2007).

Os métodos quantitativos trabalham com a associação de números e valores para as considerações avaliadas qualitativamente (CREMONEZ *et al.*, 2014). Os métodos quantitativos têm como principal qualidade a eliminação da subjetividade envolvida nas análises. No entanto, tal característica pode, muitas vezes, comprometer a flexibilidade do instrumento (SOUZA, 2000). Carvalho e Lima (2010) acrescentam ainda que os métodos quantitativos buscam associar valores aos aspectos qualitativos e para aplicação deste método faz-se necessário a utilização de equipes multidisciplinares, o que favorece a diminuição da subjetividade da avaliação.

PROCESSO PRODUTIVO DAS USINAS SUCROENERGÉTICAS

O ciclo produtivo da cana-de-açúcar inicia no plantio, passa pela queima e corte que pode ser manual ou mecanizada e transportada para lavagem e moagem ou difusão, nesta etapa é gerado o bagaço que é enviado à caldeira para geração de energia elétrica (CAMELINI, 2011, p.15).

Na moagem, o caldo passa pelo tratamento químico por sulfitação e calagem e enviado para decantação. Nesta etapa, retira-se o lodo conhecido como torta de filtro e a saída da decantação já com o caldo purificado é

conduzido à fabricação do etanol ou açúcar. No processo de produção do etanol tem a adição de levedura, gerando o vinho fermentado que é enviado para a destilação gerando a vinhaça (MARTINS; OLIVETTE; NACHILUK, 2011). Ao final, desta etapa, é gerado o produto álcool, em seu estado de produto pronto (CAMELINI, 2011).

Andrade e Diniz (2007) salientam que um dos principais problemas do setor sucroalcooleiro é a prática da queima da palha da cana-de-açúcar como método facilitador da colheita. As queimadas da palha da cana-de-açúcar também causam impacto sobre a fauna, uma vez que o canavial serve muitas vezes de refúgio aos animais, oferecendo abrigo e alimento, porém com a prática da queimada muitos desses animais que utilizam o canavial como refúgio acabam morrendo (LANGOWSKI, 2007).

Ribeiro e Pesquero (2010) salientam que a proibição da queima da cana-de-açúcar representa um dilema socioambiental, pois ao mesmo tempo que sua proibição se faz necessária para garantir a sustentabilidade ambiental do setor, além de prevenir doenças respiratórias que a queima venha a causar. No entanto, essa mesma proibição pode desaparecer com milhares de empregos no campo, uma vez que a colheita passa a ser mecanizada, gerando assim a insustentabilidade social e espacial. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar é uma solução para acabar com a queima, porém os cortadores de cana-de-açúcar preferem cortá-la queimada mesmo com os altos níveis de fuligem que são emitidos (RIBEIRO; PESQUERO, 2010).

RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO PRODUTIVO DA CADEIA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Os resíduos gerados na produção de álcool relacionam-se a vinhaça, bagaço, torta de filtro, fuligem da queima da palha, entre outros (FERREIRA *et al.*, 2018).

A vinhaça é um resíduo da produção de álcool e apresenta elevadas concentrações de nitrato, potássio e matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2007). Neste sentido, a vinhaça constitui o principal resíduo da industrialização da cana-de-açúcar que possui um elevado potencial de poluidor quando lançada em cursos d'água, em função da Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO) e concentração de sais como o potássio (SILVA; FERREIRA, 2008). Entretanto, a vinhaça também pode ser utilizada como fertilizante, dependendo da concentração, pois auxilia na redução do uso de fertilizantes químicos, aumenta a matéria orgânica e a umidade do solo (SILALERTRUKSA; PONGPAT; GHEEWALA, 2017).

O bagaço da cana-de-açúcar é composto basicamente por fibras e água e a sua destinação mais comum é a cogeração de energia elétrica, podendo ainda ser destinado à lavoura como adubo e à produção de ração animal, por exemplo, de aglomerados e de celulose (RODRIGUES *et al.*, 2014). O bagaço

pode apresentar um efeito poluidor nos recursos hídricos em função da degradação da celulose, lignina e da hemicelulose, aumentando os níveis de DBO (REBELATO *et al.*, 2016).

As cinzas são o resultado da bioeletricidade e consistem principalmente de sílica (SiO_2), que indica seu potencial como adição mineral. A quantidade de cinzas geradas nas usinas brasileiras, pela cogeração de energia, chega a 2,5 milhões de toneladas por ano e isso corresponde a aproximadamente 6% da produção do cimento no Brasil (FAIRBAIRN *et al.*, 2010). As cinzas geradas a partir da queima da cana-de-açúcar é estável e não tóxica, entretanto, tem potencial de poluição dos recursos hídricos (REBELATO *et al.*, 2016).

A torta de filtro é um subproduto gerado após a filtração do caldo e compreende um subproduto que é composto de 12 elementos, por exemplo, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros (RODRIGUES *et al.*, 2014). Neste sentido, a torta de filtro possui elevado potencial de poluição, em especial, aos recursos hídricos (REBELATO *et al.*, 2016).

Rebelato *et al.* (2019) apresentam uma compilação de 17 resíduos/subprodutos gerados na industrialização do etanol a partir da cana-de-açúcar. Os resíduos/subprodutos não detalhados no Quadro 1 correspondem aos gases gerados pela queima do bagaço, efluentes do tratamento de gases de combustão, levedura seca, *Phlegmasse*, óleo de fusel, óleos lubrificantes de fábrica, efluentes para lavagem de tanques, efluentes para lavagem de pisos e equipamentos, resíduos de laboratório, lâmpadas queimadas, sucata de metal e baterias (REBELATO *et al.*, 2019).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA E UNIDADE DE ANÁLISE

A pesquisa é quali-quantitativa, descritiva, *survey* (questionário) e estudo de caso múltiplo. As unidades de análise correspondem a cinco usinas sucroenergéticas localizadas em Minas Gerais/MG, Brasil. Destas cinco usinas, duas são produtoras de álcool, açúcar e energia termoelétrica e as demais produzem álcool e energia termoelétrica.

A escolha das usinas a serem pesquisadas justifica-se pela localização, facilitando o acesso, além da receptividade, uma vez que os administradores se mostraram dispostos a colaborar com o estudo, fornecendo as informações necessárias e permitindo as visitas nas unidades de produção.

COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

O método de mensuração do impacto ambiental utilizado foi uma combinação das matrizes de interação (Matriz de *Leopold*) e o quantitativo. A matriz de interação teve como base os estudos de Moreira (1985) e Silva

(1999). A utilização desta combinação de métodos foi definida para abarcar no momento da mensuração os aspectos qualitativos e quantitativos em nível de impacto no meio físico, biótico e antrópico.

A unificação dos modelos foi validada por um grupo de *ad hoc*, composta por quatro doutores, que atuam em pesquisas vinculadas a temática sobre impactos ambientais. Os validadores sugeriram alterações na ferramenta e estas foram inseridas na estrutura do modelo. O estabelecimento dos critérios de avaliação qualitativa (*status*) e quantitativa (valor) foram utilizados da Matriz de *Leopold*, onde o *status* do impacto pode ser positivo ou negativo e o valor é de 0 (nenhum) a 5 (Muito alto).

A matriz de integração elaborada neste estudo, e denominada de Matriz Correa, foi enviada para as cinco usinas sucroenergéticas para ser preenchida pelos gestores e diretores. O período de preenchimento ocorreu de março a abril de 2019. O retorno das informações coletadas nas cinco usinas foram tabuladas com auxílio de planilhas eletrônicas para gerar gráficos ilustrativos.

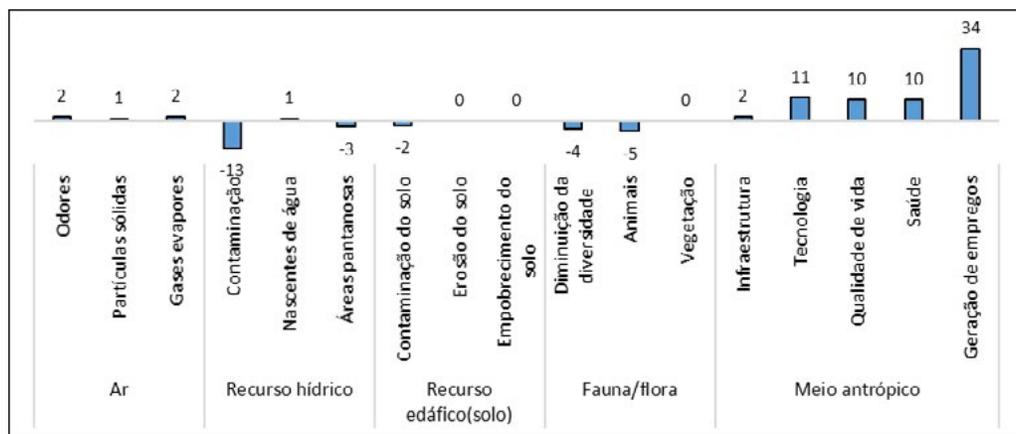
RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, a seção 4.1 apresenta os principais resultados de cada usina sucroenergética e na seção 4.2 demonstra-se uma análise conjunta das usinas e suas discussões.

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AO MEIO FÍSICO, BIÓTICO E ANTRÓPICO

A análise dos resultados da Usina 1 revelam que há uma contaminação dos recursos hídricos e os aspectos positivos concentram-se no meio antrópico, em especial, a geração de empregos (GRÁFICO 1).

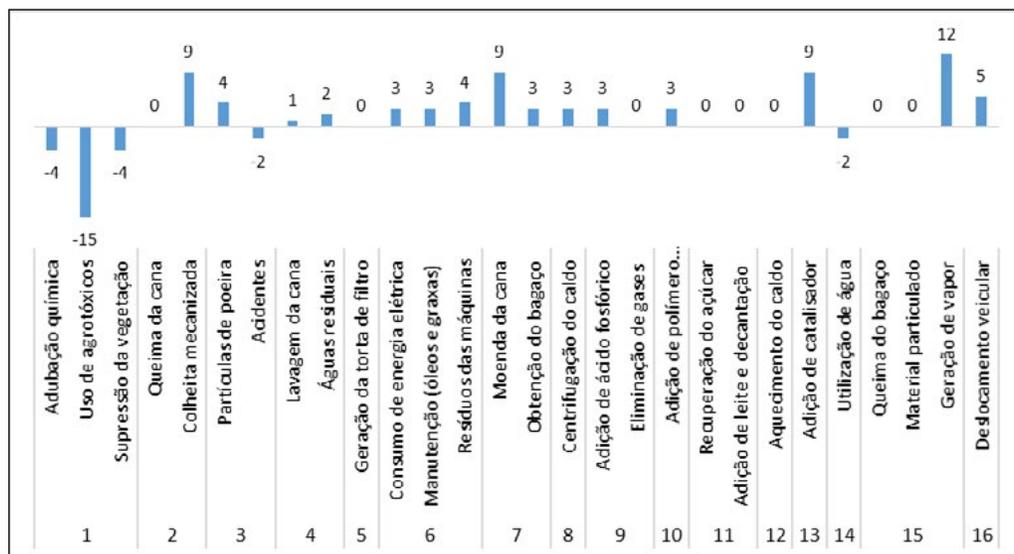
Gráfico 1 – Meios físicos, bióticos e antrópicos da Usina 1



Legenda: Os valores foram somados para fins de avaliação em todos os gráficos desta seção.

A contaminação dos recursos hídricos ocorre nas atividades de plantio (1), tratamento p/açúcar e álcool (5) e processamento geral da cana-de-açúcar (6) (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – Etapas e atividades da Usina 1



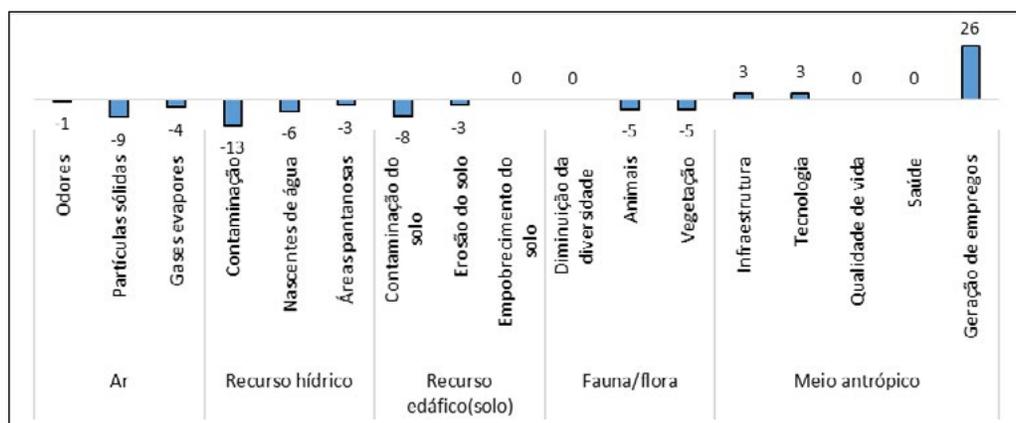
Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: (1) Plantio, (2) Colheita, (3) Transporte, (4) Preparo da cana-de-açúcar, (5) Tratamento p/açúcar e álcool, (6) Processamento geral da cana de açúcar, (7) Extração do caldo da cana-de-açúcar (8) Tratamento físico do caldo, (9) Tratamento químico do caldo, (10) Decantação, (11) Filtração do lodo com resíduo, (12) Esterilização do caldo puro, (13) Fermentação alcoólica, (14) Destilação alcoólica, (15) Geração de energia (16) Armazenamento e distribuição.

A geração de empregos ocorre nas etapas de processamento geral da cana-de-açúcar (7), extração do caldo da cana-de-açúcar (8), Tratamento físico do caldo (9) e Tratamento químico do caldo (10).

Na Usina 2 os impactos nocivos também centram-se na contaminação dos recursos hídrico e, além disso, partículas sólidas, contaminação do solo, vegetação e animais (GRÁFICO 3).

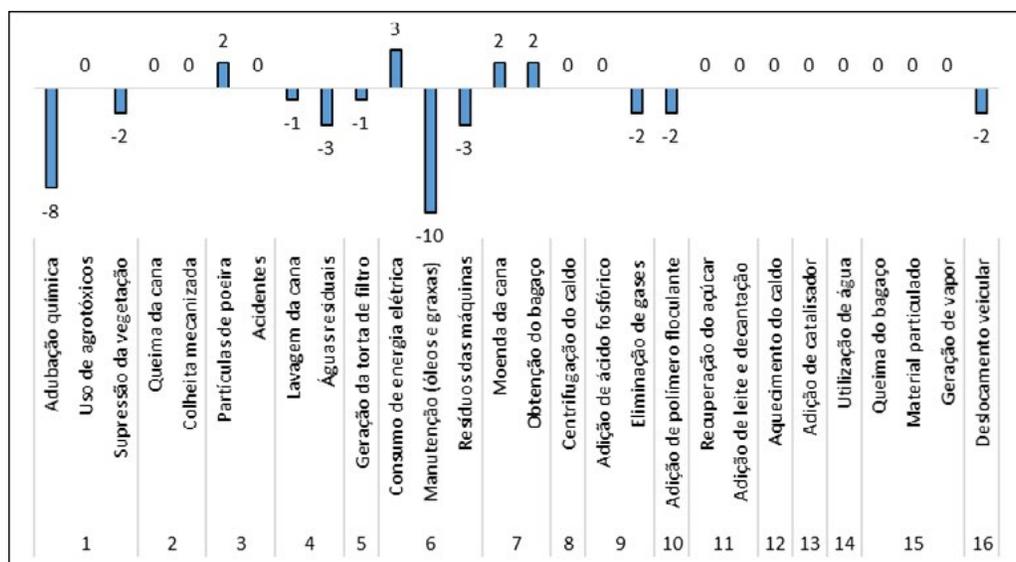
Gráfico 3 – Meios físicos, bióticos e antrópicos da Usina 2



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os impactos positivos vinculam-se a geração de empregos. As etapas com maior impacto negativo centram-se no plantio (1) e ao Tratamento p/ açúcar e álcool (6) (GRÁFICO 4).

Gráfico 4 – Etapas e atividades da Usina 2

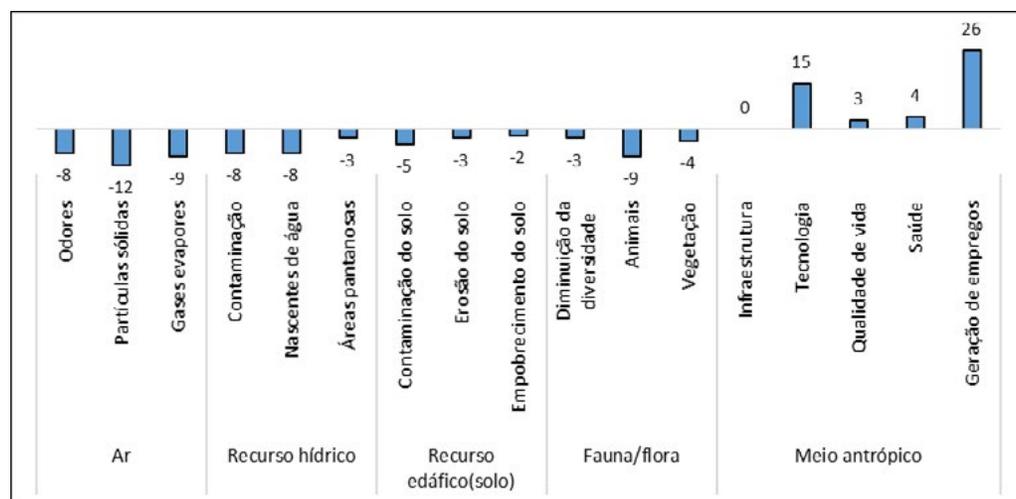


Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: (1) Plantio, (2) Colheita, (3) Transporte, (4) Preparo da cana-de-açúcar, (5) Tratamento p/açúcar e álcool, (6) Processamento geral da cana de açúcar, (7) Extração do caldo da cana-de-açúcar (8) Tratamento físico do caldo, (9) Tratamento químico do caldo, (10) Decantação, (11) Filtração do lodo com resíduo, (12) Esterilização do caldo puro, (13) Fermentação alcoólica, (14) Destilação alcoólica, (15) Geração de energia (16) Armazenamento e distribuição.

As informações coletadas na Usina 3 revelam que há complicações no meio físico e biótico, em especial, das partículas sólidas, odores e gases e vapores no ar, contaminação de recursos hídricos e nascentes de água, animais, entre outras (GRÁFICO 5). O meio antrópico foi beneficiado positivamente frente a questão da tecnologia e geração de empregos.

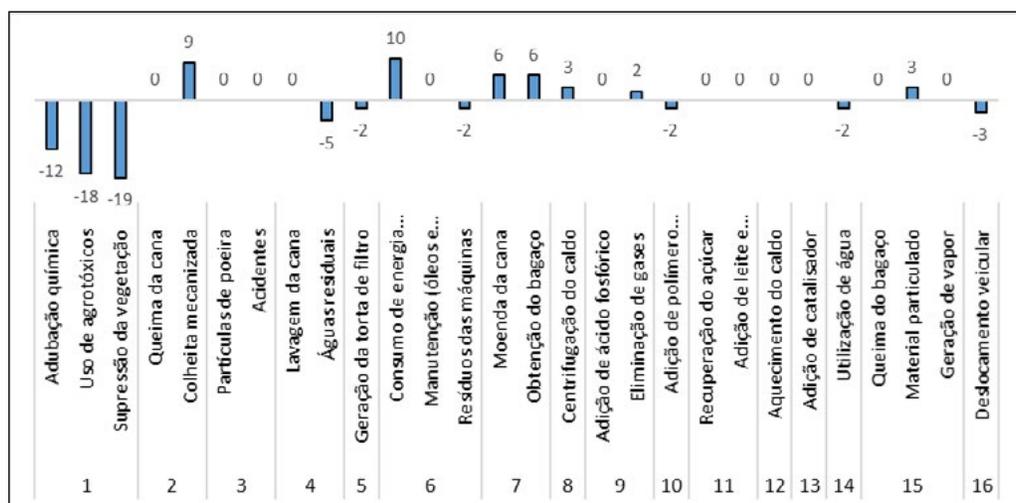
Gráfico 5 – Meios físicos, bióticos e antrópicos da Usina 3



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os aspectos negativos da Usina 3 quanto ao meio físico e biótico estão centrados na etapa do plantio da cana-de-açúcar (1), nas atividades da adubação química, uso de agrotóxicos para combater pragas e a supressão da vegetação natural (GRÁFICO 6).

Gráfico 6 – Etapas e atividades da Usina 3

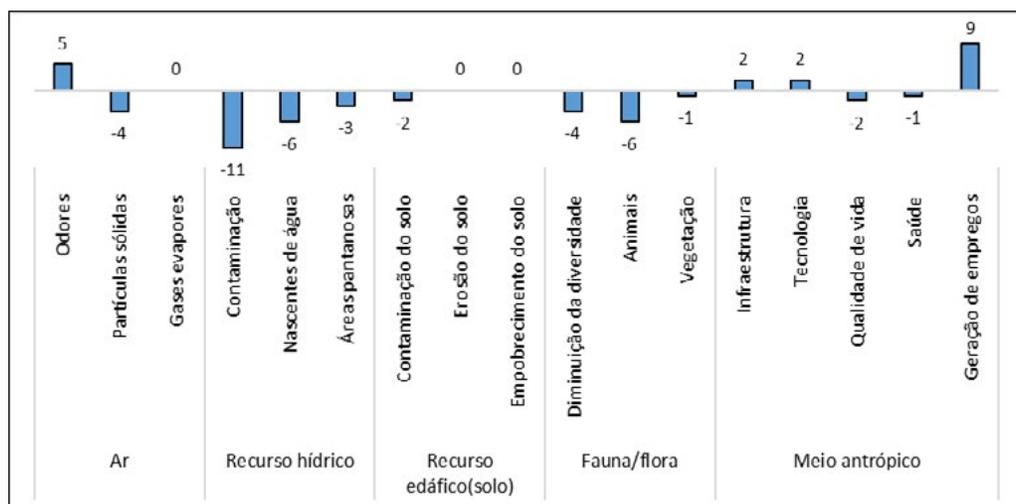


Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: (1) Plantio, (2) Colheita, (3) Transporte, (4) Preparo da cana-de-açúcar, (5) Tratamento p/açúcar e álcool, (6) Processamento geral da cana de açúcar, (7) Extração do caldo da cana-de-açúcar (8) Tratamento físico do caldo, (9) Tratamento químico do caldo, (10) Decantação, (11) Filtração do lodo com resíduo, (12) Esterilização do caldo puro, (13) Fermentação alcoólica, (14) Destilação alcoólica, (15) Geração de energia (16) Armazenamento e distribuição.

A Usina 4 revela impactos negativos, em especial, nos recursos hídricos e na fauna e flora (GRÁFICO 7).

Gráfico 7 – Meios físicos, bióticos e antrópicos da Usina 4

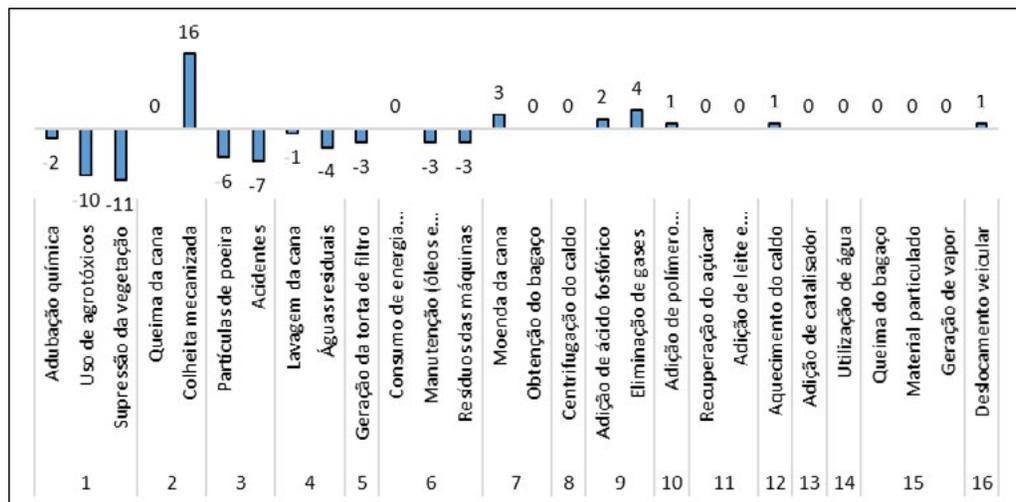


Fonte: Elaborado pelos autores.

Os aspectos negativos da Usina 4 detectados no Gráfico 7, ocorrem na sua maioria no plantio da cana-de-açúcar (1), no transporte (3), no preparo da cana-de-açúcar (4), no tratamento p/açúcar e álcool (5) e no processamento geral da cana-de-açúcar (6), conforme Gráfico 8.

A etapa da colheita mecanizada na Usina 4 obteve um resultado positivo, em especial, no meio antrópico (qualidade de vida, saúde, tecnologia e infraestrutura) e no meio biótico (animais e vegetação).

Gráfico 8 – Etapas e atividades da Usina 4

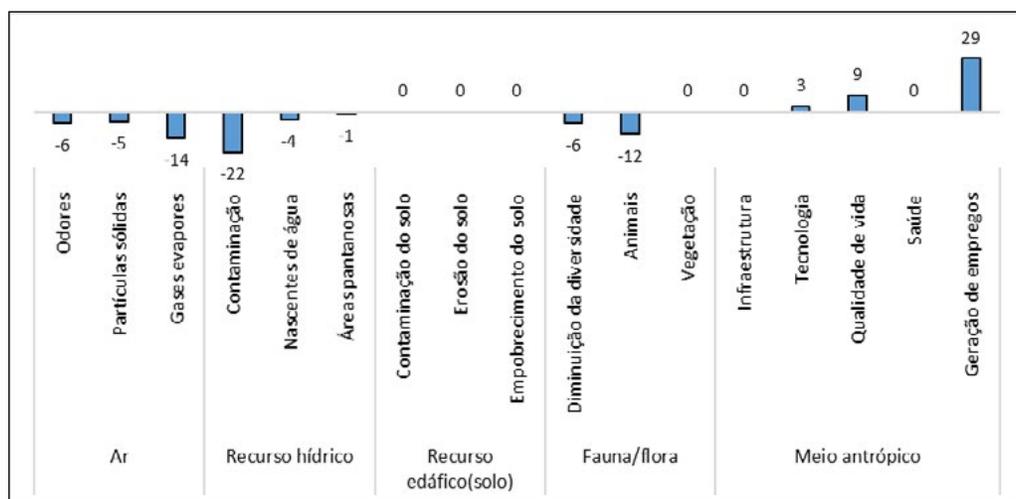


Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: (1) Plantio, (2) Colheita, (3) Transporte, (4) Preparo da cana-de-açúcar, (5) Tratamento p/açúcar e álcool, (6) Processamento geral da cana de açúcar, (7) Extração do caldo da cana-de-açúcar (8) Tratamento físico do caldo, (9) Tratamento químico do caldo, (10) Decantação, (11) Filtração do lodo com resíduo, (12) Esterilização do caldo puro, (13) Fermentação alcoólica, (14) Destilação alcoólica, (15) Geração de energia (16) Armazenamento e distribuição.

A Usina 5 apresentou impactos negativos mais relevantes na contaminação dos recursos hídricos, gases e vapores, lesões a animais, entre outros (GRÁFICO 9). O meio antrópico apresentou o aspecto positivo, na qualidade de vida e na geração de empregos.

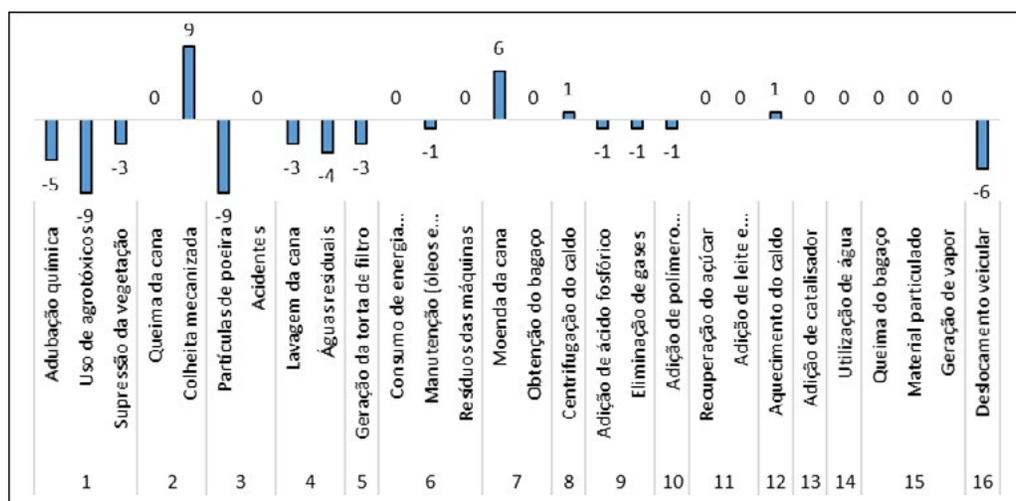
Gráfico 9 – Meios físicos, bióticos e antrópicos da Usina 5



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os impactos negativos da Usina 5 relacionam-se as etapas do plantio da cana-de-açúcar (1), as partículas de poeira referente ao transporte (3), preparo da cana-de-açúcar (4), entre outros de menor intensidade, conforme demonstrado no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Etapas e atividades da Usina 5



Fonte: Elaborado pelos autores.

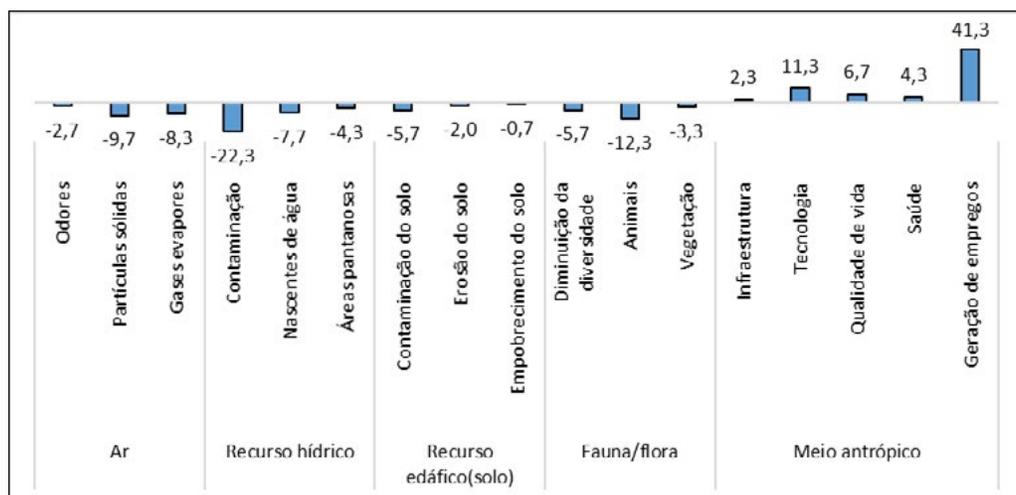
Legenda: (1) Plantio, (2) Colheita, (3) Transporte, (4) Preparo da cana-de-açúcar, (5) Tratamento p/açúcar e álcool, (6) Processamento geral da cana de açúcar, (7) Extração do caldo da cana-de-açúcar (8) Tratamento físico do caldo, (9) Tratamento químico do caldo, (10) Decantação, (11) Filtração do lodo com resíduo, (12) Esterilização do caldo puro, (13) Fermentação alcoólica, (14) Destilação alcoólica, (15) Geração de energia (16) Armazenamento e distribuição.

A usina sucoenergética que apresenta menor impacto negativo no meio físico e biótico é a Usina 1, entretanto, a Usina 5 possui o maior impacto negativo. Na Usina 1 a cogeração de energia elétrica, por meio do bagaço da cana-de-açúcar, teve maior eficiência no processo em função do investimento em tecnologias capazes de aperfeiçoar esta cogeração com o mínimo de geração de poluentes na atmosfera. Entretanto, a Usina 5 preferiu o uso de agrotóxicos ao controle biológico, além de deixar de adotar medidas para evitar a contaminação do ar pelas partículas de poeira durante o transporte da cana.

ANÁLISE CONJUNTA DA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NO MEIO FÍSICO, BIÓTICO E ANTRÓPICO

Os resultados revelam que as cinco usinas sucoenergéticas de Minas Gerais, Brasil, segundo os respondentes, apresentam impactos negativos no meio físico e biótico, em especial, na contaminação de recursos hídricos, animais, partículas sólidas, gases e vapores no ar, entre outros (GRÁFICO 11).

Gráfico 11 – Avaliação conjunta dos meios físicos, bióticos e antrópicos das 5 usinas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os impactos negativos apontados no meio físico e biótico ocorreram em maior intensidade na etapa do plantio da cana-de-açúcar (uso de agrotóxicos, supressão da vegetação e adubação química) e em menor intensidade no preparo da cana-de-açúcar (águas residuais), processamento geral (Manutenção) e no transporte da cana-de-açúcar (partículas de poeira e acidentes) (GRÁFICO 12).

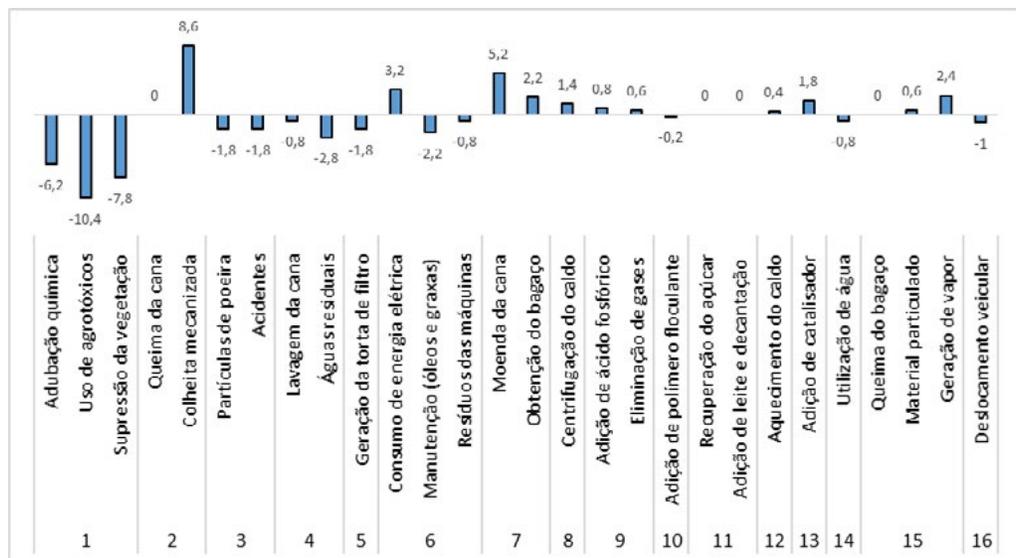
Schiesari & Grillitsch (2011) enfatizam que em torno de 50% das formulações de agrotóxicos utilizados na cana-de-açúcar são altamente perigosos, especialmente para organismos aquáticos. Sendo assim, apesar

de todas as medidas de segurança serem tomadas pelas usinas, o risco de contaminação das nascentes de água e do solo são consideráveis. Esses defensivos podem atingir os animais da região dos cultivos, principalmente os que entram em contato direto com as plantas, como os polinizadores. O uso de agrotóxicos é um dos mais impactantes na deterioração dos recursos hídricos e segundo Filoso *et al.* (2015) ainda são necessários melhorias significativas para proteção do solo e dos recursos hídricos causado pelos produtos químicos tóxicos, no Brasil, na plantação de cana-de-açúcar.

Estes resultados também corroboram com Silalertruksa, Pongpat e Gheewala (2017) que apontam que os fertilizantes químicos utilizados na produção da cana-de-açúcar contribuem para a eutrofização dos recursos hídricos e que os agrotóxicos são os principais impactantes negativos dos trabalhadores e do meio ambiente. Rebelato *et al.* (2019) enfatizam que a indústria de açúcar e etanol é uma das mais potencialmente impactantes em relação a toxicidade humana em função da geração de resíduos e subprodutos.

Os adubos químicos são utilizados para correção do solo, pois este é essencialmente em área de cerrado, ou seja, pobre em nutrientes. Santos e Oliveira (2018) salientam que a adubação e a tecnologia permitiram desenvolverem ações dissonantes no ciclo natural do cerrado, ou seja, com a modernização, pode-se alcançar até três safras anuais na região. Neste sentido, as áreas nativas do cerrado foram substituídas pelas lavouras de cana-de-açúcar, com disputas pelo uso dos recursos hídricos, e suprimindo a vegetação natural.

Gráfico 12 – Etapas e atividades das 5 usinas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Legenda: (1) Plantio, (2) Colheita, (3) Transporte, (4) Preparo da cana-de-açúcar, (5) Tratamento p/açúcar e álcool, (6) Processamento geral da cana-de-açúcar, (7) Extração do caldo da cana-de-açúcar (8) Tratamento físico do caldo, (9) Tratamento químico do caldo, (10) Decantação, (11) Filtração do lodo com resíduo, (12) Esterilização do caldo puro, (13) Fermentação alcoólica, (14) Destilação alcoólica, (15) Geração de energia (16) Armazenamento e distribuição.

O meio antrópico apresentou apenas impactos positivos, em especial, na geração de empregos, nas tecnologias e na qualidade de vida (GRÁFICO 11). A geração de emprego foi atribuída as etapas de processamento (6), extração (7), tratamento físico (8) e químico (9), colheita (2) e no transporte (3), conforme Gráfico 12. O setor sucroenergético, na safra 2017/2018, apresentou um Produto Interno Bruto (PIB) de “[...] R\$ 85 bilhões, gerando cerca de 800 mil empregos diretos em mais de 20% dos municípios do Brasil”, 1.912 mil empregos indiretos e possui 70.000 produtores rurais de cana-de-açúcar (CASTRO, 2018, p. 11). Estes dados corroboram com a importância da geração de emprego e renda pelo setor, o que proporciona um aumento na qualidade de vida dos empregados.

Os resultados gerados pela aplicação da Matriz Correa pode auxiliar a direção da usina sucroenergética para detectar aspectos positivos e negativos do processo de cultivo da cana-de-açúcar e do processamento industrial. As informações geradas podem alimentar relatórios de sustentabilidade das usinas, sites institucionais, entre outros, como forma de divulgação dos graus de impactos. Os impactos (positivos e negativos) podem ser mensurados e avaliados anualmente e gerar uma série temporal para comparar o histórico da evolução destes impactos no meio físico, biótico e antrópico.

Este estudo contribui com uma avaliação socioeconômico e ambiental das práticas industriais de usinas sucroenergéticas, podendo utilizar as informações para sustentar decisões gerenciais. Além disso, amplia a literatura com a elaboração de uma ferramenta que avalia o *status* (qualitativo) e o valor (quantitativo) que pode gerar discussões iniciais para o avanço da construção de ferramentas úteis e consistentes, pois na literatura encontra-se essencialmente avaliações quantitativas ou qualitativas isoladas.

CONCLUSÃO

A humanidade inevitavelmente provoca alterações e impactos com maior ou menor intensidade ao meio ambiente (físico e Biótico) no desenvolvimento de suas atividades. Estes impactos devem ser minimizados e a sua avaliação é essencial para mapear os pontos benéficos e maléficos e elaborar um plano de ação corretivo. Neste sentido, este estudo objetivou mensurar os impactos ao meio físico, biótico e antrópico gerado pelas usinas sucroenergéticas de Minas Gerais.

Os principais resultados revelam que os impactos negativos com maior relevância estão vinculados ao meio físico e biótico, mediante a contaminação

dos recursos hídricos, lesões os animais, e liberação de partículas sólidas, gases e vapores na atmosfera. Estes impactos negativos, em sua maioria, estão vinculados na etapa do plantio e da colheita da cana-de-açúcar pela utilização de agrotóxicos e adubação química.

Os resultados dos impactos positivos foram gerados no meio antrópico, em especial, na geração de contratos de trabalho, surgimento de novas tecnologias inofensivas ao meio biótico, físico e antrópico nas etapas do plantio, colheita e industrialização. Estes fatores aumentaram a qualidade de vida dos trabalhadores e da população circunvizinha, em termos de rendimento financeiro familiar, lazer, moradias, entre outros.

As cinco usinas sucroenergéticas apresentam resultados semelhantes, mas com particularidades distintas, por exemplo, a Usina 1 possui o menor impacto negativo no meio físico e biótico, e possui iniciativas inovadoras na cogeração de energia elétrica pelo bagaço com tecnologias que minimizam a geração de poluentes na atmosfera. A Usina 5 possui o maior impacto negativo, quando comparadas com as demais usinas deste estudo, em especial, pela utilização de agrotóxicos no cultivo da cana-de-açúcar e contaminação da atmosfera pelas partículas da queima do bagaço.

A Matriz Correa elaborada neste estudo para mensurar os pontos positivos e negativos pode ser utilizada pelas usinas para controlar, acompanhar e gerenciar os impactos no meio físico, biótico e antrópico. Estas informações podem ser utilizadas para divulgações no *site* corporativo, jornal interno, relatório de sustentabilidade, entre outros.

Os fatores limitantes desta pesquisa relacionam-se aos resultados, pois estes não podem ser generalizados, visto que não abrange de forma significativa o número de usinas sucroenergéticas do estado ou país. As informações fornecidas são exclusivamente de responsabilidade das usinas sucroenergéticas que responderam o questionário e entende-se que os respondentes preencheram a ferramenta com exatidão.

REFERÊNCIAS

ADJEI, P. O.; BUOR, D.; ADDRAH, P. Ecological health effects of rural livelihood and poverty reduction strategies in the Lake Bosomtwe basin of Ghana. **GeoJournal**, v. 82, n. 3, p. 609-625, 2017. doi: 10.1007/s10708-016-9707-1

ANDRADE, J. M.; DINIZ, K. M. **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão**. 2007. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental) – USP, 2007.

ARAÚJO, G. T. S.; COTT, L. S. **Metodologia de valoração de impactos ambientais aplicada ao cálculo do valor da compensação ambiental**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: DOU de 31/08/1981.

CAMELINI, J. H. **Regiões competitivas do etanol e vulnerabilidade territorial no Brasil: o caso emblemático da Quirinópolis, GO.** 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

CARVALHO, D. L.; LIMA, A. V. Metodologias para Avaliação de Impactos Ambientais de Aproveitamentos Hidrelétricos. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS. Porto Alegre. 2010. Anais... Porto Alegre. 2010.

CASTRO, B. A. A. **Análise do setor sucroenergético na região do triângulo mineiro.** Belo Horizonte: SEBRAE Minas, 2018.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 004, de 18 de setembro de 1985. Brasília: DOU de 20/1/1986.

COSTA, M. V.; CHAVES, P. S. V.; OLIVEIRA, F. C. Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará. IN: INTERCOM – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESTUDOS INTERDISCIPLINARES DA COMUNICAÇÃO. XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, UERJ, Rio de Janeiro, 2005.

CREMONEZ, F. E. *et al.* Avaliação de impacto ambiental: Metodologias aplicadas no Brasil. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3821-3830, 2014. doi:10.5902/2236130814689

DIAS, E. F.; BINOTTO, E.; SILVA, L. F. Licenciamentos ambientais e avaliações de impactos ambientais do setor sucroenergético: Aspectos multidisciplinares. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 23-36, 2015. doi: 10.6008/SPC2179-6858.2015.002.0002

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

FAIRBAIRN, E. M. R. *et al.* Avaliação da substituição parcial de clínquer por cinza de bagaço de cana: Redução de emissão de CO₂ e potencial de créditos de carbono. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, p. 229-251, 2012.

FERREIRA, E. A.; PROCÓPIO, S.O.; GALON, L.; FRANCA, A.C.; CONCENÇO, G.; SILVA, A.A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A.F., TIRONI, S.P.; ROCHA, P.R.R. Manejo de plantas daninhas em cana-crua. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 915-925, 2010. doi: 10.1590/S0100-83582010000400025.

FERREIRA, B. S. *et al.* Ecoinovação em uma Agroindústria Sucroenergética: A Implantação do Projeto de Águas Residuais Zero. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS**, v. 7, n. 1, p. 131-145, 2018. doi: 10.5585/geas.v7i1.719

FIGUEIREDO, R. *et al.* Mapeamento prospectivo das tecnologias envolvidas na produção de bioetanol. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 1, p. 127, 2018. doi: 109771/cp.v11i1.23202

FILOSO, S.; CARMO, J. B.; MARDEGAN, S. F.; LINS, S. R. M.; GOMES, T. F.; MARTINELLI, L. A. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1847-1856, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.08.012

FINUCCI, M. **Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial do plantio de transgênicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – USP, 2010.

GALLARDO, A. L. C. F. **Análise das práticas de gestão ambiental na construção da pista descendente da rodovia dos Imigrantes**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – USP, 2004.

GALLARDO, A. L. C. F.; BOND, A. Capturing the implications of land use change in Brazil through environmental assessment: Time for a strategic approach? **Environmental Impact Assessment Review**, v. 31, n. 3, p. 261–270, 2010. doi: 10.1016/j.eiar.2010.06.002

GONÇALES FILHO, M. *et al.* Opportunities and challenges for the use of cleaner production to reduce water consumption in Brazilian sugar-energy plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 353-363, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.114

GUPTA, A.; VERMA, J. P. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 41, p. 550-567, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.032

HORST, G. H. V.; HOVORKA, A. J. Fuelwood: the “other” renewable energy source for Africa? **Biomass and bioenergy**, v. 33, n. 11, p. 1605-1616, 2009. doi: 10.1016/j.biombioe.2009.08.007

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 12-28, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.033

LANGOWSKI, E. Queima da cana - uma prática usada e abusada. 2007. Disponível em: <<http://www.apromac.org.br/QUEIMA%20DA%20CANA.pdf>>. Acesso em: julho 2018.

MARTINS, R.; OLIVETTE, M.; NACHILUK, K. Sustentabilidade: novos desafios e oportunidades para a produção paulista de cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, v. 41, n. 2, p. 23-36, 2011.

MENEGUZZO, I. S.; CHAICOUSKI, A. Reflexões acerca dos conceitos de degradação ambiental, impacto ambiental e conservação da natureza. **Revista Geografia**, v. 9, n. 1, p. 181- 185, 2010. doi: 10.5433/2447-1747.2010v19n1p181

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: Synthesis**. Washington DC: Island Press, 2005.

MORAES, C. D. M.; D'ÁQUINO, C. A. Avaliação de impacto ambiental: uma revisão da literatura sobre as principais metodologias. IN: 5º SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE – SICT-SUL, Santa Catarina, 2016.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental**. Rio de Janeiro, FEEMA, 1985.

NBR ISO 14.001. Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. 2015. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=345116>>. Acesso em: jun. 2018.

PANWAR, N. L.; KAUSHIK, S. C.; KOTHARI, S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1513-1524, 2011. doi: 10.1016/j.rser.2010.11.037

PEREIRA, J. A. A.; BORÉM, R. A. T. **Análise e avaliação de impactos ambientais**. Lavras, MG: UFLA, 2007.

PUGLIESE, L.; LOURENCETTI, C.; RIBEIRO, M. L. Impactos ambientais na produção do etanol brasileiro: uma breve discussão do campo à indústria. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 20, n. 1, p. 142-165, 2017. doi:10.25061/2527-2675/ReBraM/2017.v20i1.472

RAUPP, F.; SELIG, P. M.; SIERRA, E. J. S. Determinação de indicadores de desempenho ambiental para as indústrias sucroalcooleiras. **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 1, 2015. doi: 10.3895/gi.v11n1.1822

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Análise do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi - Guaçu. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 579-591, 2016. doi: 10.1590/S1413-41522016126712

REBELATO, M. G. *et al.* Developing an index to assess human toxicity potential of sugarcane industry. **Journal of cleaner production**, v. 209, p. 1274-1284, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.302

REN21. **Renewable energy Policy Network for the 21st century**. Global Status Report; 2016.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: Avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 255-271, 2010. doi: 10.1590/S0103-40142010000100018

RODRIGUES, A. M. *et al.* Gestão ambiental no setor sucroenergético: Uma análise comparativa. **Revista Produção Online**, v. 14, n. 4, p. 1481-1510, 2014. doi: 10.14488/1676-1901.v14i4.1717

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas:** Fundamentos, princípios e introdução a metodologia. Jaguariaúna: Embrapa, 1998.

RUBIRA, F. G. Definição e diferenciação dos conceitos de áreas verdes/espços livres e degradação ambiental/impacto ambiental. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 134-150, 2016. doi: 10.5752/P.2318-2962.2016v26n45p134

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental:** Conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, H. J. **Evolução da Avaliação de Impacto Ambiental para Empreendimentos Rodoviários:** Uma Análise Descritiva e Aplicada. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2010.

SANTOS, R. J.; OLIVEIRA P. M. Revista Caminhos de Geografia, 2018. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia>>. Acesso em: jun. 2018.

SCHMIDT FILHO, E. *et al.* Redução dos impactos ambientais do setor sucroalcooleiro com a utilização da torta de filtro na adubação do solo. **Revista Uningá Review**, v. 27, n. 3, p. 5-9, 2016.

SCHIESARI, L.; GRILLITSCH, B. Pesticides meet megadiversity in the expansion of biofuel crops. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 4, p. 215- 221, 2011. doi:10.1890/090139

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007. doi: 10.1590/S1415-43662007000100014

SILVA, F. O.; FERREIRA, W. R. Logística urbana e planejamento territorial: uma abordagem política. *Revista Geográfica de América Central*, v. 1, n. 56, p. 39-55, 2008. doi: 10.15359/rgac.1-56.2

SILVA, E. **Técnicas de avaliação de impactos ambientais.** Viçosa, CPT, 1999.

SILALERTRUKSA, T.; PONGPAT, P.; GHEEWALA, S. H. Life cycle assessment for enhancing environmental sustainability of sugarcane biorefinery in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 906-913, 2017. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.010

SOUZA, I. C. de. Qual é o tamanho ótimo? **Revista STAB**, v. 18, n. 5, p. 12, 2000.

WEITZENFELD, H. **Manual básico sobre evaluación del impacto em el ambiente y la salud de acciones proyectadas.** México: Opas/OMS, 1996.