

Relatório Final de Trabalho



REGIONALIZAÇÃO DOS PERFIS “TÍPICOS” DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA USO NO RENOVABIO

Nilza Patrícia Ramos¹

Natalia Crespo Mendes²

Marília I. da Silveira Folegatti¹

Gustavo Bayma¹

Renan M. L. Novaes¹

Marcelo A. Boechat Morandi¹

Anna Letícia M. T. Pighinelli¹

José Paulo P. das Dores Savioli²

Vinícius Bofe Buffon¹

¹ Embrapa Meio Ambiente

² Embrapa Meio Ambiente, bolsista de inovação

Jaguariúna, SP

Maio 2024

Sumário

Resumo	Erro! Indicador não definido.
1. Introdução	5
1.1. RenovaBio.....	5
1.2. Cana como matéria-prima na RenovaCalc	8
1.3. Regionalização do perfil da produção agrícola da cana	16
2. Metodologia.....	17
2.1. Composição do perfil de produção da cana.....	17
2.2. Validação dos perfis de produção de cana regionalizados	19
2.3. Índices de eficiência no uso de insumos e determinação da intensidade de carbono (IC) na RenovaCalc.....	20
3. Resultados e discussão	20
3.1. Estados brasileiros produtores de cana e seleção da base de dados para compor os seus “perfis “típicos”	20
3.2. Composição do perfil “típico” de produção de cana na escala estadual ..	23
3.3. Índices de eficiência no uso de insumos, intensidades de carbono - IC e comparações entre os perfis regionalizados na RenovaCalc	25
4. Considerações finais	28
5. Conclusões.....	29
Financiamento.....	29
Referências	30

Regionalização dos perfis “típicos” da produção de cana-de-açúcar para uso no RenovaBio

Nilza Patrícia Ramos¹; Natalia Crespo Mendes²; Marília I. da Silveira Folegatti¹; Gustavo Bayma¹; Renan M. L. Novaes¹; Marcelo A. Boechat Morandi¹; Anna Letícia M. T. Pighinelli¹; José Paulo P. das Dores Savioli¹; Vinícius Bofe Buffon¹

¹Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, km 127,5 – Jaguariúna-SP. CEP. 13.918-110

²Embrapa Meio Ambiente, bolsista de inovação

Resumo

RenovaBio é a política que incentiva a descarbonização do setor de transportes no Brasil, estimulando o uso de biocombustíveis com melhor eficiência energético-ambiental em relação aos fósseis, usando a RenovaCalc como ferramenta de cálculo. Sua estrutura abrange campos de preenchimento para as diversas etapas de produção do etanol, biodiesel, biometano e bioquerosene de aviação, na lógica da Avaliação do Ciclo de Vida de produtos. No caso do etanol, os produtores que usam cana-de-açúcar ou milho como matéria-prima podem preencher dados primários (específicos do sistema vigente) ou dados “padrão” (dados de sistema “típico”, adicionados de penalização), para situações de ausência de informações verificáveis. O atual perfil do sistema “típico” da cana-de-açúcar reflete a produção em escala nacional, que pode não representar bem as diferentes regiões produtoras do Brasil. Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar sistemas “típicos” de produção de cana-de-açúcar, considerando a realidade das diferentes regiões produtoras brasileiras, que após sofrerem penalização, poderão ser utilizados na opção de dado “padrão regionalizado” na RenovaCalc. Foram respeitadas as premissas da política de: (i) estímulo ao uso do dado “primário” na RenovaCalc e (ii) transparência na metodologia e nos parâmetros usados na RenovaCalc. A metodologia envolveu a identificação dos estados brasileiros com produção de colmos $\geq 1\%$ do total nacional, o uso de banco de dados agrícolas primários certificados, da própria RenovaCalc, para caracterizar a forma de se produzir cana-de-açúcar na escala estadual, seguido da simulação da intensidade de carbono (IC) na ferramenta, em duas versões, a atual (7.0) e

uma com aprimoramentos, a ser publicada (9.0). Foram identificados 8 estados com relevância na produção de cana-de-açúcar, porém a disponibilidade de informações na RenovaCalc permitiu caracterizar perfis “típicos” para 10 estados brasileiros (SP, GO, MG, MS, PR, MT, AL, PE, PB e BA). A IC desses perfis estaduais variou entre 34,5 e 46,7 kgCO₂eq/t colmos de cana, enquanto o perfil nacional atualmente adotado é de 33,5 kgCO₂eq/t colmos de cana, usando a RenovaCalc 7.0. Na simulação usando a RenovaCalc 9.0, as IC foram de 36,9 a 53,5 kgCO₂eq/t de colmos de cana, também acima do perfil nacional atual. Conclui-se que a atualização do perfil “típico” considerando a escala estadual representa melhor as condições de produção da cana-de-açúcar brasileira, sendo recomendada para uso na RenovaCalc, após a atribuição das penalidades previstas na regulamentação da Política. O uso dos índices de eficiência de produção da cana-de-açúcar, obtidos das certificações do etanol de primeira geração de cana-de-açúcar (1GC) e do etanol de primeira geração de usina flex (1GFlex) da própria RenovaCalc, garante acurácia e credibilidade na representação dos perfis de produção em uso, considerando as tecnologias e inovações adotadas pelo setor canavieiro durante sua participação na RenovaBio. Recomenda-se manter esse procedimento nas atualizações futuras, obedecendo o intervalo de tempo condizente com outras iniciativas da Política, sem ferir as premissas básicas da RenovaBio.

Termos para indexação: *Saccharum spp*; sistema de produção; emissões de gases de efeito estufa; intensidade de carbono.

1. Introdução

1.1. RenovaBio

Os efeitos das mudanças no clima estão cada vez mais evidentes para a sociedade, que sofre com eventos extremos ao redor do planeta. O aumento na temperatura média global já é realidade e a mitigação e adaptação aos seus efeitos exige maiores esforços governamentais e sociais para evitar que o incremento seja superior a 1,5 grau. Na economia mundial, o setor de energia é o maior responsável pelo aumento nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), devido ao uso de combustíveis fósseis, enquanto no Brasil esse setor ocupa a terceira posição, tendo contribuído, em 2016, com 424 GgCO₂eq, dos quais 95,3% são atribuídos à área de combustíveis. Mesmo com uma matriz energética limpa, frente a outras nações, o governo brasileiro optou por incluir o setor energético em compromissos internacionais de mitigação de emissões de GEE (NDC - *Nationally Determined Contribution*), vinculados ao Acordo de Paris.

As metas assumidas pelo Brasil envolvem a redução de 37% e 50% das emissões, respectivamente até 2025 e 2050, em relação às emissões brasileiras de 2005 (FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, 2022). O sucesso desse compromisso envolve uma série de estratégias, dentre elas a ampliação da participação das energias renováveis para até 45% da matriz energética brasileira, incluindo o uso de maior volume de biocombustíveis. Para isto foi assinada a Política Nacional de Biocombustíveis, a RenovaBio (Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017), que estimula o aumento da participação dos biocombustíveis, produzidos com padrões sustentáveis, na matriz energética brasileira.

Os biocombustíveis com comprovada eficiência energético-ambiental (menor emissão de GEE por MJ em seu ciclo de vida), em relação aos seus combustíveis fósseis potenciais substitutos, podem ter acesso a créditos de descarbonização (CBIO), propostos na Política, os quais são comercializados no mercado financeiro e geram renda adicional aos produtores (MME, 2017). Cada CBIO corresponde a 1 (uma) tonelada de CO₂eq evitada. Atualmente, os

biocombustíveis previstos na RenovaBio são o etanol (de primeira e segunda geração), o biodiesel, o biometano e o bioquerosene de aviação (ANP, 2023), e podem acessar CBIO desde que se comprove a elegibilidade da sua biomassa e a eficiência energético-ambiental na sua produção. A eficiência é calculada com uso da RenovaCalc, uma ferramenta oficial dessa Política (Matsuura et al., 2018).

Como mencionado, a certificação na RenovaBio envolve também a comprovação do atendimento aos critérios de elegibilidade da matéria-prima energética, que se relacionam com algumas leis ambientais vigentes no país, como o Código Florestal e o Zoneamento Agroecológico da Palma de Óleo. Um ponto-chave é a exigência de produção da biomassa energética apenas em imóveis com Cadastro Ambiental Rural (CAR) ativo ou pendente, e em áreas isentas de supressão de vegetação nativa a partir de novembro de 2018, data da publicação da RESOLUÇÃO Nº 758/2018, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – um dos instrumentos que regulamenta a RenovaBio (ANP, 2023). Este mecanismo de gestão de risco busca evitar a expansão da produção de biomassa energética sobre a vegetação nativa, prevenindo as emissões de GEE por essa categoria de mudança de uso da terra.

A contabilidade do carbono na RenovaCalc segue as premissas da avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos, que é normatizada pela ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 (ISO, 2006 a, b) e ISO 14067:2018 (ISO, 2018). Com isto, são consideradas as emissões de todas as etapas do ciclo de vida do biocombustível, trazendo uma base de dados com a intensidade de carbono dos insumos (incluindo combustíveis e eletricidade), abrangendo as emissões até as etapas agrícola, industrial e de distribuição, com estruturas de preenchimento específicas (Figura 1); e a etapa de consumo do combustível em motores veiculares, com valores da literatura científica.

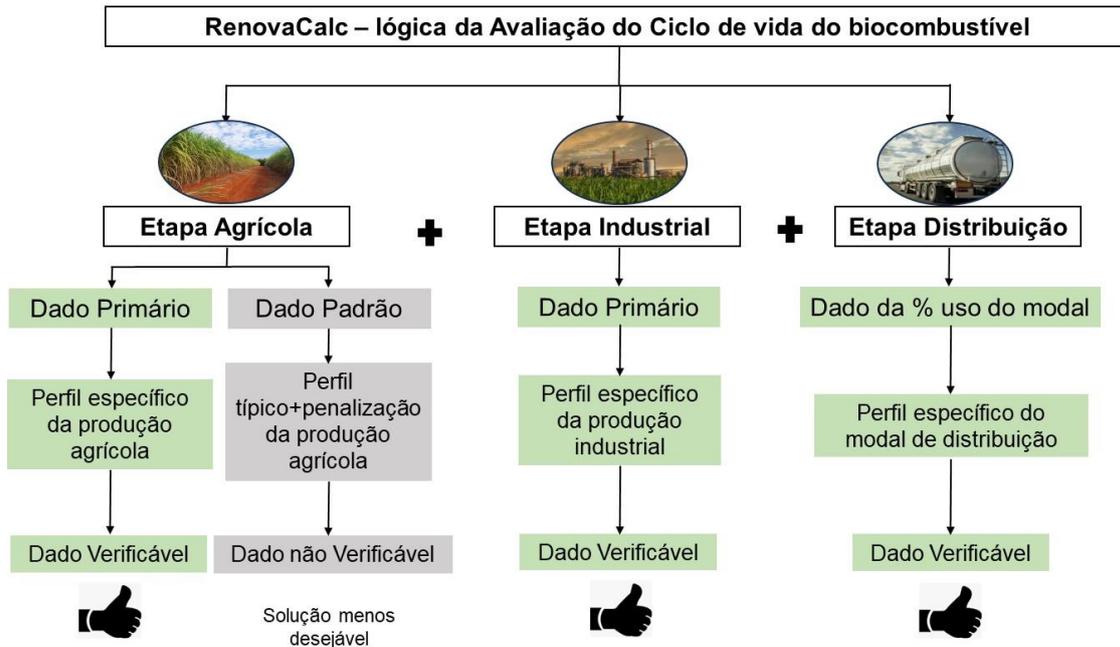


Figura 1. Esquema simplificado das etapas de produção do etanol de cana-de-açúcar consideradas na RenovaCalc, com indicação do tipo de dado requerido e da necessidade de verificação.

O preenchimento de dados para o cálculo da IC, na etapa agrícola da RenovaCalc, traz a opção de uso de dados “primários” ou dados “padrão” para cana-de-açúcar, milho e soja (Matsuura et al., 2018), mas com previsão de incorporação da palma de óleo (ou dendê), do algodão e de outras biomassas. Na opção de dados primários, existem campos de preenchimento relativos à área, produção, impurezas e insumos agrícolas (corretivos, fertilizantes químicos e orgânicos, combustíveis e outras fontes de energia) utilizados na produção da biomassa em campo. Este tipo de uso (dado “primário”) exige a verificação, no processo de certificação, de um conjunto mais amplo de dados, que descreve o perfil de produção agrícola. Na opção de dado “padrão”, há um conjunto mais restrito de dados verificáveis, sendo o perfil de produção agrícola correspondente a um valor previamente estabelecido, que representa o perfil mais usual de produção da biomassa (“típico”), adicionado de uma “penalização”, com função de garantir que não haja subestimação das emissões da produção da biomassa. O dado “padrão” exige apenas a verificação da área e da produção. Entretanto, cabe destacar que a opção “padrão” deve ser

utilizada apenas nos casos em que não existam informações verificáveis para todos os parâmetros solicitados na ferramenta de cálculo.

Na etapa industrial, existe apenas a opção de uso de dados “primários”, com campos para a inserção dos rendimentos dos produtos e coprodutos, consumo de insumos industriais, energia elétrica e outras fontes de energia. Na etapa de distribuição, os cálculos de emissão são feitos a partir da declaração de uso de modais de transporte, com base em perfis pré-definidos (Matsuura et al., 2018).

A abordagem de penalização do dado para a etapa agrícola permite que, na ausência de informações primárias, verificáveis e auditáveis, não se incorra em emissão superestimada de títulos de descarbonização, que não correspondam garantidamente à emissão evitada de 1 t CO₂eq (equivalente a 1 CBIO). Trata-se, portanto, de uma estratégia para prevenir “greenwashing”.

1.2. Cana como matéria-prima na RenovaCalc

Historicamente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo gerado 724 milhões de toneladas de colmos em 2022, cerca de 38% de todo volume global. No país, a cultura canavieira ocupa a quarta posição no ranking do valor bruto da produção agropecuária, ficando atrás apenas da soja, bovinos, frango e milho, com a geração de R\$ 111,2 bilhões em 2023, a partir de uma área plantada de 9,6 milhões de hectares. O estado de São Paulo é seu maior produtor (4,7 milhões ha), seguido dos estados de Goiás e Minas Gerais, que se revezam na segunda posição, e que juntos responderam por 76% da produção nacional, na safra 2023 (CONAB, 2023).

A diversidade de produtos obtidos a partir da cana-de-açúcar (Figura 2) alavanca a rentabilidade e sustentabilidade da cadeia sucroenergética, tendo o açúcar e o etanol como protagonistas, mas com elevada contribuição da bioeletricidade, dos fertilizantes orgânicos (vinhaça e torta de filtro), das leveduras (ROSSETTO et al, 2022), além de outros produtos que fazem parte da química verde (CHERUBINI, 2010).

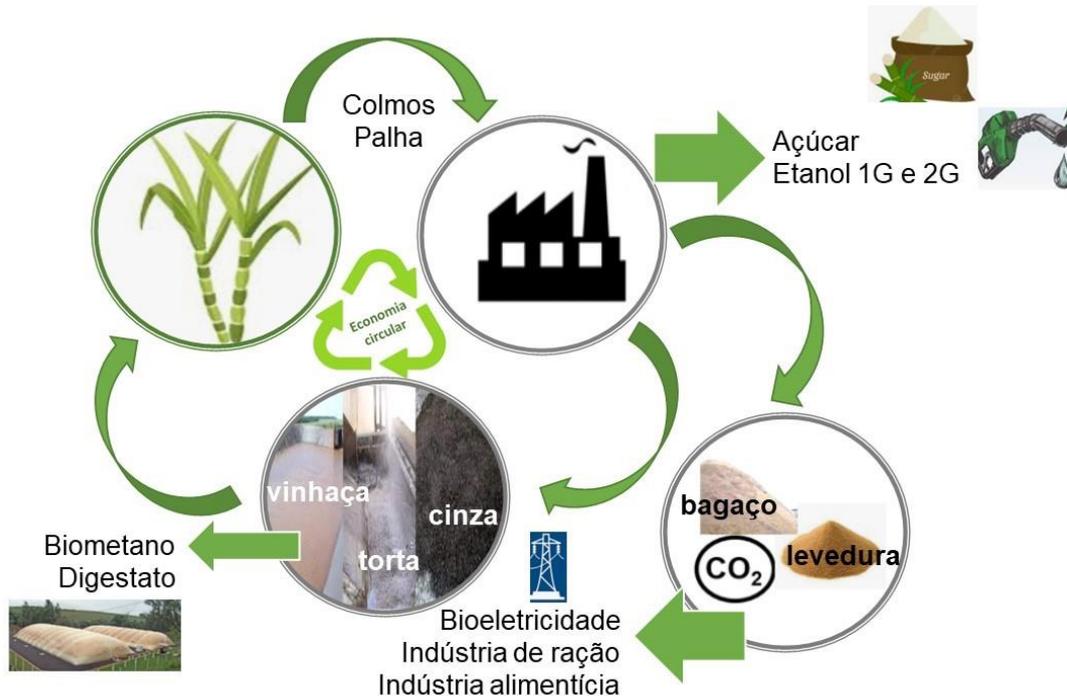


Figura 2. Representação de produtos gerados a partir do processamento industrial da cana-de-açúcar, contribuindo para economia circular.

O etanol brasileiro é o segundo em ordem de importância no contexto global de biocombustíveis, ficando atrás apenas do etanol americano, o que reforça sua contribuição para a sustentabilidade na área energética. A tecnologia de segunda geração, a partir do aproveitamento do bagaço e palha, pode contribuir ainda mais para essa valorização, tendo em vista o interesse de alguns mercados por biocombustíveis originados a partir de resíduos, que podem ser isentos de carga ambiental, na geração da matéria-prima.

No mercado nacional, a produção de etanol anidro e hidratado variou ao longo dos últimos seis anos (Figura 3). Inicialmente, verificou-se um aumento de produção no início da política RenovaBio (safra 2018/19 para 2019/20), porém esta tendência não se manteve devido à drástica queda de consumo energético observada durante a pandemia de COVID-19 (que durou de 11 de março de 2020 a 05 de maio de 2023, segundo Organização Mundial da Saúde). A recuperação no consumo deste biocombustível ficou mais evidente na safra 2022/23, com tendência de aumento para os próximos anos, alavancado pelo

interesse energias renováveis, diante da preocupação com os efeitos das Mudanças Climáticas, mas em parte pelo estímulo trazido pela política RenovaBio.

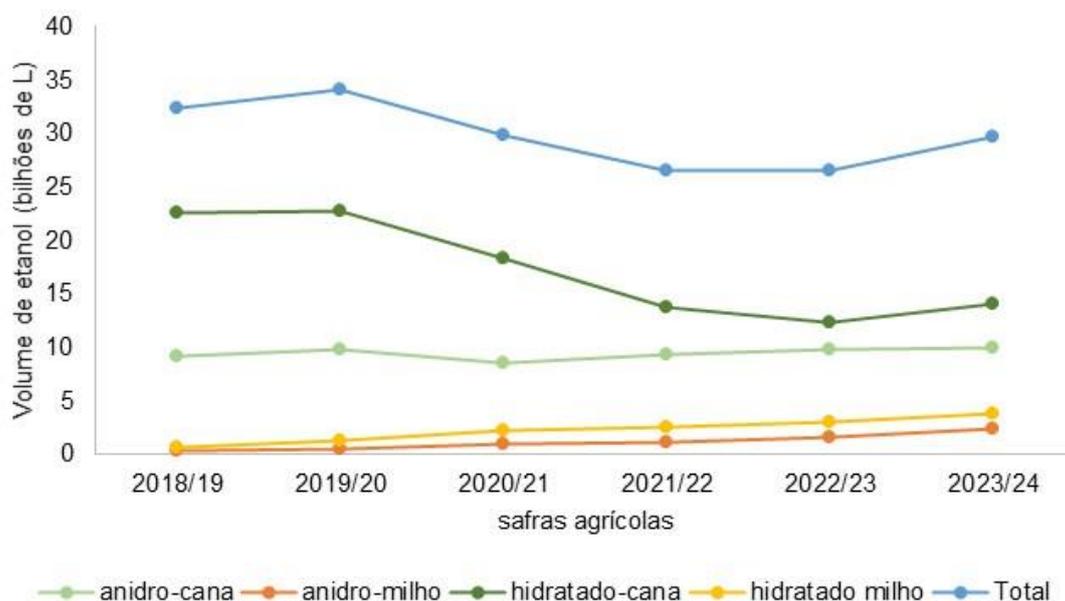


Figura 3. Evolução da produção de etanol de cana e milho no Brasil. Fonte: CONAB, 2023.

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é a forma mais tradicional de geração desse biocombustível no Brasil, mas esse cenário tem se modificado nos últimos anos, com o aumento da oferta de etanol de milho (Figura 4). A participação da cana-de-açúcar ainda é expressiva, com 83% do volume do etanol nacional, comprovando a sua relevância para a segurança energética nacional. Cabe destacar que o aumento da participação do etanol de milho não afetou a disponibilidade do etanol de cana (Figura 3), podendo se afirmar que são complementares, principalmente em alguns estados do país, como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, onde a produção de grãos é preponderante.

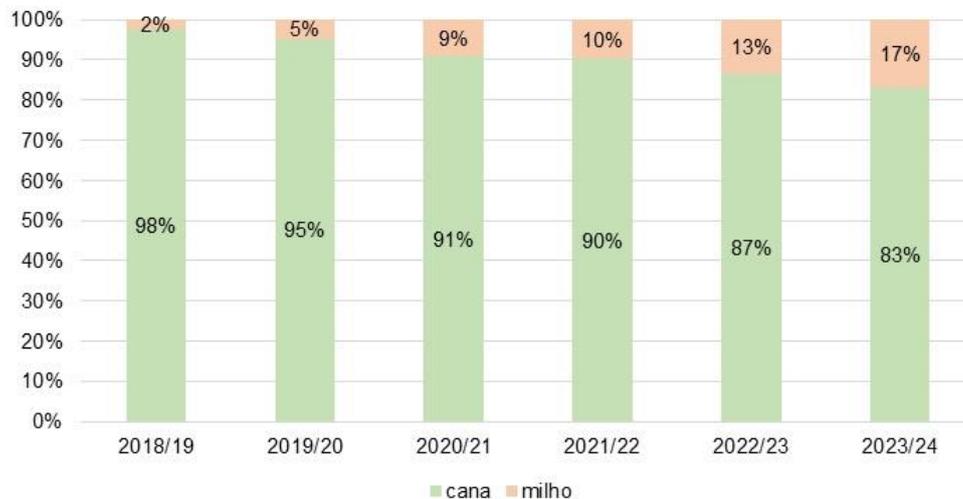


Figura 4. Porcentagem (%) de participação de etanol de cana-de-açúcar e de milho na produção de etanol nacional englobando as safras de 2018/2019 até 2023/2024 (CONAB, 2023).

Atualmente, existem 331 unidades produtoras de etanol autorizadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) produzindo esse biocombustível no Brasil. No caso das unidades que usam o colmo da cana-de-açúcar como matéria-prima, denominadas de 1ª geração (1G), existem as destilarias (exclusivas de etanol), as usinas (produtoras de açúcar e etanol) e as unidades “flex” (produtoras de etanol de cana-de-açúcar e milho), distribuídas por todo o Brasil. Há também unidades que usam a tecnologia de 2ª geração (2G), com etanol produzido a partir de material lignocelulósico, denominado bioetanol, que no caso da cadeia da cana-de-açúcar se baseia no bagaço vindo da agroindústria e palha recolhida do campo. Por fim, existem as unidades dedicadas exclusivamente à produção de etanol de milho.

A política RenovaBio prevê rotas específicas para todos esses tipos de etanol, com estruturas de declaração de dados individualizadas. No caso do etanol 1G (hidratado e anidro) exclusivo de cana-de-açúcar, existem 268 unidades com certificação pela RenovaBio, além de outras quatro (4) unidades 1G Flex que utilizam informam dados “primários” para a etapa industrial e dados “primários” ou “padrão” para a etapa agrícola (Figura 5). Cabe destacar que essas unidades já obtiveram 157,9 milhões de CBIO entre 2020-2024, o que

corresponde ao mesmo valor em t de CO₂eq de emissões evitadas, dentro da Política.

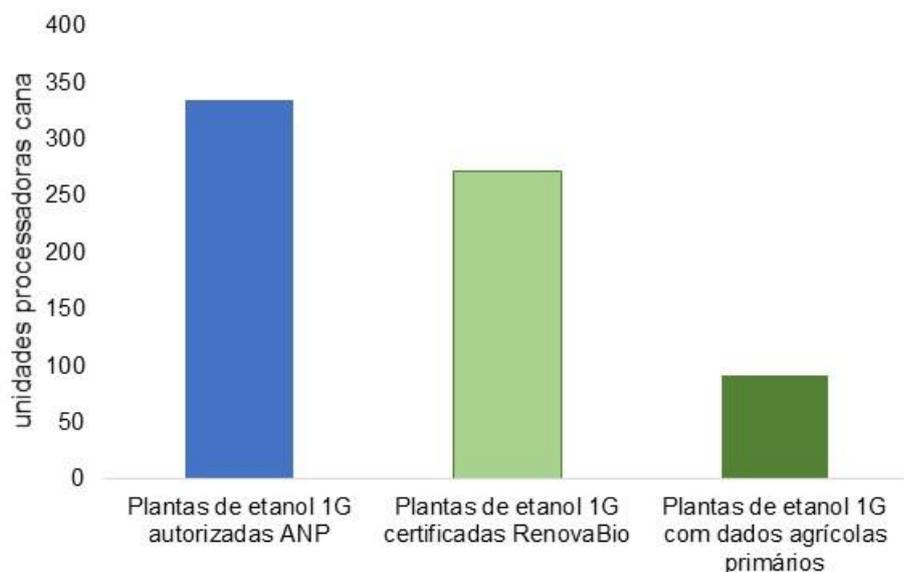


Figura 5. Plantas produtoras de etanol de cana-de-açúcar com tecnologia de primeira geração (1G), autorizadas pela ANP, certificadas pela RenovaBio e ofertantes de dados primários (fonte: ANP, 2024).

A disponibilização da opção de preenchimento na RenovaCalc do dado “padrão” (“típico + penalização”) da cana exigiu a identificação do perfil de produção agrícola “típico” da cana brasileira. O primeiro perfil “típico” foi estabelecido em 2017, no momento da construção da RenovaCalc e do início da regulamentação da RenovaBio, o qual se baseou em informações do inventário de produção de cana brasileiro publicado no ecoinvent 3.1 (versão mais atual disponível na época), o principal banco de dados internacional de Inventários de Ciclo de Vida (ICV). O inventário base considerado foi o “market for sugarcane – BR”.

O ICV *market for sugarcane BR* foi construído a partir da ponderação dos perfis de consumo de insumos e operações agrícolas mais comuns na produção da cana-de-açúcar, das safras de 2012-2014, em seis estados brasileiros (São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso), que

juntos representavam 80% do total de colmos produzido no país (Figura 6). O levantamento de dados foi realizado no âmbito do projeto de “*Life Cycle Inventories of Brazilian agricultural products: a contribution to the ecoinvent database – ICVAgroBR*” (Folegatti-Matsuura e Picoli, 2018), da parceria entre a Embrapa Meio Ambiente e o Laboratório Nacional de Biorrenováveis. Foram usadas bases estatísticas nacionais (IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento) e artigos da literatura científica, bem como consulta aos especialistas na área canavieira. O processamento de dados e as estimativas de emissões foram realizadas pelo grupo GT-ACV RenovaBio, com base nos protocolos e diretrizes de Nemecek e Schnetzer (2011) e IPCC (2006).

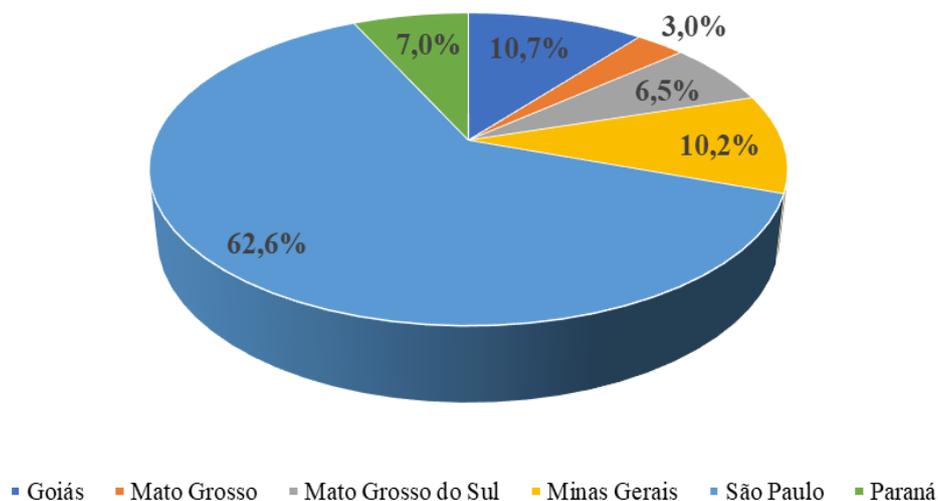


Figura 6. Participação dos principais estados produtores no perfil “típico” de produção de cana no Brasil, utilizado na RenovaCalc 7.0.

Os parâmetros que descrevem o sistema “típico” de produção de cana-de-açúcar, a partir do *ICV market for sugarcane BR*, adotados na Resolução nº 758 da ANP, encontram-se no Quadro 1. O sistema descrito representa a produção convencional da cultura, sem rotação ou sucessão com outras culturas. Também foi incluído o conceito de “hectare médio de produção”, onde são consideradas as diferentes etapas do ciclo de produção da cana-de-açúcar, incluindo as operações e os consumos de insumos agrícolas empregados na reforma e da

implantação do canavial, na produção da cana-planta (12 e 18 meses), e na produção das socas, ponderados pelo tempo de ocupação da área em cada etapa. O total de cortes considerado foi de 5.

A produtividade de colmos recebeu o desconto do volume de colmos-muda utilizados na implantação da cultura (Folegatti-Matsuura e Picoli, 2018). Os insumos foram discriminados pelas fontes mais utilizadas na produção brasileira, na ocasião, sendo usada a ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio para representar os fertilizantes N-P₂O₅-K₂O. As emissões referentes ao consumo de pesticidas (agrotóxicos) foram determinadas a partir da soma da massa dos ingredientes ativos aplicados, combinada à pegada de carbono desses pesticidas até o uso em campo, representados pelo inventário de ciclo de vida *pesticide unspecified*. Com relação ao uso de combustíveis fósseis, o consumo de diesel foi estimado a partir da declaração de uso de máquinas e implementos nas diferentes operações agrícolas.

Quadro 1. Valores dos principais parâmetros de produção de cana-de-açúcar, que representam a condição “típica” para o Brasil (safra 2012-2014), segundo o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) *market for sugarcane BR* (ecoinvent, versão 3.6).

Parâmetros	BR EI	Descrição geral
Sistema	CV	Cana-de-açúcar produzida em cultivo convencional (CV), considerando um ciclo de 5 cortes, com as etapas de reforma, cana-planta e cana-soca.
Produtividade (kg/ha)	68,67	TCH – toneladas de colmos por hectare, considerando a modelagem do “hectare médio de produção” e o desconto dos colmos-muda.
Calcário (kg/ha/ano)	398	Calcário calculado a partir da aplicação de cerca de 1990 kg no período da reforma, extrapolado para o hectare médio.
Gesso agrícola (kg/ha/ano)	192	Gesso calculado a partir da aplicação de cerca de 960 kg no período da reforma, extrapolado para o hectare médio.
N (kg/ha)	76	Nitrogênio, usando como fonte predominante a ureia, com doses obtidas para os principais estados produtores.
P ₂ O ₅ (kg/ha)	30	P ₂ O ₅ , usando como fonte predominante o Superfosfato Simples, com doses obtidas para os principais estados produtores.
K ₂ O (kg/ha)	93	K ₂ O, usando como fonte predominante o Cloreto de Potássio, com doses obtidas para os principais estados produtores.
Vinhaça (mm)	3	Volume de vinhaça, com concentração de 0,38% de N.

Torta de Filtro (t/ha)	2,1	Quantidade de torta de filtro (base úmida), com concentração de 2,8% de N.
Cinzas (kg/ha)	494	Quantidade de cinzas e fuligem.
Diesel B10 (L/ha)	218	Diesel calculado a partir de operações utilizadas nos principais estados produtores.

Os índices de eficiência utilizados na Resolução nº 758 (ANP, 2018) para representar o perfil “típico” da cana-de-açúcar brasileira na escala nacional, encontram-se no Tabela 1. O cálculo foi baseado no Quadro 1, usando cada parâmetro dividido pela produtividade nacional do período. Após a determinação do perfil “típico” foram estabelecidas penalizações para compor o perfil “padrão”. Nesta ação, foi considerado o limite superior dos valores observados em campo para cada parâmetro, pela consulta a especialistas e em discussões do GT-ACV RenovaBio, prezando por uma abordagem conservadora.

Tabela 1. Perfil “típico” e perfil padrão da produção de cana-de-açúcar usados na RenovaCalc (até a versão 7.0).

Parâmetro	Perfil “Típico”	Perfil “Padrão”
Área queimada (%)	18	100
Calcário calcítico ou dolomítico (kg/t cana)	5,79	12,00
Gesso agrícola (kg/t cana)	2,79	5,00
Fertilizantes sintéticos nitrogenados (kg N/t cana)	1,11	2,00
Fertilizantes sintéticos fosfatados (kg P ₂ O ₅ /t cana)	0,44	1,00
Fertilizantes sintéticos potássicos (kg K ₂ O/t cana)	1,35	2,00
Fertilizantes orgânicos nitrogenados – Vinhaça (L/t cana)	440,2	1000
Concentração de nitrogênio na vinhaça (g N/L)	0,38	0,38
Fertilizantes orgânicos nitrogenados – Torta de filtro (kg/t cana)	30,6	42,8
Concentração de nitrogênio na torta de filtro (g N/kg)	2,80	2,80
Fertilizantes orgânicos nitrogenados – Cinzas (kg/t cana)	7,2	10,1
Combustível diesel B10 (L/t de cana)	3,18	6,00

Fonte: Matsuura et al. (2018).

*Na Resolução ANP 758/2018, consta a mistura B8, mas após atualização da RenovaCalc 7.0 foi, tem sido usado a B12.

As emissões da cana-de-açúcar calculadas na RenovaCalc 7.0 (atualizada em 22/12/2020), usando a condição de produtividade média de 68,67 t/ha de

colmos em uma área de 100 ha, foi de 33,48 e 65,10 kg de CO₂eq/t de colmos de cana-de-açúcar, respectivamente para os perfis “típico” e “padrão”. Nesta simulação, o perfil “padrão” teve emissão 2,2 vezes superior ao perfil “típico”.

1.3. Regionalização do perfil da produção agrícola da cana

A RenovaCalc apresenta sensibilidade suficiente para discriminar diversos perfis de produção, na etapa agrícola e industrial do biocombustível. Isto permite que o usuário represente fidedignamente, com dados primários, a sua forma de produzir biomassa, incluindo a evolução dos sistemas de produção. Contudo, a opção “padrão” “típico” da etapa agrícola, por ser uma alternativa genérica de representação de dados, não é sensível às mudanças de perfil de produção entre regiões e suas atualizações tecnológicas.

Após cinco anos de sucesso na execução da política RenovaBio, foi identificada a possibilidade de considerar, na representação do dado “padrão”, as diferenças na forma de produzir cana nas diversas localidades do país. Isso no sentido de confirmar a premissa básica da Política, de diferenciar e premiar os produtores quanto ao seu desempenho energético-ambiental e continuar incentivando o uso do dado “primário” em todas as etapas de produção do biocombustível.

Os desafios para representar os sistemas de produção nas diversas regiões de um país continental como no Brasil são significativos, devido à escassez de informações públicas com parâmetros técnicos completos para a produção da cana-de-açúcar. Uma das possíveis fontes de dados, além da literatura técnico-científica, é a própria RenovaCalc, a partir do banco de dados primários preenchidos pelos produtores de matérias-primas, que no caso da cana-de-açúcar é viável devido ao elevado número de declarantes de dados primários, que são certificados por firmas autorizadas pela ANP. Assim, constituem uma base de dados robusta de parâmetros certificados, que favorece a representação da cultura, ao contrário de outras matérias-primas.

Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar sistemas “típicos” de produção da cana-de-açúcar, considerando a realidade das diferentes

regiões produtoras brasileiras que, após sofrerem penalização, poderão ser utilizados na opção de dado “padrão regionalizado” na RenovaCalc.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado pela Embrapa Meio Ambiente com apoio da ANP, do Laboratório de Biorrenováveis - LNBR e do setor produtivo. Foram respeitados dois princípios da RenovaBio:

i) Estímulo ao uso do dado “primário” na RenovaCalc

Como o dado “primário” é o que melhor representa a tecnologia adotada pelos produtores, tanto para produção da biomassa como do biocombustível, a política estimula que este tipo de dado seja utilizado em todas as etapas do ciclo de vida do biocombustível. Entendendo ser este o dado de melhor qualidade, nesta atualização optou-se pelo uso dos próprios dados primários declarados nas certificações realizadas até 2023, na RenovaBio.

ii) Transparência na metodologia e nos parâmetros usados na RenovaCalc

A construção e atualização dos regulamentos da RenovaBio é baseada em consultas e participação efetiva do setor produtivo, incluindo o acesso irrestrito aos dados e cálculos usados na RenovaCalc.

2.1. Composição do perfil de produção da cana

A escala de trabalho estadual foi selecionada como a menor unidade para a regionalização, evitando assim, ferir o princípio do *Estímulo ao uso do dado “primário” na RenovaCalc*, adotado na RenovaBio (ANP, 2018). Na Figura 7 observa-se o esquema simplificado da estratégia para a construção do perfil “típico” de produção da cana-de-açúcar, para cada um dos estados brasileiros.

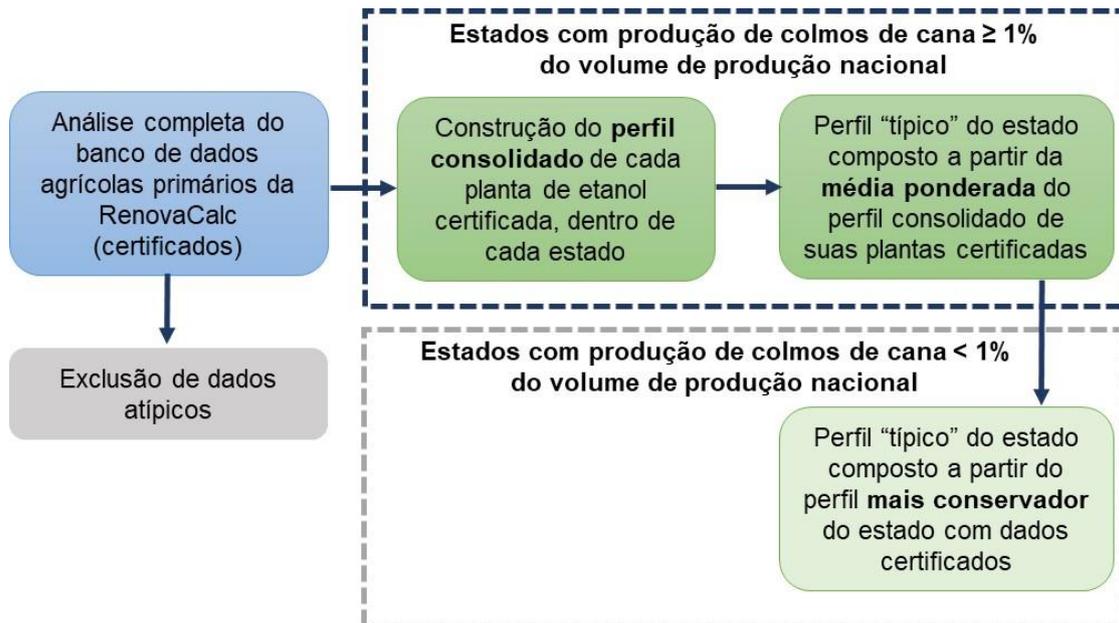


Figura 7. Composição dos perfis “típicos” estaduais de cana-de-açúcar do Brasil, a partir de dados agrícolas primários declarados nas certificações realizadas na RenovaBio.

Os critérios adotados para garantir a representação das diferentes tecnologias empregadas em regiões de produção de cana-de-açúcar no país, usando dados certificados vindos de processos de sete (7) empresas inspetoras credenciadas pela ANP, foram:

- Análise da participação da produção de colmos de cana-de-açúcar de cada estado brasileiro, na produção nacional. Para isto, usou-se a base estatística do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, safras 2019, 2020 e 2021 (IBGE, 2023).
- Levantamento de dados primários de cana-de-açúcar na própria RenovaCalc, em banco de dados fornecido pela ANP, e buscas por informações da produção agrícola da cana-de-açúcar em bancos de dados internacionais - “ecoinvent database” e “Global Feed LCA Institute (GFLI) database”) - além de informações do banco de dados próprio da Embrapa e dos bancos estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).
- Caracterização do sistema “típico” de produção da cana-de-açúcar em todos os estados brasileiros com produção de colmos $\geq 1\%$ do volume de produção

nacional; sendo os demais estados caracterizados por um perfil “genérico e conservador”, no aspecto de emissões de GEE.

- d) Uso dos dados agrícolas “primários” extraídos da RenovaCalc para 10 estados brasileiros, com unidades produtoras de etanol certificadas por sete (7) firmas inspetoras autorizadas ANP, entre 2018-2022; sendo também contemplados os dados disponíveis para os estados que apresentavam produção de colmos < 1% do volume de produção nacional.
- e) Análise da representatividade dos dados agrícolas “primários” de cana-de-açúcar extraídos da RenovaCalc, em relação à produção estadual de colmos.
- f) Análise detalhada dos parâmetros declarados na RenovaCalc (e certificados), com exclusão de dados considerados atípicos (erros no posicionamento de vírgulas e pontos, número de casas decimais, valores em duplicidade e “outliers”).
- g) Construção do perfil consolidado (média ponderada) dos dados agrícolas “primários” certificados, considerando todos os parâmetros técnicos presentes na RenovaCalc, declarados por cada uma das unidades produtoras de etanol de cana-de-açúcar, em todos os anos certificados e nos estados onde se localizam. Dessa forma, cada unidade produtora de etanol de cana-de-açúcar ficou com um perfil consolidado por ano declarado, dentro de cada estado.
- h) Proposição do perfil “típico” estadual a partir da média ponderada dos perfis consolidados das unidades produtoras que fazem parte desse estado.

2.2. Validação dos perfis de produção de cana-de-açúcar regionalizados

A validação dos parâmetros técnicos que compuseram os perfis “típicos” de cada estado brasileiro foi realizada por meio de: a) consulta a especialistas na cultura de cana e aos membros do GT-ACV RenovaBio; b) apresentação dos dados em oficina de trabalho on-line, com participação de representantes do setor produtivo; e c) apresentação dos dados em relatório técnico, disponibilizado para o setor produtivo para análise e retorno com sugestões devidamente justificadas, com embasamento técnico-científico e seguindo as premissas do estudo.

2.3. Determinação da intensidade de carbono (IC) na RenovaCalc

O cálculo da intensidade de carbono (em kg de CO_{2eq}/t de colmos de cana) do perfil “típico” para os diferentes estados brasileiros foi realizado diretamente na RenovaCalc, na versão 7.0 (vigente em 2023) e na versão 9.0, que será futuramente implementada. Para isto, foram usados os índices de eficiência calculados anteriormente, em uma simulação, considerando uma área de 100 ha e a produção baseada na produtividade.

A RenovaCalc, versão 9.0. recebeu uma série de atualizações em relação à versão anterior, conforme descrito a seguir:

- Uso da versão 3.9.1 do banco de dados ecoinvent para calcular as pegadas de carbono dos insumos da produção de cana-de-açúcar.
- Utilização de “datasets” do tipo “mercado”, sempre que disponíveis, considerando como escopo geográfico preferencialmente BR (Brasil), RoW (rest-of-world) ou GLO (Global).
- Cálculo da Pegada de Carbono dos insumos pelo software SimaPro (versão 9.5.0.0), utilizando o GWP 100 (IPCC, 2021), sem contabilizar a infraestrutura e as emissões de mudança de uso da terra (MUT).
- Atualização dos fatores de caracterização, de acordo com o AR6 (IPCC, 2019).
- Atualização dos fatores de emissão dos fertilizantes minerais, orgânicos e resíduos culturais segundo o IPCC (2019).
- Atualização do valor da “razão de resíduos agrícolas sobre o solo” com base no IPCC (2019).

3. Resultados e Discussão

3.1. Representatividade dos estados brasileiros na produção de cana e seleção da base de dados para compor os seus “perfis típicos”

No Brasil, foram identificados oito estados com produção de colmos de cana-de-açúcar $\geq 1\%$ em relação à produção nacional, nas safras 2019, 2020 e 2021 (IBGE, 2023). Juntos representaram 99,6% do total produzido no país (Figura 8), indicando que o estudo deveria propor os perfis de produção de cana-de-açúcar

“típicos” para cada um destes estados. São Paulo (SP) destacou-se como maior produtor, com entrega de 57% da produção nacional. Outros estados também apresentaram produções relevantes, dentre esses: Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná.

A produção expressiva da cana-de-açúcar distribuída por vários estados do país e a ampla contribuição brasileira para a produção mundial de colmos, como o primeiro no “ranking” da FAOSTAT historicamente, reforçou a necessidade de uma base de dados robusta e reconhecida, para caracterizar os sistemas de produção regionais. Dessa forma, a possibilidade de uso do banco de dados agrícolas primários da própria RenovaCalc foi priorizada. Também houve consulta a duas bases de inventários de ciclo de vida de produtos internacionais (“ecoinvent database”, “Global Feed LCA Institute (GFLI) database”), porém os resultados apontaram que os inventários depositados só representavam seis estados brasileiros (SP, GO, MG, MS, PR e MT) e consideravam informações de consumos de insumos e operações agrícolas da safra 2014, portanto estavam desatualizados em relação aos dados da RenovaCalc, reforçando que a opção pelo uso de dados certificados da RenovaBio seria a mais adequada.

Na análise do banco de dados agrícolas primários da RenovaCalc, verificou-se a disponibilidade de grande número de registros, Mesmo com a exclusão de dados atípicos, em diferentes anos de certificação, sendo: 21 registros em 2018, 201 registros em 2019, 588 registros em 2020, 551 registros em 2021 e 32 registros em 2022. Essa massa robusta de dados certificados foi considerada adequada para a caracterização do sistema de produção de cana-de-açúcar para dez (10) estados brasileiros (SP, GO, MG, MS, PR, MT, AL, PE, PB e BA), contribuindo tanto para os oito (8) maiores produtores (Figura 8), como para dois estados adicionais, PB e BA.

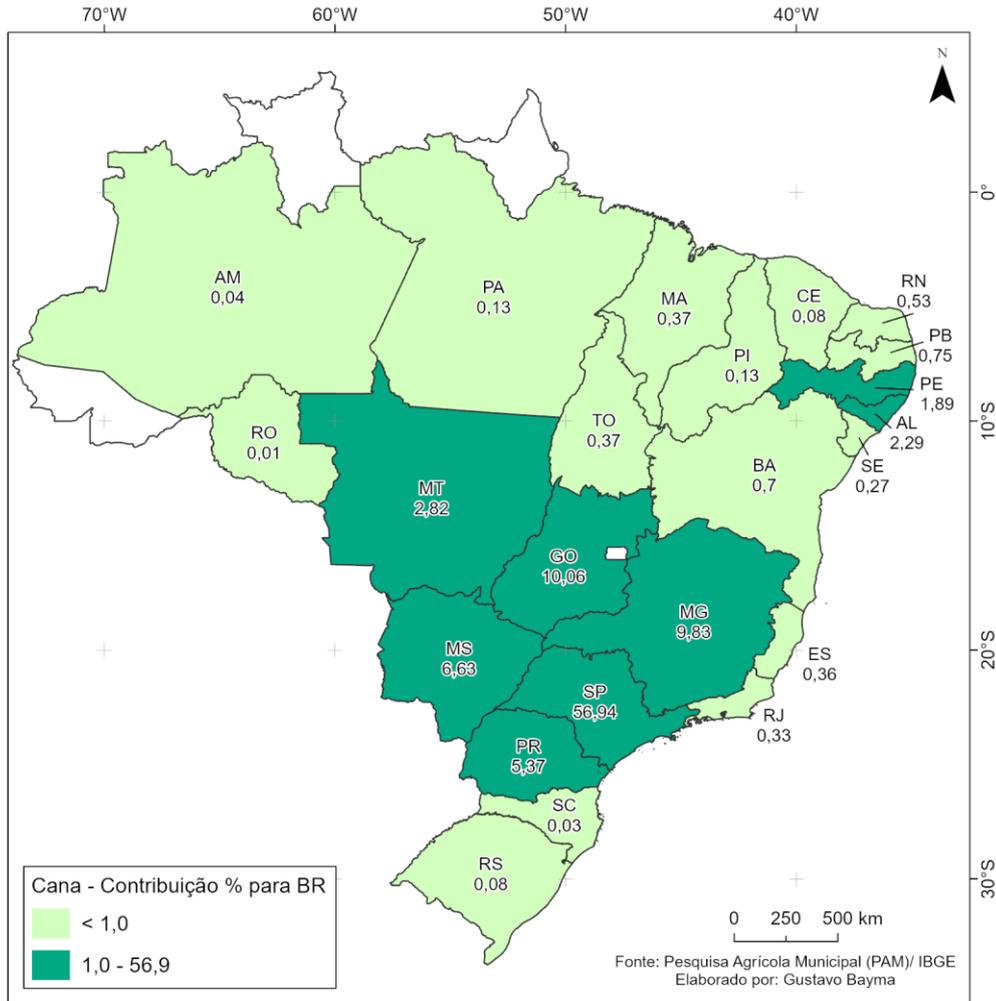


Figura 8. Estados produtores de cana-de-açúcar e suas contribuições percentuais para a produção da cultura no Brasil, considerando os anos de 2019, 2020 e 2021 do IBGE.

A representatividade das informações do banco de dados agrícolas primários certificados na RenovaBio, para extrapolação como perfil estadual, encontra-se na Figura 8. Verificou-se que para os sete (7) estados mais relevantes, a contribuição da cana-de-açúcar certificada foi superior a 10% do total de colmos produzido no estado correspondente, no período estudado. Os maiores valores foram observados para GO, MG e SP, respectivamente, que juntos responderam por mais de 77% do total de cana-de-açúcar nacional no período. Isto corroborou para a escolha do uso desse conjunto de dados e garantiu a confiabilidade na representação do perfil de produção mais atual da

cultura na escala estadual. Cabe ainda destacar que, desde sua origem, a Política já vislumbrava que o banco de dados da RenovaCalc retroalimentaria as informações necessárias para a sua otimização e continuidade.

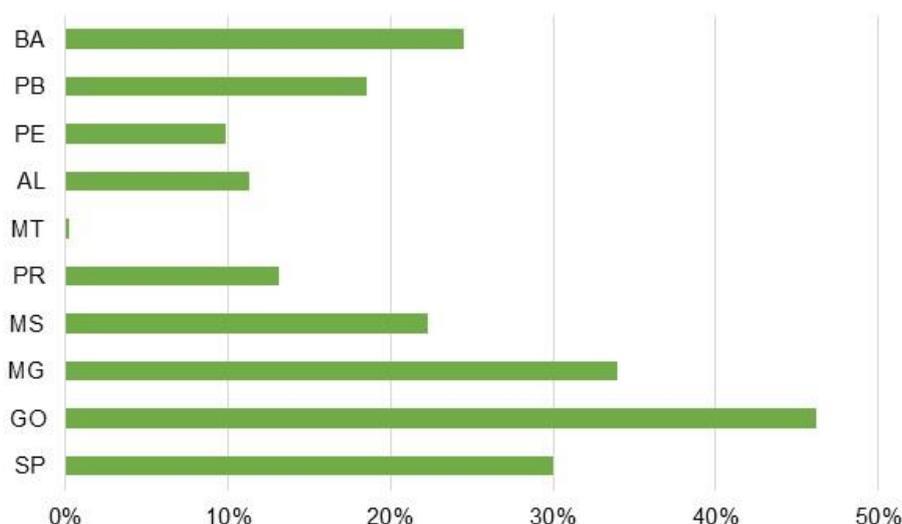


Figura 8. Porcentagem de contribuição da produção de colmos de cana-de-açúcar com dados primários, declarados na RenovaCalc, em relação à produção estadual de colmos das safras 2019-2020-2021/IBGE.

3.2. Composição do perfil “típico” da produção da cana-de-açúcar na escala estadual

O perfil “típico” da produção da cana-de-açúcar, para os dez estados brasileiros que possuem dados agrícolas primários certificados na RenovaBio, recebeu uma alteração pontual, apontada como necessária pelos especialistas. Foram feitos ajustes nas doses de nitrogênio e fósforo para as fontes MAP e DAP, de forma que as concentrações de N e P_2O_5 das formulações ficassem alinhadas com base no teor de N e, para os casos onde os ajustes tenham aumentado a quantidade de P_2O_5 , fez-se o desconto do excedente na categoria – “Outros fertilizantes P_2O_5 ”.

A comparação dos perfis “típicos” estaduais com o perfil típico em escala nacional, presente na Resolução ANP 758 (ANP, 2018), encontra-se na Tabela 2. Verificou-se uma série de melhorias na descrição do perfil de produção, por exemplo, com dados mais atuais e específicos de impurezas vegetais vindas do

campo - uma informação que afeta a intensidade de carbono final da cultura, pois altera a massa real de cálculo.

Outro ponto de melhoria de alta relevância foi a atualização da fração de área queimada em relação ao total de área cultivada. Os valores atualizados para os maiores estados produtores ficaram entre 1,8% e 5,3%, significativamente inferiores ao utilizado na escala nacional da Resolução ANP 758 (18%). Por outro lado, os estados do nordeste do Brasil, que ainda realizam queima em suas áreas, confirmaram esse cenário, com taxas entre 52% e 86%. Esse parâmetro afeta de forma significativa a intensidade de carbono da cana-de-açúcar.

Houve também melhor discriminação das doses e fontes de calcário e de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, que no perfil nacional se restringia ao calcário dolomítico, à ureia, ao superfosfato simples e ao cloreto de potássio. Com isto foi possível atualizar valores de consumo e também utilizar os inventários mais assertivos de ciclo de vida da produção desses insumos. No caso do calcário, também foi possível ajustar as emissões em campo, com o uso de fatores diferentes para cada fonte, seguindo o guia IPCC (2019).

Os volumes de calcário foram em sua maioria ajustados para cima, demonstrando a valorização, pelo setor canavieiro, da calagem de forma mais ajustada, visando aumentos de produtividade. Já o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos se aproximou dos valores adotados pela Resolução ANP 758, com algumas exceções como a Bahia, que apresentou doses mais elevadas, enquanto os fosfatados se aproximaram do dobro do valor anterior e os potássicos foram reduzidos. Essa redução no potássio mineral pode ser consequência do maior volume observado de consumo de vinhaça, em todos os estados.

O maior uso de fertilizantes orgânicos foi generalizado nos estados. Além da vinhaça, já citada, houve aumento também na declaração do uso de maiores doses de torta de filtro e outros orgânicos. Esse movimento de valorização de produtos orgânicos vem crescendo na agricultura brasileira, mas no caso específico da cana-de-açúcar, a prática de reaproveitamento de resíduos

agroindustriais é prática comum e os dados levantados demonstram que está se intensificando ainda mais.

Com relação aos combustíveis usados na produção agrícola, verificou-se que a regionalização dos perfis possibilitou uma maior diferenciação entre fontes energéticas, que anteriormente se concentrava no diesel. Foram caracterizados consumos para diesel, gasolina, etanol, energia elétrica vinda da rede, além de energia solar. Com relação ao diesel, foi também possível uma melhor discriminação a respeito do teor de biodiesel na mistura.

Um ponto limitante e que merece atenção em atualizações futuras foi a ausência de informações referentes ao consumo de pesticidas (herbicidas, inseticidas, fungicidas, nematicidas, entre outros). Isto porque a RenovaCalc não solicita esse tipo de insumo (por não ter peso expressivo na intensidade de carbono do produto final), impossibilitando a recuperação dessa informação por meio da ferramenta.

3.3. Intensidades de carbono - IC

As intensidades de carbono (IC) relativas aos perfis estaduais, simuladas na RenovaCalc versão 7.0 (RN7.0, em uso) e 9.0 (RN9.0, a ser implementada), encontram-se na Figura 9. A simulação na RN7.0 resultou em IC entre 34,5 e 46,7 kg de CO₂eq/t de colmos da cana-de-açúcar, enquanto na RN9.0 os valores foram de 36,9 a 53,5 kg de CO₂eq/ t de colmos da cana-de-açúcar. Os valores calculados na versão a ser implementada (RN9.0) são em média 10% superiores aos da versão em vigor, devido às atualizações descritas na metodologia. Observando apenas o valor “típico” que está na Resolução 758 (BR758) da Figura 9, percebe-se que esta atualização contribuiu com cerca de 3% de incremento na intensidade de carbono média, com peso maior nos perfis de produção em escala estadual.



Meio Ambiente

Tabela 2. Índices de eficiência “típicos” para o cultivo da cana-de-açúcar em diferentes estados do Brasil.

Insumos agrícolas	SP	GO	MG	MS	PR	MT	AL	PE	PB	BA	Outros	RANP/758
Impureza vegetal (kg/t cana)	75,93	73,80	75,31	77,03	70,28	53,10	54,59	71,00	72,79	58,20	72,79	-
Palha recolhida (%)	0,000265	0,001134	-	0,000356	-	-	-	-	-	-	-	-
Área queimada (%)	4,84	4,20	5,29	1,80	2,82	-	77,44	86,20	62,20	52,12	62,20	18,00
Calcário												
Calcítico (kg/t cana)	0,30	0,17	0,92	0,11	-	-	-	0,01	0,42	-	0,42	0,00
Dolomítico (kg/t cana)	11,57	8,76	12,11	14,85	13,40	12,65	11,20	10,85	9,19	0,00	9,19	5,79
Gesso (kg/t cana/ano)	5,37	3,63	6,09	4,36	5,07	5,77	2,11	0,16	0,92	1,85	0,92	2,79
Nitrogênio												
N Ureia (kg/t cana)	0,35	0,25	0,20	0,39	0,32	-	0,07	0,05	0,06	1,14	0,06	1,11
N MAP (kg/t cana)	0,09	0,09	0,09	0,08	0,02	0,10	0,04	0,08	0,06	0,05	0,06	-
N DAP (kg/t cana)	0,0004	-	0,0071	0,0019	-	-	0,02074	-	0,0158	-	0,0158	-
N Nitrato Amônio ((kg/t cana)	0,34	0,34	0,36	0,23	0,16	0,84	0,43	0,02	0,30	0,21	0,30	-
N UAN (kg/t cana)	0,09	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N Amônia Anidra (kg/t cana)	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N Sulfato Amônio (kg/t cana)	0,01	0,11	0,06	0,09	0,01	0,05	0,43	0,93	0,25	0,04	0,25	-
N Nitrato Cálcio (kg/t cana)	0,0001	0,002	0,0003	0,007	-	-	0,006	0,001	-	0,376	-	-
N outros (kg/t cana)	0,12	0,11	0,27	0,35	0,35	0,09	0,23	0,01	0,43	-	0,43	-
Fósforo												
P ₂ O ₅ MAP (kg/t cana)	0,41	0,46	0,50	0,41	0,13	0,53	0,22	0,40	0,32	0,25	0,32	-
P ₂ O ₅ DAP (kg/t cana)	0,001	-	0,02	0,005	-	-	0,06	-	0,04	-	0,04	-
P ₂ O ₅ Super Simples (kg/t cana)	0,03	0,01	0,02	0,01	0,004	0,11	0,02	0,02	-	-	-	0,44
P ₂ O ₅ Super Triplo (kg/t cana)	0,019	0,035	0,013	0,023	0,029	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅ Outros (kg/t cana)	0,14	0,06	0,14	0,41	0,42	-	0,10	-	0,03	0,01	0,03	-
Potássio												
K ₂ O KCL (kg/t cana)	0,66	0,74	0,67	0,78	0,23	0,69	1,15	1,49	1,10	0,76	1,10	1,35
K ₂ O Outros (kg/t cana)	0,12	0,10	0,27	0,08	0,59	0,11	0,23	0,01	0,34	0,42	0,34	-
Vinhaça (L/t cana)	663,3	700,8	699,5	625,8	378,0	1.220,7	595,3	1.201,2	1.935,3	16.587,8	1.935,3	440,0
Conc. N (g/L)	0,38	0,37	0,34	0,34	0,98	0,19	0,30	0,34	0,33	0,02	0,33	0,38
Torta Filtro (kg/t cana)	32,56	21,64	27,32	8,16	22,11	96,47	26,48	22,40	29,00	14,81	29,00	30,60
Conc. N (g/kg)	2,92	2,60	2,87	3,16	2,28	2,80	2,71	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Cinzas (kg/t cana)	13,47	9,97	6,64	5,94	14,89	-	1,47	18,35	8,87	-	8,87	7,20
Outros orgânicos (kg/t cana)	4,63	1,21	6,21	18,10	6,44	-	-	-	-	27,66	-	-
Diesel												
B10 (L/t cana)	1,84	1,80	2,15	2,18	2,31	3,96	1,45	1,77	1,83	1,89	1,83	3,18
B11 (L/t cana)	1,08	0,91	0,63	0,53	0,68	-	1,21	1,16	1,21	0,16	1,21	-
Bx (12%) (L/t cana)	1,31	1,22	1,55	1,30	1,51	-	0,98	1,08	1,01	0,90	1,01	-
Gasolina (C) (L/t cana)	0,004	0,003	0,006	0,004	0,001	-	0,035	0,042	0,038	0,013	0,038	-
Etanol hidratado (L/t cana)	0,22	0,41	0,22	0,12	0,20	0,33	0,40	0,08	0,26	0,18	0,26	-
Eletricidade Mix (kwh/t cana)	0,04	0,57	0,14	-	-	-	0,89	0,16	7,98	23,09	7,98	-
Eletricidade solar (kwh/t cana)	0,0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Comparando-se as intensidades de carbono obtidas para cada estado, verificou-se o aumento em relação ao perfil “típico” de referência da Resolução 758 para todos os estados estudados, em ambas as versões da RenovaCalc. Isso se deve não à regionalização, propriamente, mas às atualizações referentes aos consumos de insumos, à maior discriminação de fontes de corretivos e fertilizantes, além da adição de diversas fontes energéticas, que não estavam contidas no perfil nacional anterior. Cabe destacar que os valores regionalizados ainda serão acrescidos de “penalização” para compor o perfil “padrão” regionalizado na RenovaCalc.

As diferenças na IC da cana-de-açúcar entre os estados ocorreram em função das taxas de queima e também na variação no consumo dos insumos. Merece menção a redução na porcentagem de queima da cana-de-açúcar para colheita nos principais estados produtores, com valores entre 1,8 e 5,3%, enquanto o valor anterior era de 18%, demonstrando a melhor representatividade do uso dessa prática entre as regiões do Brasil.

A PB foi o estado cuja cana apresentou a maior IC, na simulação usando a versão 9.0 da RenovaCalc (Figura 9), devido ao maior consumo de insumos, em relação ao perfil “típico” da Resolução 758 (Tabela 1). Na versão 7.0 da RenovaCalc, a cana-de-açúcar com maior intensidade carbono foi a da BA. Os estados de GO e SP apresentaram os perfis de produção com menores intensidades de carbono, mostrando um padrão tecnológico mais sustentável, o que é bastante positivo, considerando que são os estados maiores produtores nacionais (Figura 8).

A maior IC da cana-de-açúcar produzida no estado da PB, com emissão de 45,5 kg CO₂eq/t (na versão 7.0 da RenovaCalc) e 53,5 kg CO₂eq/t de cana (na versão 9.0), levou à sua escolha para representar os demais estados, que não possuem perfil de produção próprios, por abordagem conservadora.

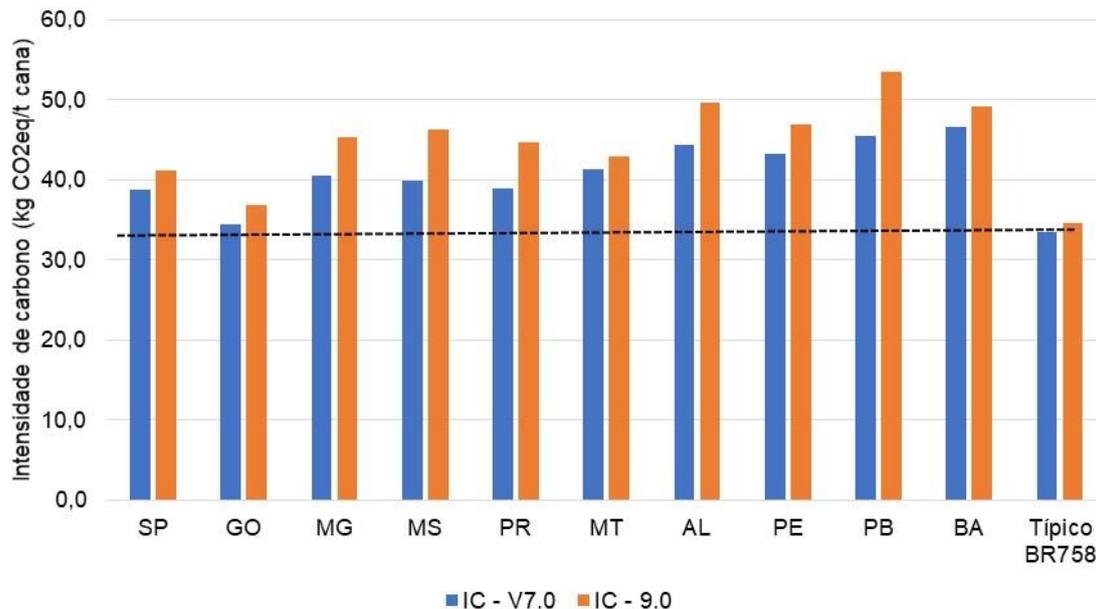


Figura 9. Intensidade de carbono da cana-de-açúcar produzida em sistema de produção “típico” de cada estado brasileiro e do perfil de referência contido na Resolução ANP 758 (ANP, 2018), calculadas nas versões 7.0 e 9.0 da RenovaCalc.

4. Considerações finais

O perfil “típico” de produção da cana-de-açúcar não equivale ao perfil “padrão” usado na RenovaCalc. O perfil “padrão” é composto pelo perfil “típico” adicionado de penalização, de forma a garantir que não haja subestimação das emissões da produção da biomassa do produtor que não tem condições de fornecer dados primários, e cujo biocombustível participa do processo de certificação dessa Política.

A proposição de regionalizar os perfis “típicos” de produção da cana-de-açúcar na escala estadual está alinhada com os princípios da RenovaBio de incentivo contínuo ao uso do dado primário em todas as etapas de produção de biocombustíveis. O uso de informações provenientes do banco de dados originário das certificações da RenovaBio confere transparência e credibilidade à Política. A atualidade dos dados (2018-2023) também contribui para uma melhor representação das tecnologias e inovações adotadas no setor.

A intensidade de carbono da cana-de-açúcar variando entre os estados confirma a relevância de uso dos perfis estaduais de produção da cana-de-

açúcar na RenovaCalc. Assim, a disponibilização de perfis “típicos” para os estados brasileiros maiores produtores de cana-de-açúcar, traz a oportunidade de representar melhor a produção da cultura local, que embasa o dado “padrão” no âmbito da RenovaCalc, substituindo o perfil nacional considerado na Resolução ANP 758/2018.

A atualização dos perfis, em um intervalo de tempo condizente com outras iniciativas da Política, pode trazer benefícios ao representar melhor os sistemas de produção vigentes. Entretanto, a definição desse intervalo depende de questões maiores, ligadas à definição de metas, à vigência da certificação das unidades produtoras, entre outras.

Recomenda-se a busca por informações mais atuais de uso de pesticidas em outras bases de dados, ainda que os valores de uso desses insumos não impactem a intensidade de carbono de forma significativa.

5. Conclusões

A atualização do perfil “típico” de produção de cana-de-açúcar, considerando a escala estadual, representa melhor as condições de produção da cultura no Brasil, sendo recomendada para uso na RenovaCalc, após a adição das penalidades necessárias para a composição do dado padrão, que garante a segurança da Política.

O uso dos índices de eficiência de produção da cana-de-açúcar, obtidos das certificações de etanol 1GC e 1GFlex da própria RenovaCalc, garante acurácia e credibilidade na representação dos perfis de produção em uso, considerando as tecnologias e inovações adotadas pelo setor canavieiro durante a sua participação na RenovaBio. Recomenda-se a continuidade desse procedimento de atualizações, obedecendo o intervalo de tempo condizente com outras iniciativas da Política, respeitando-se os seus princípios.

6. Financiamento

Este estudo foi financiado pelo projeto Finep 01.22.0591.00, SEG 10.23.00.039.00.00.

7. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Resolução no 758, de 23 de novembro de 2018. Diário Oficial da União, publicado em: 27/11/2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/legislacao-do-renovabio>

_____. **RenovaCalc, v7.0.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/renovacalc>

BRASIL. LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017. DISPÕE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS (RENOVABIO) E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO: SEÇÃO 1, BRASÍLIA, DF, ANO 154, N. 247, P. 4, 27 DEZ. 2017.

BRASIL - FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, Paris Agreement, NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). Brasília, 21 March 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>

CHERUBINI, F. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. Energy Conversion and Management, v. 51, n. 7, p. 1412-1421, 2010.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas – Cana-de-açúcar.**- indústria Brasília, 2023. Acesso <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10#gr%C3%A3os-2>

ECOINVENT. Ecoinvent Database v3.6, 2019. Acesso em: 01/10/2023. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-6/>

_____. Ecoinvent Database v3.9, 2022. Acesso em: 01/10/2023. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-9/>

FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, Paris Agreement, NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). Brasília, 21 March 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>



Meio Ambiente

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; PICOLI, J. F. **Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry – Brazil**.ecoinvent Association, Zürich, Switzerland, 2018.

GFLI - Global Feed LCA Institute, 2022. Acesso em: 01/10/2023. Disponível em: <https://globalfeedlca.org/gfli-database/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): 2021**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa>

_____. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes: 2023**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland, 2006.

_____. Special Report on 1.5 Global Warming. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Geneva: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>

_____. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. DOI:10.1017/9781009157896.

ISO. **International Organization for Standardization. ISO 14040: Environmental Management of Life Cycle Assessment: Principles and Framework**. Geneva: ISO, 2006 a.

ISO. **International Organization for Standardization. ISO 14044: Environmental Management of Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines**. Geneva: ISO, 2006 b.

ISO. **International Organization for Standardization. ISO 14067:2018 greenhouse gases - carbon footprint of products — requirements and guidelines for quantification**. 2018. 46 p. Disponível em: <www.iso.org/standard/71206.html>. Acesso em: 02 fev. 2022.

MATSUURA, M.I.S.F.; SCACHETTI, M.T.; CHAGAS, M.F.; SEABRA, J.E.A.; MOREIRA, M.M.R.; BONOMI, A.M.; BAYMA, G.; ÍCOLI, J.F.; MORANDI, M.A.B.; RAMOS, N.P.;



Meio Ambiente

CAVALETT, O.; NOVAES, R.M.L. **RenovaCalc: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio.** Nota Técnica, março 2018, 58p. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/arquivos-consultas-e-audiencias-publicas-2018/cap-10-2018/cp10-2018_nota-tecnica-renova-calc.pdf

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **RenovaBio: Programa Nacional de Biocombustíveis, 2020.** Disponível em: <http://renovabio.mme.gov.br/renovabio/sobre-o-renovabio>

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **RenovaBio, 2017.** Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>

_____. **RenovaBio, 2020.** Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>

_____. **Boletim Mensal dos Biocombustíveis - Junho 2021.** <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/publicacoes-institucionais/boletim-mensal-dos-biocombustiveis>

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production system.** Zurich: Ecoinvent Centre, 2011.

ROSSETTO, R.; RAMOS, N. P.; PIRES, R. C. de M.; XAVIER, M. A.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. de A. **Sustainability in sugarcane supply chain in Brazil: issues and way forward.** Sugar Tech, v. 24, n. 3, p. 941-966, 2022.