

Relatório Final de Trabalho



REGIONALIZAÇÃO DOS PERFIS “TÍPICOS” DA PRODUÇÃO DE MILHO PARA USO NO RENOVABIO

*Nilza Patrícia Ramos¹
Natalia Crespo Mendes¹
Marília I. da Silveira Folegatti¹
Gustavo Bayma¹
Renan M. L. Novaes¹
Anna Letícia M. T. Pighinelli¹
Marcelo A. Boechat Morandi²
José Paulo P. das Dores Savioli¹
Rubens Augusto de Miranda³
Alexandre Ferreira da Silva³*

¹Embrapa Meio Ambiente ²Embrapa Assessoria de Relações Internacionais ³Embrapa Milho e Sorgo

**Jaguariúna, SP
Fevereiro 2024**

Sumário

1. Introdução.....	1
1.2. Milho como matéria-prima na RenovaCalc	3
1.3. Regionalização do perfil da produção agrícola do milho	10
2. Metodologia.....	12
2.1. Composição do perfil de produção de milho	13
2.2. Validação dos perfis de produção de milho regionalizados.....	14
2.3. Índices de eficiência no uso de insumos e determinação da intensidade de carbono (IC) na RenovaCalc	15
2.4. Análise comparativa da intensidade de carbono entre os estados	16
3.1. Estados brasileiros produtores de milho e seleção da base de dados para compor os seus “perfis típicos”	17
3.2. Composição do perfil típico de produção de milho na escala estadual.....	22
3.3. Índices de eficiência no uso de insumos, intensidades de carbono - IC e comparações entre os perfis regionalizados na RenovaCalc	30
4. Considerações finais	36
Referências.....	38

Regionalização dos perfis “típicos” da produção de milho para uso no RenovaBio

Nilza Patrícia Ramos¹; Natalia Crespo Mendes¹; Marília I. da Silveira Folegatti¹; Gustavo Bayma¹; Renan M. L. Novaes¹; Anna Leticia M. T. Pighinelli¹; Marcelo A. Boechat Morand²; José Paulo P. das Dores Savioli¹; Rubens Augusto de Miranda³; Alexandre Ferreira da Silva³

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

² Embrapa Assessoria de Relações Internacionais/ARIN, Parque Estação Biológica, s/nº, Brasília-DF, CEP. 70.770-901.

³ Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia Carlos Strass, s/nº, Distrito de Warta, Londrina-PR, CEP,86.085-981

Resumo

A RenovaCalc é a ferramenta que calcula a nota de eficiência energético-ambiental do biocombustível participante da política RenovaBio, abrangendo campos de preenchimento das diferentes etapas de produção deste biocombustível, que pode ser o etanol, o biodiesel, o biometano e o bioquerosene de aviação. A ferramenta usa a lógica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos, permitindo que, na etapa agrícola de preenchimento, os produtores de biomassa de milho usem dados primários ou dados “padrão”, sendo estes últimos calculados a partir de um perfil típico de produção adicionado de uma penalização. O uso do dado “padrão” permite ao usuário participar da RenovaBio com informações parcialmente verificáveis, mas que garantem que as emissões sejam, no mínimo iguais ou superiores ao que ocorre de fato em campo. Atualmente, o perfil típico do milho reflete um sistema de produção em escala nacional, podendo não representar bem as diferentes regiões produtoras do Brasil. Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar sistemas “típicos” de produção de milho, considerando a realidade das diferentes regiões produtoras brasileiras, que após sofrer penalização, poderá ser utilizado na opção de dado “padrão regionalizado” na RenovaCalc. No estudo foram respeitadas duas premissas da política: (i) estímulo ao uso do dado “primário” na RenovaCalc e (ii) transparência na metodologia e nos parâmetros usados na ferramenta. A metodologia envolveu a identificação dos estados brasileiros produtores de milho em 1ª e 2ª safras; a busca por fontes confiáveis de informações sobre a forma de se produzir a cultura na escala estadual em cada uma destas safras, seguida da combinação dos perfis de produção da 1ª e 2ª safra para cada estado e a proposição de índices de eficiência no consumo de insumos para compor a RenovaCalc. Também foram realizadas simulações da

intensidade de carbono (IC) na ferramenta, para entender as alterações em relação ao perfil de referência atual. Como resultado, foram identificados 14 estados com relevância na produção de milho, os quais tiveram seus perfis de produção representados a partir de Inventários de ciclo de vida da cultura em 1ª e 2ª safras, depositados pela Embrapa, em 2022, nas bases de dados ecoinvent v3.9, GFLI v2022 e no SICV Brasil 2022. Estes inventários foram ajustados e confirmados por especialistas na produção de milho no Brasil. Com a regionalização foi possível obter maior especificidade no uso de fontes de calcário e de fertilizantes, comparativamente ao perfil típico nacional, vigente hoje na RenovaCalc. Observou-se maiores índices de eficiência de uso do calcário e fertilizantes, indicando maior uso destes insumos por tonelada de milho produzido, com poucas alterações no uso de diesel e de pesticidas. As IC dos perfis estaduais variaram entre 253-402 kgCO₂eq/t milho em simulações na RenovaCalc versão 7.0, todos valores superiores ao do perfil atual nacional que é de 253 kgCO₂eq/t milho, com exceção do estado do Mato Grosso que apresentou o mesmo valor. O mesmo comportamento foi observado usando a RenovaCalc 9.0 (versão futura), onde a variação na IC foi 256 a 410 kgCO₂eq/t milho, com IC do perfil atual nacional de 256 kgCO₂eq/t milho. Mato Grosso, seguido de Goiás apresentaram os perfis de produção com menor IC, mostrando a produção mais eficiente do milho, enquanto Maranhão, Pará e Bahia se caracterizaram com sistemas mais conservadores. O estudo demonstrou ser adequado o uso dos perfis “típicos” estaduais para compor após a penalização, o novo “perfil padrão regionalizado do milho na RenovaCalc. Vale registrar que os dados utilizados refletem as safras 2017-2018-2019. Ainda assim, correspondem às fontes mais atuais e completas disponíveis – o que justificou seu uso. Houve respeito à premissa de incentivo ao uso do dado primário e ao uso de informações transparentes e isentas de interesse econômico, preconizadas na Política. Indica-se a necessidade de atualizações frequentes dos perfis de produção do milho nas diferentes safras cultivadas nas regiões brasileiras, obedecendo o intervalo de tempo condizente com outras iniciativas da RenovaBio, como forma de manter a coerência e com maior assertividade do cálculo das emissões na RenovaCalc.

Palavras-chave: Zea Mays, sistema de produção, emissões e RenovaBio

1. Introdução

1.1. RenovaBio

O Brasil assinou o compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) junto ao Acordo de Paris, como forma de minimizar os efeitos das mudanças climáticas em nível global. Para isto, foram estabelecidas metas de redução de 37% e 50% das emissões, respectivamente até 2025 e 2050, em relação às emissões nacionais de 2005 (FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, 2022). O cumprimento deste compromisso envolve a adoção governamental de estratégias como a de ampliação da participação das energias renováveis para até 45% da matriz energética do país. Assim, em 2017 foi introduzida a Política Nacional de Biocombustíveis, denominada 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 de combustíveis.

Os biocombustíveis com comprovada eficiência energético-ambiental (menor emissão de GEE por MJ em seu ciclo de vida), em relação aos seus fósseis de referência, 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). Atualmente, são passíveis de certificação na RenovaBio o etanol (de primeira e de segunda geração), o biodiesel, o biometano e o bioquerosene de aviação (ANP, 2023), desde que se comprove a elegibilidade da biomassa envolvida na sua produção e a eficiência energético-ambiental do biocombustível em questão. A eficiência é calculada utilizando uma ferramenta dedicada exclusivamente à Política, denominada RenovaCalc (Matsuura, 2018).

A certificação do biocombustível tem como primeiro passo a comprovação do cumprimento dos critérios de elegibilidade da matéria-prima energética, que se relacionam indiretamente com algumas das leis ambientais vigentes no país, como o Código Florestal. Os critérios exigem a ocorrência da produção da biomassa energética em imóvel com Cadastro Ambiental Rural (CAR) ativo ou pendente e em áreas que não tiveram supressão de vegetação nativa, a partir de novembro de 2018,

data da publicação da Resolução ANP 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 tem como objetivo 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. Desta forma, a etapa de elegibilidade associa a geração de CBIO ao uso sustentável da terra.

A metodologia de cálculo de carbono da RenovaCalc segue as premissas da avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos, que é normatizada pelas normas 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, a partir de uma base de dados, a intensidade de carbono (IC) dos insumos (incluindo combustíveis e eletricidade), abrangendo as emissões das 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 biocombustível consideradas na RenovaCalc, com indicação do tipo de dado requerido e da necessidade de verificação.

A etapa agrícola da RenovaCalc traz a opção de contabilizar o carbono mediante o uso de dados “primários” ou dados “padrão” para as biomassas cana-de-açúcar, milho e soja, mas com previsão de incorporação da palma de óleo (ou dendê) até 2024. Na opção de dados primários existem campos de preenchimento envolvendo a área, a produção, as impurezas e os mais diversos insumos (corretivos, fertilizantes químicos e orgânicos, combustíveis e outras fontes de energia) utilizados na produção da biomassa em campo. Este tipo de preenchimento (dado “primário”) exige a verificação, no processo de certificação, de um conjunto mais amplo de dados, que descreve o perfil de produção agrícola; quanto ao dado “padrão”, o conjunto de dados

verificáveis é bem mais restrito, 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 variação (“penalização”), com função de garantir que não haja subestimação das emissões da produção da biomassa. O dado “padrão” não exige verificação dos parâmetros de entrada referentes ao consumo de insumos agrícolas, combustíveis e outras fontes de energia. 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 RenovaCalc.

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, 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 importante ferramenta para prevenir “greenwashing”.

1.2. Milho como matéria-prima na RenovaCalc

O milho é a segunda “commodity” de maior destaque na agropecuária brasileira, produzido numa área de 22,3 milhões de hectares, na safra 2022-2023, com volume de 131 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2023a). A sua produção ocorre em diferentes períodos do ano (safra) a depender das condições edafoclimáticas da região do país, com destaque para o plantio em 1ª safra, realizado em época tradicional de chuvas, variando de agosto/setembro na região Sul, outubro/novembro no Sudeste e Centro Oeste e início do ano no Nordeste, além do plantio em 2ª safra, que ocorre em condições de sequeiro, nos meses de fevereiro/março após a cultura de verão e de forma predominante nos estados do Sudeste, Centro Oeste, além do Paraná (PEREIRA-FILHO & GARCIA, 2021).

Meio Ambiente

A destinação principal do milho é voltada para alimentação humana e ração animal, mas atualmente os grãos também têm atendido à cadeia de biocombustíveis, com produção de etanol e biodiesel, sendo este último produzido a partir do óleo do milho, extraído na mesma planta industrial do etanol (Figura 2), em quantidades entre 13-15L/t de milho (MOREIRA & ARANTES, 2018). Outro produto de interesse econômico, gerado neste processo, é o DDG (grãos secos de destilaria) ou o DDGS (grãos secos de destilaria com solúveis), utilizados na ração animal (bovinos, suínos, equinos, aves, peixes e pets) com alto valor agregado (MILANEZ et al., 2018).



Figura 2. Representação de produtos gerados em planta industrial de etanol de milho típica.

Nos últimos anos, o etanol de milho foi o biocombustível que mais cresceu na matriz brasileira, fortemente incentivado pela política RenovaBio, mas também como uma destinação de interesse econômico para o milho produzido no Centro-Oeste do Brasil, que possui custos elevados de escoamento de produção (MILANEZ et al., 2018). Numa retrospectiva, observa-se a produção de 791 milhões de litros de etanol de milho, em 2018, frente às estimativas de produção de 6,1 bilhões de litros, na safra 2023-2024 (Figura 3), o que corresponde ao aumento de 11 vezes o volume, em menos de cinco anos. O estado do Mato Grosso foi o protagonista neste cenário, respondendo por 81% da produção total acumulada, tendo gerado 15 bilhões de L, entre 2018 e 2023, seguido pelo estado de Goiás (CONAB, 2023b).

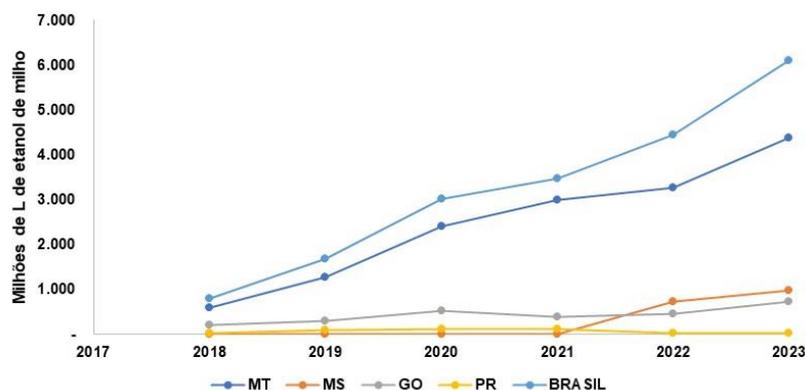


Figura 3. Evolução da produção de etanol de milho no Brasil. Fonte: CONAB, 2023b.

Cabe destacar que o milho vem crescendo em importância como matéria-prima para geração de etanol no Brasil (Figura 4), tendo atingido 13,7% da produção nacional em 2023, com tendência de aumento em 2024. A produção de etanol de milho oferece uma alternativa complementar e valiosa à produção de etanol de cana-de-açúcar, que é tradicionalmente a principal fonte desse biocombustível no Brasil. Sua expansão reflete a busca pela diversificação na matriz de biocombustíveis, contribuindo para a segurança energética nacional.

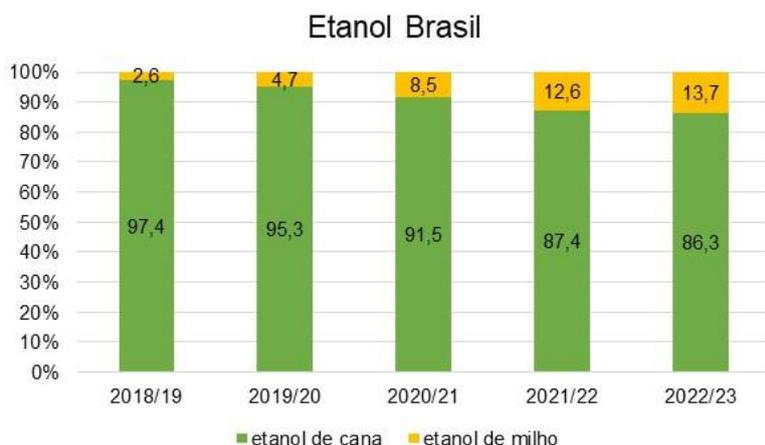


Figura 4. Porcentagem (%) de participação de etanol de milho e de cana-de-açúcar na produção de etanol nacional englobando as safras 2018/2019 até 2022/2023 (UNICA, 2023).

A ampla disponibilidade de matéria-prima, associada ao seu amplo potencial de uso confirmou o potencial de uso do milho na RenovaBio, como biomassa elegível para a produção de biocombustíveis sustentáveis (etanol e biodiesel). A facilidade de

Meio Ambiente

processamento também foi um ponto favorável, considerando o seu aproveitamento em unidades dedicadas, unidades Flex com cana-de-açúcar e ainda em usinas de biodiesel, através de seu óleo. Esta versatilidade corrobora para a produção sustentável e eficientes de biocombustíveis, revertendo em maior mitigação das emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes, como parte do esforço brasileiro em direção a uma matriz energética mais limpa e sustentável (MAPA, 2020). Desta forma, o milho é uma das biomassas que possui, na RenovaCalc, as opções de preenchimento de dados agrícolas “primários” ou “padrão” (Figura 1) e seu uso pode atender às 13 usinas de etanol de milho certificadas na política (Figura 5), além de outras unidades de biodiesel.



Figura 5. Usinas de etanol de milho autorizadas pela ANP para produção e as certificadas (com produção exclusiva ou Flex com cana-de-açúcar) na RenovaBio (ANP, 2023).

A disponibilização da opção de preenchimento na RenovaCalc, do dado “padrão” (“típico + penalização”) do milho, exigiu a identificação do perfil de produção agrícola “típico” do milho brasileiro. O primeiro perfil “típico” foi estabelecido em 2017, no momento da construção da RenovaCalc e da regulamentação da RenovaBio, a qual se baseou em informações do inventário de produção do milho brasileiro publicado noecoinvent 3.6 (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 maize grain BR” (Figura 6).

Dataset identification		Table of content
Activity name	market for maize grain	Exchange summary
geography	BR (Brazil)	Dataset description
Time period	2011-01-01 to 2011-12-31 Valid for the entire period	Detailed information for exchanges
Synonym	None	Sources
ISIC rev.4 ecoinvent	0111: Growing of cereals (except rice), leguminous crops and oil seeds	Notes: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format. Amount and identity of the exchanges in an undefined dataset are independent of modeling choices of the different system models. Linked dataset are available in separate documents.
Reference product	maize grain	Link to the dataset on the ecoinvent website
CPC classification	01122: Maize (corn), other	
Dataset type	Market activity constrained market	
Version - system model	3.6 - Undefined	

Figura 6. Identificação do inventário “market for maize grain – BR” no banco de dados ecoinvent. Fonte: ecoinvent 3.6 (2019).

O ICV “market for maize grain BR” foi construído a partir do perfil de consumo de energia e de insumos e operações agrícolas, mais comuns na produção do milho, englobando o período entre 2012 e 2016, para os cinco maiores estados produtores do Brasil (Figura 7). As informações para a construção deste ICV foram levantadas a partir de consultas ao Agriannual, bibliografias de levantamento de custos e confirmações de especialistas de diferentes áreas (FOLEGATTI-MATSUURA & PICOLI, 2018).

Os perfis dos cinco estados que compuseram o ICV representavam, na época, 73% da produção nacional e foram usados em uma ponderação pela produção de grãos, para compor o perfil Brasil. Optou-se por representar a safra mais expressiva de cada estado, sendo: 2ª safra (safrinha) para os estados de Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás e milho de 1ª safra apenas no estado do Rio Grande do Sul. O cultivo do milho em 2ª safra ocorre após a produção de outra cultura, que normalmente é a soja.

Meio Ambiente

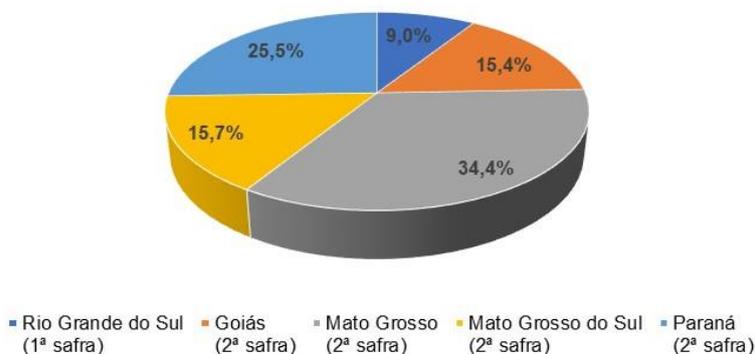


Figura 7. Participação dos principais estados produtores no perfil típico de produção de milho no Brasil, com produção de 1ª e 2ª safra, utilizado na RenovaCalc (até a versão 7.0).

O sistema “típico” de produção de milho descrito no “market for maize grain BR”, que originou os índices de eficiência utilizados na Resolução nº 758 da ANP encontra-se no Quadro 1. A produtividade de referência foi a constante dos dados estatísticos do IBGE no ano civil de 2015 (IBGE, 2015). Para o calcário, foi considerado o benefício do uso deste insumo para duas culturas em sistema de produção e se baseou na rotina dos produtores de aplicarem doses de 3000 kg/ha a cada 3 anos.

As fontes de fertilizantes (N-P₂O₅-K₂O) foram ureia, como fonte nitrogenada, superfosfato simples, como fonte fosfatada, e cloreto de potássio, como fonte potássica. Os pesticidas foram considerados de forma agregada, por meio da soma da quantidade dos seus ingredientes ativos, e vinculados ao inventário “pesticides, unspecified”. O combustível fóssil (diesel) foi estimado a partir da declaração de uso de máquinas e implementos nas diferentes operações agrícolas. 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). Destaca-se que o inventário depositado no ecoinvent passou também pela revisão de terceira parte, por especialistas em ACV.

A caracterização inclui uma fração da produção em 1ª safra, “típico” do RS, combinado com a 2ª safra do MT, PR, GO e MS, sempre em sistema com outras culturas, sem considerar o “cultivo solteiro” (HIRAKURI et al., 2012). A dupla safra é praticada com a 1ª cultura no verão e 2ª cultura no outono/inverno, majoritariamente, em plantio direto, com manutenção de restos culturais em campo e baixa

Meio Ambiente

movimentação do solo antes do plantio. Esse sistema também implica no compartilhamento de recursos naturais e tecnológicos entre culturas comerciais envolvidas no sistema, o que desonera parcialmente o milho no que diz respeito à contabilidade de emissões de GEE (MENDES et al., 2021).

Quadro 1. Valores dos principais parâmetros que representam a condição típica (sem penalização) para o cultivo de milho no Brasil (safras 2012-2016), segundo o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) 'market for maize grain - BR' do ecoinvent, versão 3.6 (2019).

Parâmetro	BR EI 3.6	Descrição geral
Sistemas	100% em sistema de produção	Sistema de produção representando o milho de 1ª (RS) e 2ª safras (MT, PR, GO e MS), em rotação com outras culturas. Não foi considerado o milho em cultivo solteiro, no Brasil.
Produtividade (kg/ha)	6203	Produtividade do Brasil da safra 2015 (IBGE).
Calcário (kg/ha)	262	Calcário calculado considerando-se a aplicação de cerca de 3020 kg/ha a cada 3 anos, respeitando a taxa de alocação com outras culturas.
Sementes (kg/ha)	29	Dose de sementes utilizada nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção.
N (kg/ha)	78	Nitrogênio, usando como fonte predominante a Ureia, com doses obtidas para os principais estados produtores, considerando a ponderação por produção.
P ₂ O ₅ (kg/ha)	68	P ₂ O ₅ , usando como fonte predominante o Superfosfato Simples, com doses obtidas para os principais estados produtores, considerando a ponderação por produção.
K ₂ O (kg/ha)	69	K ₂ O, usando como fonte predominante o Cloreto de Potássio, com doses obtidas para os principais estados produtores, considerando a ponderação por produção.
Pesticidas (kg/ha)	5	Foi utilizada a soma de todos os ingredientes ativos utilizados ao longo do ciclo agrícola, com doses e número de aplicações obtidas para os principais estados produtores, considerando a ponderação por produção.
Diesel B10 (L/ha)	30	Diesel calculado a partir da declaração dos produtores em termos de hora/máquina para cada uma das operações utilizadas nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção.

Os índices de eficiência utilizados na Resolução nº 758 (ANP, 2018) para representar o perfil “típico” do milho brasileiro encontram-se na Tabela 1. Eles foram calculados a partir do Quadro 1, usando cada parâmetro dividido pela produtividade nacional. Após a determinação do perfil típico foram estabelecidas penalizações para compor o perfil “padrão”. Nesta ação, foi considerado o limite superior dos valores

Meio Ambiente

observados em campo para cada parâmetro, pela consulta a especialistas e em discussões do GT-ACV RenovaBio, prezando por uma abordagem conservadora, buscando garantir que as emissões obtidas com os dados “padrão” (penalizado) não sejam inferiores às emissões referentes aos insumos não declarados como dados “primários”, que pretende representar.

Tabela 1. Perfil típico e perfil padrão (típico + penalização) para a produção de milho usados na RenovaCalc (até a versão 7.0).

Parâmetro	Perfil Típico	Perfil Padrão
Calcário calcítico ou dolomítico (kg/t milho)	42,3	105,8
Gesso agrícola (kg/t milho)	-	-
Sementes (kg/t milho)	4,6	11,6
Fertilizantes sintéticos nitrogenados (kg N/t milho)	12,6	31,4
Fertilizantes sintéticos fosfatados (kg P ₂ O ₅ /t milho)	10,9	27,3
Fertilizantes sintéticos potássicos (kg K ₂ O/t milho)	11,2	28,0
Combustível diesel B10 (L/t de milho)	4,8	12,0

Fonte: Matsuura et al. (2018).

O uso dos índices da Tabela 1, considerando a produtividade de 6203 kg/ha de grãos (Quadro 1) levou às emissões de 253,5 e 557,8 kg de CO₂eq/t de grãos de milho, respectivamente, para o perfil típico e padrão (penalizado). A simulação foi realizada na RenovaCalc 7.0 (atualizada em 22/12/2020),

1.3. Regionalização do perfil da produção agrícola do milho

Os perfis de produção característicos de cada produtor podem ser discriminados, de forma fidedigna, na etapa agrícola e industrial de produção do biocombustível, quando se opta pelo uso do dado primário, na RenovaCalc. Isto permite que o usuário represente a sua forma de produzir biomassa, incluindo a evolução dos sistemas de produção, independentemente da localidade e do período. Entretanto, a opção “padrão” (“típico” + penalização) da etapa agrícola, por ser uma alternativa genérica de representação de dados, não apresenta sensibilidade suficiente para caracterizar a mudanças de perfil entre regiões e atualizações tecnológicas.

A evolução e o amadurecimento da política RenovaBio mostraram ser possível aumentar a sensibilidade da ferramenta também para o dado “padrão” (típico +

Meio Ambiente

penalização), considerando representar as diferenças na forma de produzir o milho nas diversas localidades do país, em relação ao perfil nacional. Isto, sem ferir 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.

A escassez de informações públicas com parâmetros técnicos de produção do milho nas várias localidades do país torna esta tarefa bastante difícil, principalmente, considerando a extensão do Brasil e o fato do milho ser produzido nos 26 estados do país. Uma das possíveis fontes de dados poderia vir da própria RenovaCalc, a partir dos dados primários preenchidos pelos produtores de matérias-primas, porém, no caso do etanol de milho, os dados primários preenchidos até o presente momento só representam o estado do MT, sem informações para os demais estados do país. (Fonte: Lista de Certificados da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis>). Outras documentações disponíveis não abrangem todo o território nacional, como por exemplo o Agriannual (2020, 2021 e 2022), que compila dados de 9 estados brasileiros (entre 1ª e 2ª safras), e o uso de dados setoriais não oficiais pode comprometer a credibilidade da política.

Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar sistemas “típicos” de produção de milho, considerando a realidade das diferentes regiões produtoras brasileiras, que após sofrer penalização, poderá ser utilizado na opção de dado “padrão regionalizado” na RenovaCalc.

2. Metodologia

O estudo foi realizado pela Embrapa Meio Ambiente em parceria com Embrapa Milho e Sorgo e apoio da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e do setor produtivo. Foram respeitadas duas premissas 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 seja este o dado utilizado em todas as etapas do ciclo de vida do biocombustível (etanol/biodiesel). Com isto, a escala de regionalização selecionada para o milho foi a estadual, considerando as especificidades de produção de 1ª e 2ª safra, visando não desestimular o interesse pela oferta e uso do dado “primário”.

ii) Transparência na metodologia e nos parâmetros usados na RenovaCalc.

O desenvolvimento e aprimoramento da política RenovaBio sempre foi baseado em consultas públicas com a participação efetiva do setor produtivo, incluindo o acesso irrestrito a todas as informações e cálculos usados na RenovaCalc. Como forma de manter esta transparência, optou-se, inicialmente pelo uso dos próprios dados primários declarados nas certificações realizadas até 2023 no RenovaBio, porém, o milho só possui dados primários declarados para um estado brasileiro, o que inviabiliza seu uso. Assim, a alternativa foi o uso de parâmetros e informações da produção agrícola do milho de 1ª e 2ª safras vindos de bancos de dados públicos mais recentes, reconhecidos nacional e internacionalmente. Foram adotados inventários publicados em dois bancos de dados internacionais e um banco de dados nacional de ICV de produtos: “ecoinvent database” (2022), “Global Feed LCA Institute (GFLI - 2022) database” e o Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida – SICV Brasil (2022), além de informações do banco de dados próprio da Embrapa e

dos bancos estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) e da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023).

2.1. Composição do perfil de produção de milho

A produção brasileira de milho ocorre em diferentes épocas do ano a depender das condições edafoclimáticas regionais (PEREIRA-FILHO & GARCIA, 2021), exigindo que o presente estudo considerasse este fator adicional de produção na composição dos perfis estaduais de produção de milho para a RenovaCalc. A Figura 8 apresenta o esquema simplificado de composição dos perfis de produção de milho para a representação estadual da produção desta cultura no Brasil.

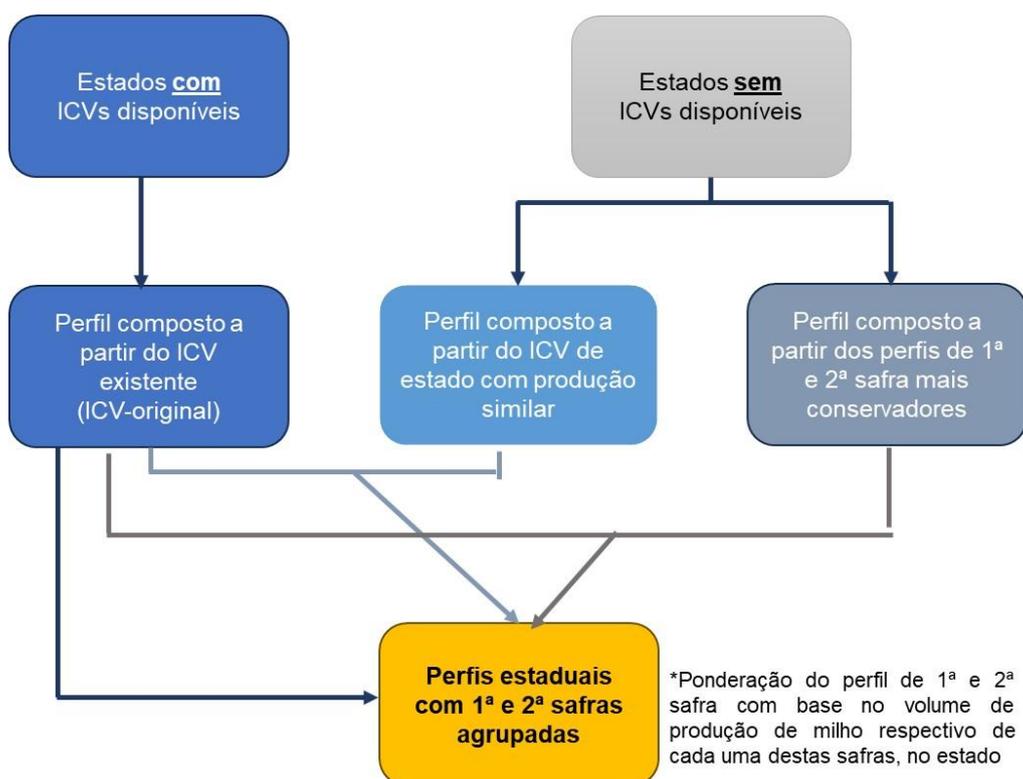


Figura 8. Composição dos perfis estaduais de milho no Brasil a partir de inventários existentes em bancos de dados internacionais, de inventários com produção similar à inventários existentes ou inventários com perfis conservadores de produção.

As estratégias adotadas para a representação das diferentes épocas e regiões de produção de milho no país, considerando procedimentos adicionais para a integração dos dados de 1ª e 2ª safra para compor cada estado brasileiro, foram:

Meio Ambiente

- a. Análise da representatividade percentual da produção de milho de cada estado brasileiro, na produção do milho nacional, considerando a média para as safras de 2019, 2020 e 2021 (IBGE, 2023).
- b. Proposição de um perfil de produção típico (ou mais comum) para todos os estados brasileiros para 1ª e 2ª safra, separadamente, considerando:
 - b.1. estados que possuem ICV disponíveis noecoinvent (2022), GFLI (2022) e SICV (2022) tiveram seus perfis compostos pelos dados já publicados (originais).
 - b.2. estados que não possuem ICV disponíveis e têm produção de milho superior a 1% (1ª safra e/ou 2ª safra) foram representados pelo perfil de um estado com sistema de produção similar, considerando 1ª e 2ª safra de forma separada. A atribuição dos perfis com sistema de produção similar foi realizada a partir da consulta a especialistas na cultura e a integrantes do GT-ACV RenovaBio.
 - b.3. estados para os quais não foi possível atribuir o perfil de um sistema de produção similar foram representados pelos perfis de produção com maior impacto ambiental associado (perfis conservadores determinados usando RenovaCalc) para 1ª e 2ª safra, separadamente.
- c. Proposição de um perfil de produção típico único para cada estado. Os perfis compostos, separadamente, para 1ª e 2ª safra, conforme o item b, foram combinados ponderando-se cada safra de acordo com a sua representatividade na produção total de milho do estado.

2.2. Validação dos perfis de produção de milho regionalizados

A validação dos parâmetros que compuseram os perfis “típicos” de cada estado brasileiro foi realizada por meio de: a) consulta a especialistas na cultura do milho 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. Índices de eficiência no uso de insumos e determinação da intensidade de carbono (IC) na RenovaCalc

A proposição dos índices de eficiência no uso de insumos para a produção de milho, que é o dado solicitado na RenovaCalc (ANP, 2023), foi realizada para cada insumo e para todos os estados brasileiros. O cálculo consiste em dividir os consumos de cada um dos insumos identificados no levantamento dos perfis típicos de produção (corretivos específicos, gesso, nitrogênio por fonte, fósforo por fonte, potássio por fonte, diesel e outros combustíveis) pela sua respectiva produtividade, sendo:

$$\text{Índice de eficiência de uso do insumo (kg/t milho)} = \frac{\text{Consumo de insumo no ciclo de produção (kg/ha)}}{\text{produtividade do milho (toneladas/ha)}}$$

O cálculo da intensidade de carbono - IC (kg de CO₂eq/t de milho) do perfil típico para os diferentes estados brasileiros foi realizado diretamente na RenovaCalc, na versão 7.0 (RC-7.0), vigente em 2023, e na versão 9.0 (RC-9.0), que será implementada futuramente. Para isto, foi realizada uma simulação considerando uma área de produção de milho de 100 ha, combinada com a produtividade e com os índices de eficiência de cada estado, obtidos neste estudo.

A RenovaCalc, versão 9.0, recebeu uma série de atualizações em relação à versão 7.0, 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 milho.
- Utilização de “datasets” do tipo “mercado” sempre que disponíveis, considerando como escopo geográfico preferencialmente BR (Brasil), RoW (rest-of-world) ou GLO (Global).
- Utilização da Pegada de Carbono calculada no 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).

Meio Ambiente

- Atualização dos fatores de caracterização, de acordo com o AR6 (IPCC, 2019).
- Atualização dos fatores de emissão dos fertilizantes minerais, orgânicos e resíduos culturais para os valores apresentados no IPCC (2019).
- Atualização do valor da razão de resíduos agrícolas sobre o solo com base no IPCC (2019).

2.4. Análise comparativa da intensidade de carbono entre os estados

Para confirmar a pertinência da regionalização dos perfis típicos da produção de milho, foi realizada uma simulação pelo método Monte Carlo, de forma a gerar 10.000 amostras de intensidade de carbono (IC) para cada estado. As diferenças destas amostras foram avaliadas entre estados, dois a dois (contraste A e B), sendo calculada a porcentagem de vezes em que um estado (A) tem maior ou menor IC que outro estado (B) (número de vezes que $A > B$ ou que $A < B$). Para os valores desta porcentagem, convencionou-se um valor limite de 70% ou maior, para se considerar haver uma tendência clara de a IC de um estado ser diferente da IC de outro (GOEDKOOOP et al., 2016).

Não foram feitas análises comparativas envolvendo os estados com produção de milho total (1^a + 2^a safra) inferior a 1% do volume de milho nacional, considerando que estes foram caracterizados por perfis vindos da combinação de sistemas dos estados com emissões mais conservadoras.

3. Resultados e discussão

3.1. Estados brasileiros produtores de milho e seleção da base de dados para compor os seus “perfis típicos”

O Brasil possuía 14 estados (Figura 9) com produção de milho $\geq 1\%$ em relação à produção nacional, nas safras 2019, 2020 e 2021 (IBGE, 2023). Juntos representavam 97,8% do milho produzido no país. Destacando-se como maiores produtores os estados de MT, PR e GO, com 59,5% da produção brasileira. Apenas o estado do Amapá não possuía produção identificada nas bases estatísticas. Esta vasta distribuição da cultura no país se deve ao uso do grão, não só como produto comercial, mas também para consumo ou transformações dentro da própria fazenda (PEREIRA-FILHO & GARCIA, 2021).

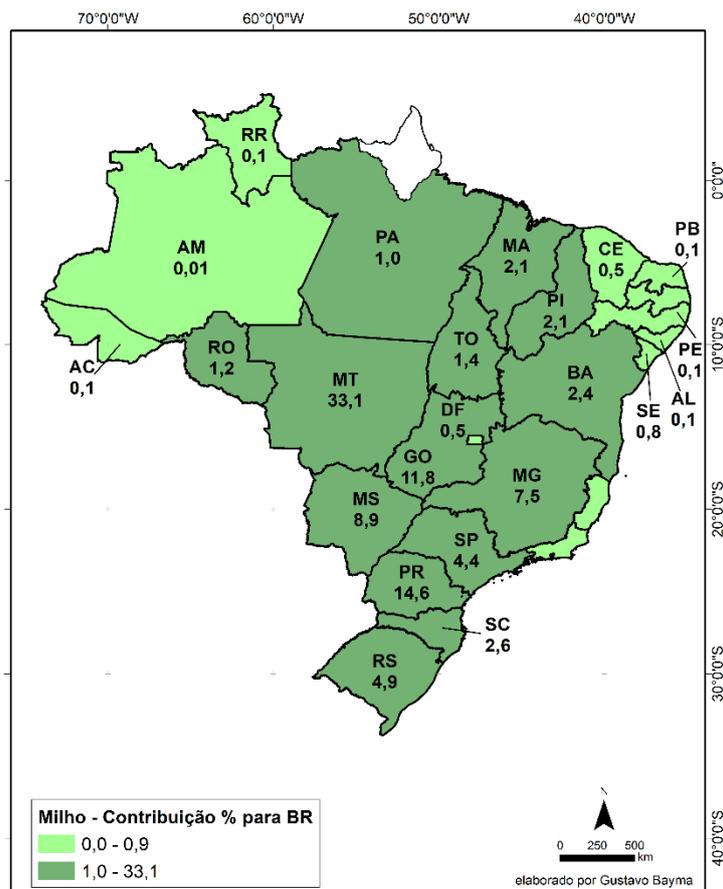


Figura 9. Estados produtores de milho e suas contribuições percentuais para a produção da cultura no Brasil, considerando (soma 1ª e 2ª safras) nos anos de 2019, 2020 e 2021 do IBGE.

A produção e uso por todo território nacional corroborou, historicamente, para mantê-lo como a segunda cultura no “ranking” da produção de grãos do Brasil (IBGE, 2023) e o terceiro do mundo (FAO, 2023). Esta representatividade global ocorre, em grande parte, ao crescimento da produção de 2ª safra, que entregou, na ocasião, 72% do milho nacional (IBGE, 2023), sendo produzida em sistema de rotação/sucessão com a cultura da soja. Esta característica permitiu a inclusão do milho em um estudo de grande magnitude, conduzido pela Embrapa Soja, denominado “Prospecção de demandas e planejamento estratégico de Transferência de Tecnologia e Comunicação essenciais para a produção de soja no Brasil” – ProspecSoy (HIRAKURI et al. 2018, 2019a, 2019b e 2020). A pesquisa trouxe informações que caracterizaram os sistemas envolvendo o cultivo da soja com outras culturas, sendo o milho identificado como a principal destas culturas, com produção em 2ª safra, mas também com uso em 1ª safra associado com o algodão e outras culturas de menor expressão econômica, com levantamento de dados das safras 2017, 2018 e 2019

O estudo foi baseado na obtenção de informações a partir de painéis aplicados, com uso de roteiros estruturados e não-estruturados, respondidos por produtores rurais, consultores técnicos, agentes de extensão rural, membros de associações de produtores, agrônomos de cooperativas agropecuárias, integrantes de sindicatos rurais, agentes financeiros, representantes de revendas de insumos e representantes de agência de defesa sanitária, de diferentes microrregiões ligadas à produção da soja e das culturas participantes do sistema de produção, incluindo o milho. No trabalho, houve a compilação de dados que permitiram a caracterização do sistema de produção predominante (monocultivo, rotação ou sucessão de culturas) em cada microrregião; a identificação das culturas envolvidas em cada sistema; os tipos e doses de insumos agrícolas (corretivos, fertilizantes e pesticidas) consumidos e operações mecanizadas praticadas, bem como a produtividade de cada sistema. Cabe destacar que os dados primários e a produtividade são interdependentes, ou seja, uma determinada produtividade estava atrelada à quantidade e tipo de insumos e operações agrícolas informados no painel. Por esse motivo, dados de fontes secundárias (como dados estatísticos da Conab ou IBGE) não foram admitidos para

Meio Ambiente

substituir dados dos painéis. Ainda assim, os dados de produtividade dos painéis foram comparados com dados do IBGE e se mostraram coerentes para o período estudado (safras de 2017, 2018 e 2019).

Os dados de 25 painéis das microrregiões produtoras de soja associada com milho 1ª e 2ª safras, disponíveis em Hirakuri et al. (2018, 2019a, 2019b e 2020), foram combinados e serviram de base para a composição dos inventários de ciclo de vida de 7 estados com milho 1ª safra (Figura 10), sendo: RS, MG, PR, PI, BA, GO e MA e 8 estados com milho 2ª safra, sendo: MT, PR, MS, GO, MG, SP, TO e MA. Estes ICV foram publicados no ano de 2022, no banco de dados ecoinvent versão 3.9, no banco GFLI e no SICV versão 2022, mas referiam-se às safras 2017-2018-2019.

As microrregiões dos painéis tiveram representatividade, em termos de produção nacional de 1ª safra, na ordem de 13%, e com mais de 4% dentro do estado (Tabela 2), enquanto para 2ª safra o valor foi 37% de contribuição nacional e acima de 10%, para a produção dentro de cada estado (Tabela 3). Os únicos estados que não foram inventariados, mas possuem uma produção de milho representativa foram: SC, SP, PA, TO e MT, para 1ª safra, enquanto para 2ª safra foram RO e BA.

Tabela 2. Microrregiões amostradas em painéis de caracterização de sistemas de produção “típicos” e sua contribuição percentual para a produção nacional e estadual de milho 1ª safra, considerando a produção das safras 2019-2020-2021.

Microrregiões com painéis levantados	Contribuição do milho da micror. para o milho BR 1ª safra (%)	Estado	Contribuição do milho da micror. para o milho estado 1ª safra (%)	Soma p/ estado 1ª safra (%)
Santa Rosa	0,91	Rio Grande do Sul	4,94	4,94
Uberaba	0,79	Minas Gerais	4,41	4,41
Cascavel	0,77	Paraná	6,05	13,17
Ponta Grossa	0,91		7,12	
Alto Parnaíba Piauiense	3,46	Piauí	50,87	50,87
Barreiras	3,68	Bahia	60,01	60,01
Entorno de Brasília	1,43	Goias	25,67	25,67
Imperatriz	0,28	Maranhão	5,86	16,21
Pindaré	0,49		10,34	

* Dados trabalhados a partir de originais disponíveis em IBGE (2023).

Meio Ambiente

Tabela 3. Microrregiões amostradas em painéis de caracterização de sistemas de produção “típicos” e sua contribuição percentual para a produção nacional e estadual de milho 2ª safra, considerando a produção das safras 2019-2020-2021.

Microrregiões com painéis levantados	Contribuição do milho da micror. para o milho BR 2ª safra (%)	Estado	Contribuição do milho da micror. para o milho estado 2ª safra (%)	Soma p/ estado 2ª safra (%)
Alto Teles Pires	14,46		30,97	
Aripuanã	1,20	Mato Grosso	2,57	35,77
Colíder	1,04		2,23	
Cascavel	1,30	Paraná	8,17	10,10
Ivaiporã	0,31		1,93	
Cassilândia	0,82		6,61	
Dourados	6,94	Mato Grosso do Sul	55,80	71,27
Iguatemi	1,10		8,87	
Entorno de Brasília	1,18		11,49	
Porangatu	0,08	Goiás	0,76	74,17
Sudoeste de Goiás	6,34		61,92	
Uberaba	0,38	Minas Gerais	10,00	10,00
Assis	0,74	São Paulo	23,36	23,36
Miracema do Tocantins	0,25	Tocantins	19,54	50,38
Porto Nacional	0,40		30,84	
Gerais de Balsas	0,90	Maranhão	72,09	72,09

* Dados trabalhados a partir de originais disponíveis em IBGE (2023).

Todas as unidades produtoras de etanol de milho brasileiras, tanto as exclusivas, como as Flex com cana-de-açúcar estão localizadas no conjunto dos 07 estados inventariados para 1ª safra e dos 08 para 2ª safra (Figura 10), o que permite inferir que o uso de suas informações poderia beneficiar a produção deste biocombustível como um todo. Observou-se a concentração das unidades na região Centro-Oeste do Brasil, indicando maior aderência com os painéis de 2ª safra. Entretanto, cabe destacar que, no caso de grãos de milho que podem ficar armazenados em silos, por longos períodos, não é possível assegurar se a origem dessa matéria-prima seria efetivamente de 1ª ou de 2ª safra.

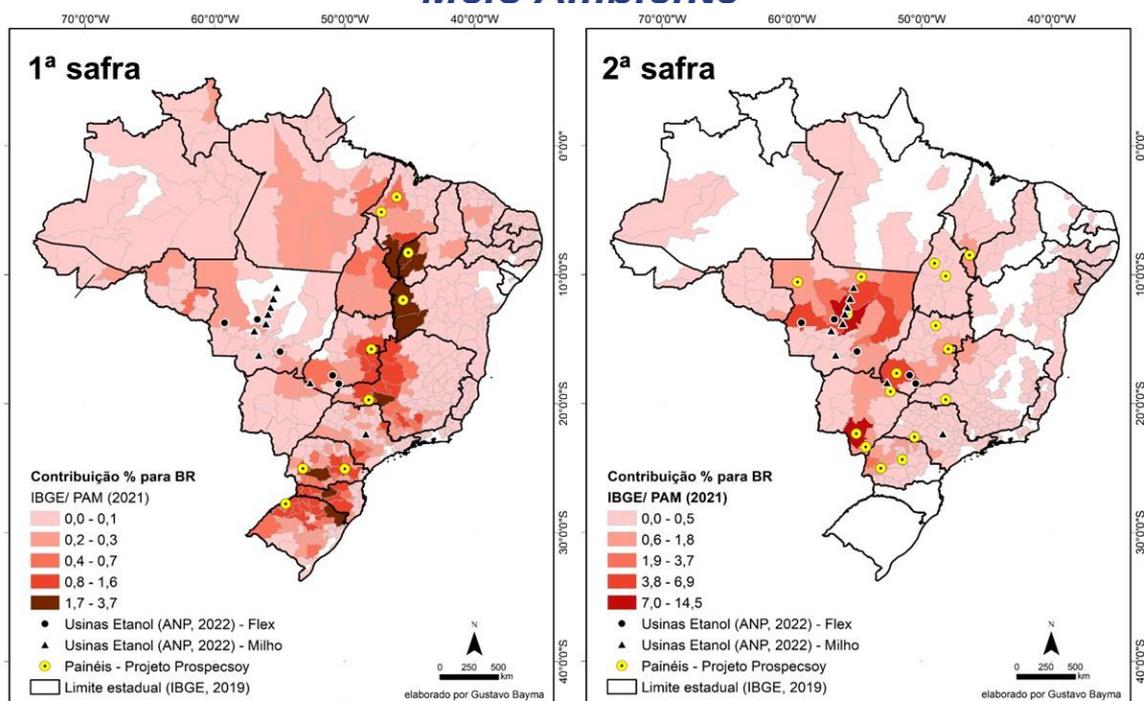


Figura 10. Espacialização de painéis de levantamento de dados primários de produção de milho de **1ª safra** (esquerda) e de **2ª safra** (direita), de unidades produtoras de etanol de milho (dedicadas e flex) e representatividade (%) de diferentes microrregiões e estados brasileiros na produção dentro destas respectivas épocas de cultivo. Fonte: Composição a partir dos dados IBGE, safras 2019-2020-2021.

A alta representatividade dos estados inventariados, com produção de 97,8% do milho brasileiro (Figura 9), e a disponibilidade das informações, acessíveis no âmbito nacional e internacional por estarem publicadas nos bancosecoinvent, GFLI e SICV Brasil, qualificou e conferiu credibilidade para o uso no presente estudo de regionalização do perfil “típico” do milho para o RenovaBio. Reforçando a informação que o seu uso na RenovaCalc ocorrerá após a adição da penalização.

Vale registrar que uma limitação deste estudo diz respeito à temporalidade dos dados, que refletem as safras 2017-2018-2019. Ainda assim, correspondem às fontes mais atuais e completas disponíveis – o que justificou seu uso. A política tem procurado atualizar suas informações com base na melhor ciência disponível e em base de dados rastreável e isenta de interesses econômicos, conforme previsto originalmente pelos proponentes.

3.2. Composição do perfil típico de produção de milho na escala estadual

O perfil “típico” da produção de milho nos diferentes estados do Brasil combinou os sistemas de produção caracterizados nos ICV usados na 1ª e 2ª safra (ecoinvent versão 3.9, GFLI versão 2022 e SICV Brasil versão 2022), obedecendo as frações que estas safras representam para a produção total de cada estado (Tabela 4). Os especialistas apontaram a necessidade de quatro alterações, as quais foram acatadas e incorporadas ao perfil final. A primeira alteração ocorreu na produtividade de SP em 2ª safra, ajustando o valor de 4.500 para 5.500 kg/ha de grãos, que foi considerado mais realista para o estado, sendo depois utilizado na composição do perfil SP final (1ª+2ª safra).

A segunda alteração foi na dose de calcário, que foi apontada como abaixo do observado na prática. Assim, com base no conhecimento dos especialistas, foi adotado o valor médio de 500 kg/ha/ano, considerando o benefício do uso deste insumo para duas culturas em sistema de produção. A justificativa se baseou no costume dos produtores de aplicarem doses de 3000 kg/ha a cada 3 anos, o que significaria um montante de 1000 kg/ha/ano, alocado com o uso da soja, algodão, feijão, entre outras, que participam do sistema de produção de milho em 1ª ou 2ª safras. Este valor está acima do valor usado como referência na Resolução ANP nº 758 (ANP, 2018), que foi de 262 kg/ha (Quadro 1).

A terceira alteração foi no consumo de fertilizantes: quantidade de fertilizante nitrogenado, que tem como fonte ureia, aplicado no MS-2ª safra (de 29,3 para 100,0 kg N/ha); fertilizante potássico aplicado na BA-1ªsafra (de 0 para 80,0 kg K₂O/ha) e GO-1ªsafra (de 36,0 para 80,0 kg K₂O/ha). Também foram realizadas pequenas correções de quantidade de P₂O₅ na forma de MAP e DAP, de forma a alinhar a formulação destes fertilizantes entre a quantidade de N e o P₂O₅, como por exemplo a mudança na dose de 61,3 para 63,5 kg P₂O₅/ha para se obter os 124,5 kg de MAP, com 13,7% de N e assim por diante. Estas mudanças não excederam quantidades superiores a 3 kg/ha.

Meio Ambiente

Houve também um ajuste na quantidade de pesticidas (quarta alteração) inespecíficos na BA-1ª safra (de 2,3 para 6,7 kg/ha), GO-1ª safra (de 2,3 para 6,6 kg/ha), MG-1ª safra (de 11,8 para 7,0 kg/ha) e PI-1ª safra (de 2,8 para 6,9 kg/ha), conforme apontamento dos especialistas. Também a dose de glifosato foi modificada em MG-1ª safra (de 2,2 para 1,5 kg/ha), que estavam com valores subestimados, segundo as validações.

Os especialistas também identificaram que o perfil de produção do milho 1ª safra do estado do RS (ICV-RS1ª) poderia ser extrapolado para o perfil de SC, devido à sua similaridade, o mesmo ocorrendo com o perfil do PR (ICV-PR1ª), usado para representar SP e para o perfil GO (ICV-GO1ª) representando TO e MT. Com relação à 2ª safra, os especialistas apontaram o perfil de produção do estado de GO (ICV-GO2ª) como similar para MG e do MT (ICV-MT2ª), como adequado para representar RO. Todos os demais estados que não possuíam ICV depositado noecoinvent versão 3.9 (2022), GFLI versão 2022 e SICV Brasil versão 2022, nem perfil apontado como similar ao de outro estado, foram representados pela produção de milho da BA na 1ª safra (ICV-BA1ª) e do MA na 2ª safra (ICV-MA2ª), por serem os estados com emissões mais conservadoras.

A Tabela 4 apresenta as contribuições de cada estado do Brasil para a produção nacional do milho, além das combinações de ICV que compõem cada estado, sendo: ICV- original para os que usaram os dados depositado nos bancos de dados de ACV, os ICV do estado com sistema semelhante, para os estados com esta condição e ICV-BA1ª e ICV-MA2ª, para todos os demais (uso do perfil conservador). A combinação seguiu a fração de produção de grãos da 1ª e da 2ª safra, em relação à produção total do milho, dentro de cada estado. Verificou-se o uso do perfil conservador em poucos estados com produção maior que 1% da nacional (MS e RO em 1ª safra e PA em 1ª e 2ª safra), o que mostra que os estados com maior representatividade de produção estão sendo caracterizados por perfis de produção bastante específicos.

Tabela 5. Composição final de dados para o milho de 1ª e 2ª safra com e sem inventários originais depositado noecoinvent versão 3.9 (2022), GFLI versão 2022 e SICV Brasil versão 2022.

ESTADO	CONTRIBUIÇÃO DO ESTADO PARA O BRASIL (%)	1ª SAFRA		2ª SAFRA	
MT	33,11	ICV-GO1 ^a	1%	ICV original	99%
PR	14,60	ICV original	23%	ICV original	77%
GO	11,77	ICV original	13%	ICV original	87%
MS	8,88	ICV-BA1 ^a	2%	ICV original	98%
MG	7,48	ICV original	64%	ICV-GO2 ^a	36%
RS	4,88	ICV original	100%	-----	0%
SP	4,43	ICV-PR1 ^a	50%	ICV original	50%
SC	2,55	ICV-RS1 ^a	100%	-----	0%
BA	2,38	ICV original	98%	ICV-MA2 ^a	2%
MA	2,13	ICV original	59%	ICV original	41%
PI	2,11	ICV original	86%	ICV-MA2 ^a	14%
TO	1,37	ICV-GO1 ^a	33%	ICV original	67%
RO	1,16	ICV-BA1 ^a	16%	ICV-MT2 ^a	84%
PA	1,00	ICV-BA1 ^a	56%	ICV-MA2 ^a	44%
SE	0,79	ICV-BA1 ^a	100%	-----	0%
CE	0,50	ICV-BA1 ^a	100%	-----	0%
DF	0,45	ICV-BA1 ^a	45%	ICV-MA2 ^a	55%
AC	0,09	ICV-BA1 ^a	85%	ICV-MA2 ^a	15%
RR	0,08	ICV-BA1 ^a	100%	-----	0%
AL	0,07	ICV-BA1 ^a	100%	-----	0%
PE	0,06	ICV-BA1 ^a	99%	ICV-MA2 ^a	1%
PB	0,06	ICV-BA1 ^a	100%	-----	0%
ES	0,04	ICV-BA1 ^a	85%	ICV-MA2 ^a	15%
RN	0,03	ICV-BA1 ^a	100%	-----	0%
RJ	0,01	ICV-BA1 ^a	46%	ICV-MA2 ^a	54%
AM	0,01	ICV-BA1 ^a	92%	ICV-MA2 ^a	8%

A caracterização geral do perfil de produção dos diferentes estados brasileiros produtores de milho encontra-se na Tabela 6 (para estados com mais de 1% da produção nacional) e Tabela 7 (para estados com menos de 1% da produção nacional). Uma alteração significativa, em relação ao perfil de produção presente na Resolução ANP nº 758 diz respeito à maior especificidade das fontes de fertilizantes.

Meio Ambiente

Com a regionalização, os fertilizantes foram caracterizados em ureia, MAP, DAP, superfosfato triplo e cloreto de potássio, sendo anteriormente descrito apenas como ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Esta alteração traz mudanças na intensidade de carbono pela diferença na pegada de carbono da produção destes insumos, na etapa industrial, e no caso do calcário, ainda nos fatores de emissão em campo, segundo IPCC (2006).

Os perfis descritos incluíram as culturas, insumos e doses mais comuns que participam de sistemas com rotação ou sucessão com milho. A produtividade de grãos variou entre 4908 a 8050 kg/ha (82 a 134 sacas/ha), entre os estados com produção superior a 1% da nacional (Tabela 6), alinhados com os valores observados em estatísticas oficiais (4989 a 7297 kg/ha – 81 a 121 sacas/ha - Conab, 2023). Por outro lado, a produtividade atribuída aos estados com menos de 1% da produção nacional variou entre 5280 e 6600 kg/ha – 88 a 110 sacas/ha (Tabela 7), considerados acima dos declarados nas bases estatísticas, que foram de 537 a 6000 kg/ha – 9 a 100 sacas/há (CONAB, 2023).

Verificou-se que as práticas agrícolas adotadas se mostraram semelhantes nas três safras estudadas, com variações mais expressivas nas doses de insumos e número de aplicações. Esta semelhança de práticas e variação de doses foi confirmada em “workshop” realizado com o setor produtivo e se mostrou alinhada com as safras mais atuais da cultura.

A respeito da aplicação de corretivos, as doses de calcário foram corrigidas e alocadas, conforme comentado anteriormente, enquanto o gesso só foi declarado como parte do sistema produtivo nos estados de MT, GO, MS, MG e TO, indicando o maior interesse desses produtores em corrigir condições químicas do solo em profundidade, favorecendo o desenvolvimento de raízes. O baixo uso entre a maioria dos produtores se justifica pela literatura não apontar benefícios de produtividade em sistemas soja/milho com o uso deste insumo (Neis et al., 2010), mesmo ele favorecendo o rendimento de outras culturas do sistema, como o trigo (Rampin et al., 2011).

O uso de sementes foi constante para os estados estudados, considerando que os produtores declararam usar doses baseadas em número de sementes por área e

não peso, com valores entre 40.000 e 80.000 sementes/ha (CRUZ et al, 2011), o que corresponde a cerca de 18 a 23 kg /ha, dependendo da peneira de classificação. Quanto às doses de fertilizantes, houve grande variação tanto do N (78 a 156 kg/ha) e P₂O₅ (35 a 124 kg/ha), em diferentes fontes, como de K₂O (36 a 125 kg/ha), na forma de KCl, considerando-se os estados da Tabela 6. Estes valores poderiam se reverter em produtividades superiores às observadas para os níveis de extração média de N:P₂O₅:K₂O é de 16:9:6 kg/t de grãos, apontados por Cruz et al (2011). Entretanto, esta conversão é altamente dependente da precipitação disponível, durante o cultivo.

Houve aumento no consumo de fertilizantes, de forma geral, associado à expectativa de aumento no rendimento de grãos. Cabe destacar que, o consumo do fertilizante nitrogenado deve ser realizado respeitando as expectativas de rendimento de grãos em função das condições climáticas, principalmente em 2^a safra. Isto porque, segundo IPCC (2019) cerca de 1% do total de N aplicado é emitido na forma de óxido nitroso (N₂O), que possui potencial de aquecimento global 273 vezes superior ao CO₂. Assim, seu uso, sem retorno em produtividade se reverte em emissões significativas ao meio ambiente.

Com relação ao diesel, foi verificada a variação no consumo entre os estados, indicando diferenças e termos de uso de máquinas. Os valores oscilaram entre 26,5 (PI) e 42,4 L/ha (MS), com média de 35 L/ha (tabela 6), enquanto na versão anterior do perfil de milho BR, na Resolução ANP nº 758/2018, o valor era de 30 L/ha (Quadro 1). Assim como o N, as emissões da queima do diesel são significativas (3,14 kg de CO₂eq por kg de combustível, para uso em veículos pesados, segundo NEMECEK E KÄGI, 2007) e a sua eficiência de uso deve ser priorizada nos sistemas de produção mais sustentáveis. Assim como o calcário, no presente estudo o diesel também passou por um tratamento de alocação, pois parte do seu consumo, quando destinado às operações de preparo do solo e aplicação de corretivos, que beneficiam várias culturas do sistema, foi distribuído entre o milho e estas outras culturas (MENDES et al., 2021).

Os pesticidas não apresentam grandes impactos em mudanças climáticas, mas podem afetar questões ligadas a saúde humana e de outros animais. No presente estudo, verificou-se um consumo variando entre 3,0 kg de i.a./ha (MT) e 8,6 kg de

Meio Ambiente

i.a./ha (BA), com média de 5,7 kg de i.a./ha, valor próximo ao declarado no Quadro 1. A variação entre estados era esperada, pois as condições edafoclimáticas específicas interferem na incidência de pragas, doenças e plantas daninhas no cultivo agrícola, o que afeta o consumo de pesticidas.

Numa comparação da evolução no sistema de cultivo entre os perfis estaduais de produção de milho e o perfil apresentado na Resolução ANP nº 758/2018, em nível nacional, verificou-se aumento geral no consumo de insumos para a maioria dos estados. Entretanto, para MT e GO, essas mudanças foram mais sutis. Isto pode ser consequência da contribuição expressiva que estes dois estados tiveram no perfil BR da Resolução ANP nº 758/2018 (Figura 7).

Ainda a respeito do estado do MT, o maior produtor de grãos (Figura 9) e de etanol de milho (Figura 3) do Brasil, observou-se a proximidade no perfil de produção identificado neste estudo (Tabela 6), com os dados primários de três empresas certificadas na RenovaCalc (Tabela 8), localizadas no estado. Com relação à produtividade, verificou-se que nas planilhas da RenovaCalc a produtividade se repete, quando se realiza o cálculo de produção por área, indicando que pode haver algum efeito de repetição não verificado. O consumo próximo de fertilizante nitrogenado e de diesel, confirmam a tendência de aumento no consumo de insumos em relação à Resolução ANP nº 758/2018 (Quadro 1), que também foi observada na atualização do perfil de produção de milho dos demais estados brasileiros (Tabela 6 e 7). A ausência de valores de calcário e de P_2O_5 , no perfil das 3 empresas, e mesmo do K_2O , em uma empresa, foi apontada como ponto de atenção pelos especialistas, pois a cultura do milho com as produtividades declaradas, que são de alto rendimento, exigem solos corrigidos, e doses significativas de P_2O_5 e K_2O , para responderem ao N aplicado (que aumentou em quantidade).



Meio Ambiente

Tabela 6. Insumos e doses “típicas” adotadas no cultivo do milho nos estados brasileiros com produção $\geq 1\%$ da produção nacional.

Insumos agrícolas	MT	PR	GO	MS	MG	RS	SP	SC	BA	MA	PI	TO	RO	PA
Culturas predominantes em sistema com soja	Soja ou algodão 1ºS	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem	Soja 1ºS Cobertura Pastagem	Soja 1ºS Cobertura Pastagem	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem	Soja ou algodão 1ºS	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem	Soja ou algodão 1ºS	Soja ou algodão 1ºS	Soja 1ºS Outras 2ºS Cobertura Pastagem
Produtividade (kg/ha)	6317	7256	6469	5266	7985	7260	8050	7260	6552	5262	6952	4908	6345	5544
Calcário dolomítico (kg/ha)	500	500	500	500	500	500	386	500	500	500	500	500	500	500
Calcário calcítico (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	114	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesso (kg/ha)	0,2	0,0	13,2	90,6	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0
Sementes (kg/ha)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	16,0	20,0	20,0
Ureia (kg N/ha)	68	105	69	101	108	68	113	68	134	86	123	64	78	111
MAP (kg N/ha)	9,9	0,0	7,1	0,5	2,9	0,0	0,0	0,0	22,1	0,0	17,5	0	12,0	12,6
DAP (kg N/ha)	0,2	21,7	3,1	0,0	19,2	43,9	14,2	43,4	0,4	30,8	2,5	16,3	0,0	7,7
MAP, como P ₂ O ₅ (kg/ha)	52,6	0,0	37,8	2,4	15,6	0,0	0,0	0,0	117,6	0,0	93,1	0,0	63,8	67,2
DAP, como P ₂ O ₅ (kg/ha)	0,6	57,3	8,3	0,0	50,8	116,2	37,5	116,2	0,9	81,6	6,5	43,2	0,0	20,5
SPT, como P ₂ O ₅ (kg/ha)	0,3	0,3	6,2	32,8	28,8	7,6	18,8	7,6	0,9	28,1	6,0	29,5	0,0	18,8
KCL (kg/ha)	50,1	73,5	70,1	36,1	124,5	80,0	82,5	80,0	79,7	125,0	137,8	56,4	54,7	72,5
Diesel B10 ² (L/ha)	31,8	39,8	37,9	42,4	40,4	41,4	38,8	41,4	30,8	33,5	26,5	27,8	31,5	28,6
Pesticidas gerais (kg/ha)	1,6	3,5	3,8	3,7	5,7	5,0	5,5	5,0	6,6	1,8	6,1	2,8	2,4	4,4
Glifosato (kg/ha)	1,4	1,0	1,5	1,3	1,5	1,2	1,4	1,2	1,7	1,9	2,2	0,9	1,5	1,9
2,4-D (kg/ha)	0,00	0,12	0,05	0,01	0,00	0,00	0,26	0,00	0,32	0,05	0,12	0,13	0,05	0,23

¹ DS – Dupla safra (Rotação/sucessão de culturas, que implica em plantio direto ou cultivo mínimo do solo e alocação de alguns insumos e operações entre as culturas envolvidas no sistema.

² A informação de consumo de diesel encontra-se em B10, por ser a mistura utilizada no momento da publicação dos inventários (2022).



Meio Ambiente

Tabela 7 Insumos e doses “típicas” adotadas no cultivo do milho nos estados brasileiros com produção <1% da produção nacional.

Insumos agrícolas	SE	CE	DF	AC	RR	AL	PE	PB	ES	RN	RJ	AM
Culturas predominantes em sistema com soja	Soja 1 ^º S Outras 2 ^º S Cobertura Pastagem											
Produtividade (kg/ha)	6600	6600	5280	6240	6600	6600	6576	6600	6240	6600	5304	6408
Calcário dolomítico (kg/ha)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Gesso (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sementes (kg/ha)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Ureia (kg N/ha)	135,0	135,0	105,3	126,9	135,0	135,0	134,5	135,0	126,9	135,0	105,8	130,7
MAP (kg N/ha)	22,5	22,5	10,1	19,1	22,5	22,5	22,3	22,5	19,1	22,5	10,4	20,7
DAP (kg N/ha)	0,0	0,0	9,7	2,6	0,0	0,0	0,2	0,0	2,6	0,0	9,5	1,4
MAP, como P ₂ O ₅ (kg/ha)	120,0	120,0	54,0	102,0	120,0	120,0	118,8	120,0	102,0	120,0	55,2	110,4
DAP, como P ₂ O ₅ (kg/ha)	0,0	0,0	25,6	7,0	0,0	0,0	0,5	0,0	7,0	0,0	25,2	3,7
SPT, como P ₂ O ₅ (kg/ha)	0,0	0,0	23,5	6,4	0,0	0,0	0,4	0,0	6,4	0,0	23,1	3,4
KCL, como K ₂ O (kg/ha)	80,0	80,0	70,7	77,5	80,0	80,0	79,8	80,0	77,5	80,0	70,8	78,6
Diesel B10 ² (L/ha)	30,9	30,9	28,0	30,1	30,9	30,9	30,8	30,9	30,1	30,9	28,1	30,5
Pesticidas gerais (kg/ha)	6,7	6,7	3,8	5,9	6,7	6,7	6,6	6,7	5,9	6,7	3,9	6,3
Glifosato (kg/ha)	1,7	1,7	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	1,7
2,4-D (kg/ha)	0,32	0,32	0,21	0,29	0,32	0,32	0,32	0,32	0,29	0,32	0,21	0,31

¹ DS – Dupla safra (Rotação/sucessão de culturas, que implica em plantio direto ou cultivo mínimo do solo e alocação de alguns insumos e operações entre as culturas envolvidas no sistema)

² A informação de consumo de diesel encontra-se em B10, por ser a mistura utilizada no momento da publicação dos inventários (2022).

Meio Ambiente

Tabela 8. Perfil característicos do sistema de produção de milho a partir de dados primários declarados na RenovaCalc 7.0 (E1, E2 e E3)

	E1	E2	E3
Produtividade (kg/ha)	8290	6910	7890
Calcário (kg/ha)	0	0	0
Gesso (kg/ha)	0	0	0
Sementes (kg/ha)	24	24	25
N (kg/ha) de MAP	0	0	0
N (kg/ha) de Ureia	56	53	51
Sulfato de amônio	4	10	25
N (kg/ha) de DAP	0	0	0
Total de N (kg/ha)	60	63	76
Total de P ₂ O ₅ (kg/ha)	0	0	0
Total de K ₂ O (kg/ha)	0	61	62
Diesel B10 ² (L/ha)	54	36	33

3.3. Índices de eficiência no uso de insumos, intensidades de carbono - IC e comparações entre os perfis regionalizados na RenovaCalc

Os índices de eficiência no uso dos insumos para o cultivo de milho, considerando os perfis “típicos” de produção dos estados brasileiros, encontram-se na Tabela 9. Os consumos advindos de todas as fontes específicas de calcário, N, P₂O₅ e K₂O foram somados, a fim de facilitar a comparação com os índices de referência contidos na Resolução ANP 758 (ANP, 2018).

Houve variação na eficiência de uso de insumos para praticamente todos os insumos obtidos com a regionalização em comparação com os valores de referência da Resolução ANP nº 758/2018, caracterizando alterações na tecnologia adotado para a cultura entre os diferentes estados do Brasil. Os sistemas de produção de milho caracterizados para MT e GO foram os que apresentaram maior eficiência no uso de insumos, com perfis de produção mais próximos ao da Resolução ANP nº 758/2018.

Houve aumento de 87% no consumo de calcário, com valor médio estadual de 79,0 kg/t de milho na regionalização, para o uso anterior de 42,3 kg/t de milho (Resolução ANP nº 758/2018). Entretanto, esta atualização não parece estar ligada à queda na eficiência de uso deste insumo, mas sim ao ajuste na identificação de seu uso no sistema de produção. O mesmo se observou para o consumo do gesso, em alguns estados, que até então não havia sido citado pela Resolução e agora é indicado nos perfis dos do MT, GO, MS, MG e TO. A aplicação sazonal dos corretivos tende a

Meio Ambiente

prejudicar a interpretação na sua declaração como parte do sistema de produção da cultura, exigindo maior atenção no levantamento de dados.

A eficiência no consumo dos fertilizantes para os perfis estaduais mostrou a tendência de queda em relação ao perfil típico da RN 758. O aumento no uso do N foi da ordem de 63%, com predominância da fonte ureia em relação às demais, porém este uso não se reverteu em aumento expressivo na produtividade de grãos. O mesmo ocorreu para o uso de fosfatados, com aumento de 44% de consumo, principalmente na forma de MAP (68%) e DAP (10%), e com eficiências entre 6,7 a 20,8 kg/t de milho, sendo o valor de referência típico da Resolução ANP nº 758/2018 de 10,9 kg/t de milho. O fertilizante potássico também apresentou queda de eficiência, com média estadual de 17,9 kg/t milho, comparados à referência de 11,2 kg/t milho, queda de 59%

O índice de eficiência no uso do diesel apresentou uma variação menor em relação ao desempenho de referência (4,8 L/t de milho), com um aumento de 7% e valores variando entre 3,8 e 8,0 L/t de milho. Já o consumo de sementes apresentou uma redução de 32% em relação ao perfil antigo de produção adotado na Resolução ANP, variando de 2,5 a 3,8 kg/t de milho nos perfis em escala estadual.

Com relação aos pesticidas, houve uma redução de 63% no consumo geral desse insumo, que passou de 2,8 kg/ha de milho (Resolução ANP nº 758/2018) para 1,1 kg/ha de milho (média entre os estados). Entre os diferentes tipos de pesticidas, verificou-se, ainda, uma redução na quantidade consumida de glifosato e 2,4-D e um aumento significativo nos pesticidas classificados como inespecíficos, que pode ter seu consumo associado à incidência de pragas e doenças, que se alteram com o clima.



Meio Ambiente

Tabela 8. Índices de eficiência típicos para o cultivo de milho em diferentes estados do Brasil

Insumos agrícolas	MT	PR	GO	MS	MG	RS	SP	SC	BA	MA	PI	TO	RO	PA	ANP 758
Calcário (kg/t milho)	79,15	68,91	77,29	94,95	62,62	68,87	62,11	68,87	76,31	95,02	71,92	101,9	78,80	90,19	42,3
Gesso (kg/t milho)	0,04	0,00	2,04	17,20	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00
Sementes (kg/t milho)	3,17	2,76	3,09	3,80	2,50	2,75	2,48	2,75	3,05	3,80	2,88	3,28	3,15	3,61	4,6
N sintético (kg/t milho)	12,38	17,52	12,17	19,21	16,33	15,36	15,80	15,36	23,86	22,26	20,59	16,33	14,22	23,73	12,6
P ₂ O ₅ sintético (kg/t milho)	7,94	10,12	10,83	6,85	15,60	11,02	10,25	11,02	12,16	23,75	19,82	11,49	8,62	13,08	10,9
K ₂ O sintético (kg/t milho)	8,47	7,95	8,07	6,69	11,93	17,05	6,98	17,05	18,22	20,83	15,20	14,81	10,06	19,22	11,2
Diesel B12 (L/t milho)	5,03	5,48	5,85	8,04	5,06	5,70	4,82	5,70	4,69	6,36	3,81	5,66	4,97	5,16	4,8
Insumos agrícolas	SE	CE	DF	AC	RR	AL	PE	PB	ES	RN	RJ	AM	ANP 758		
Calcário (kg/t milho)	75,76	75,76	94,70	80,13	75,76	75,76	76,03	75,76	80,13	75,76	94,27	78,03	42,3		
Gesso (kg/t milho)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Diesel B10 (L/t milho)	4,68	4,68	5,31	4,82	4,68	4,68	4,69	4,68	4,82	4,68	5,30	4,75	4,8		
Sementes (kg/t milho)	3,03	3,03	3,79	3,21	3,03	3,03	3,04	3,03	3,21	3,03	3,77	3,12	4,6		
N sintético (kg/t milho)	23,86	23,86	23,69	23,82	23,86	23,86	23,86	23,86	23,82	23,86	23,70	23,84	12,6		
P ₂ O ₅ sintético (kg/t milho)	12,12	12,12	13,38	12,41	12,12	12,12	12,14	12,12	12,41	12,12	13,35	12,27	10,9		
K ₂ O sintético (kg/t milho)	18,18	18,18	19,54	18,49	18,18	18,18	18,20	18,18	18,49	18,18	19,51	18,34	11,2		
Diesel B12 (L/t milho)	4,68	4,68	5,31	4,82	4,68	4,68	4,69	4,68	4,82	4,68	5,30	4,75	4,8		

Meio Ambiente

As intensidades de carbono (IC), resultantes dos perfis de produção dos 14 estados maiores produtores de milho do Brasil, simuladas na RenovaCalc versão 7.0 (RC7.0, em uso) e versão 9.0 (RC9.0, a ser implementada) são apresentadas na Figura 11. Os valores variaram entre 253 e 402 kg CO₂eq/t milho, na RC 7.0, enquanto na RC9.0 os valores foram de 256 a 410 kg CO₂eq/t milho.

A IC do MT foi a menor entre todos os estados brasileiros, sendo o único valor (256 kg CO₂eq/t milho) abaixo da IC de referência da Resolução ANP nº 758/2018 (260 kg CO₂eq/t milho), na simulação realizada na RC9.0. Todos os demais estados tiveram IC superior às de referência, com os maiores valores observados para o MA e PA (409,5 e 410,2 kg CO₂eq/t milho, respectivamente). Este aumento na IC é justificado pelos maiores consumos de insumos relatados anteriormente, sendo o N fertilizante responsável por 54-70% da IC do milho, seguido pelo N dos resíduos, com 10-17% da IC, pelo calcário, com 10-16% da IC e diesel com 3 a 7% da IC. Nota-se que o N é o maior responsável pelas emissões na produção do milho, tanto pela fertilização como pela presença nos restos culturais, assim, o seu aproveitamento máximo, com retorno na produtividade de grãos, é indispensável para a mudança neste cenário de impacto negativo.

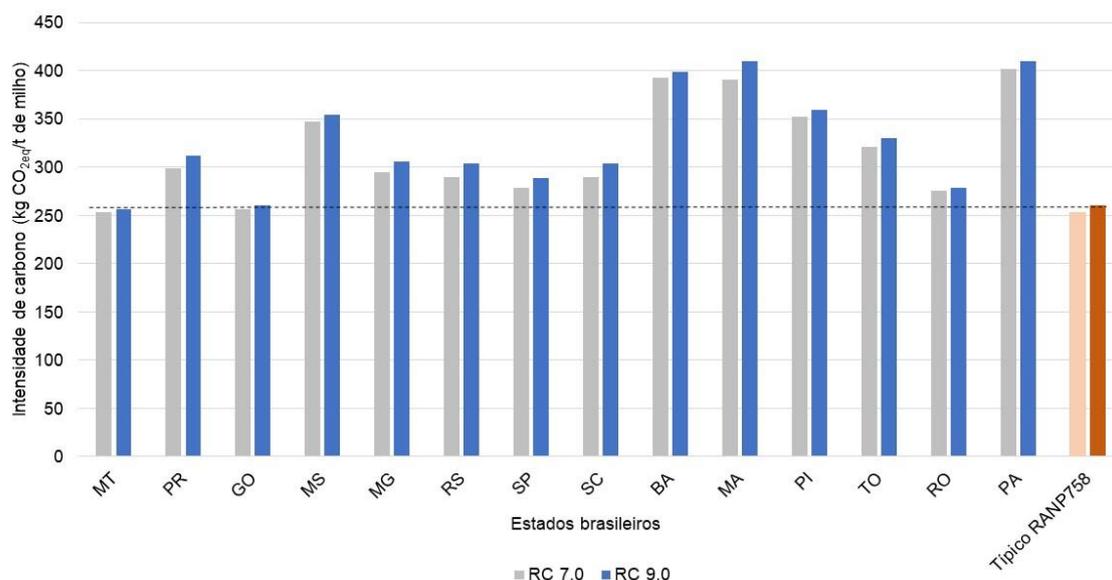


Figura 11. Intensidades de carbono do milho produzido em sistema “típico” nos 14 estados maiores produtores deste grão no Brasil, comparadas com o perfil de

referência contido na Resolução ANP nº 758/2018 em simulações usando as versões 7.0 e 9.0 da RenovaCalc.

As IC da produção do milho nos demais estados, com produção de milho inferior a 1% do total nacional, foram de 392,2 e 398,2 kg CO₂eq/t milho (RC7.0 e RC9.0) para os estados de SE, CE, RR, AL, PE, RN e AM, de 404,7 e 414,0 kg CO₂eq/t milho (RC7.0 e RC9.0) para DF e RJ e, os valores de 395,1 e 401,9 kg CO₂eq/t milho (RC7.0 e RC9.0) para AC e ES. Cabe destacar que o uso dos ICV com perfis de produção conservador, associado com a predominância do cultivo em 1^a safra foram os responsáveis pelas IC altas e semelhantes, para a maioria destes estados.

O aumento na IC ocorreu pela mudança nos perfis de produção obtidos com a regionalização, mas também pela atualização de vários parâmetros da RenovaCalc na versão 9.0. O impacto da atualização foi de aumento de 2,7% nas emissões. Entretanto, ***esta ação é necessária e indispensável para o nivelamento com protocolos internacionais.***

A Figura 12 mostra a porcentagem de vezes que um estado apresenta maior ou menor IC que outro, quando comparados dois a dois. De um total de 88 combinações, desconsiderando-se os estados com menos de 1% de produção, observou-se que 84 apresentaram tendência de diferenças nas IC em 70% das vezes onde se fez a comparação. Nesta análise não foram considerados os estados SE, CE, DF, AC, RR, AL, PE, PB, ES, RN, RJ, AM e AP, pois estes foram representados pela combinação dos perfis de produção mais conservadores de 1^a e 2^a safra.

O MA foi o estado com tendência de maior IC em relação aos demais estados (11 combinações), seguido do PA e BA (10 combinações) e do TO (6 combinações). Por outro lado, o MT foi o estado com tendência mais consistente de apresentar menor IC em relação à alguns estados (10 combinações), seguido de GO (7 combinações). Cabe destacar, ainda, que as combinações entre MG-RS-SC não apresentaram tendência para nenhum dos estados estudados, levando a inferir que não existem diferenças aparentes no perfil de produção do milho nestes contrastes.

Os demais estados tiveram comportamento variado quando comparados entre si. Estas diferenças de comportamento de IC entre os estados justificam a regionalização

Meio Ambiente

proposta para a RenovaCalc, assim como os benefícios que esta estratégia pode trazer para a melhor representação do milho brasileiro na política RenovaBio.

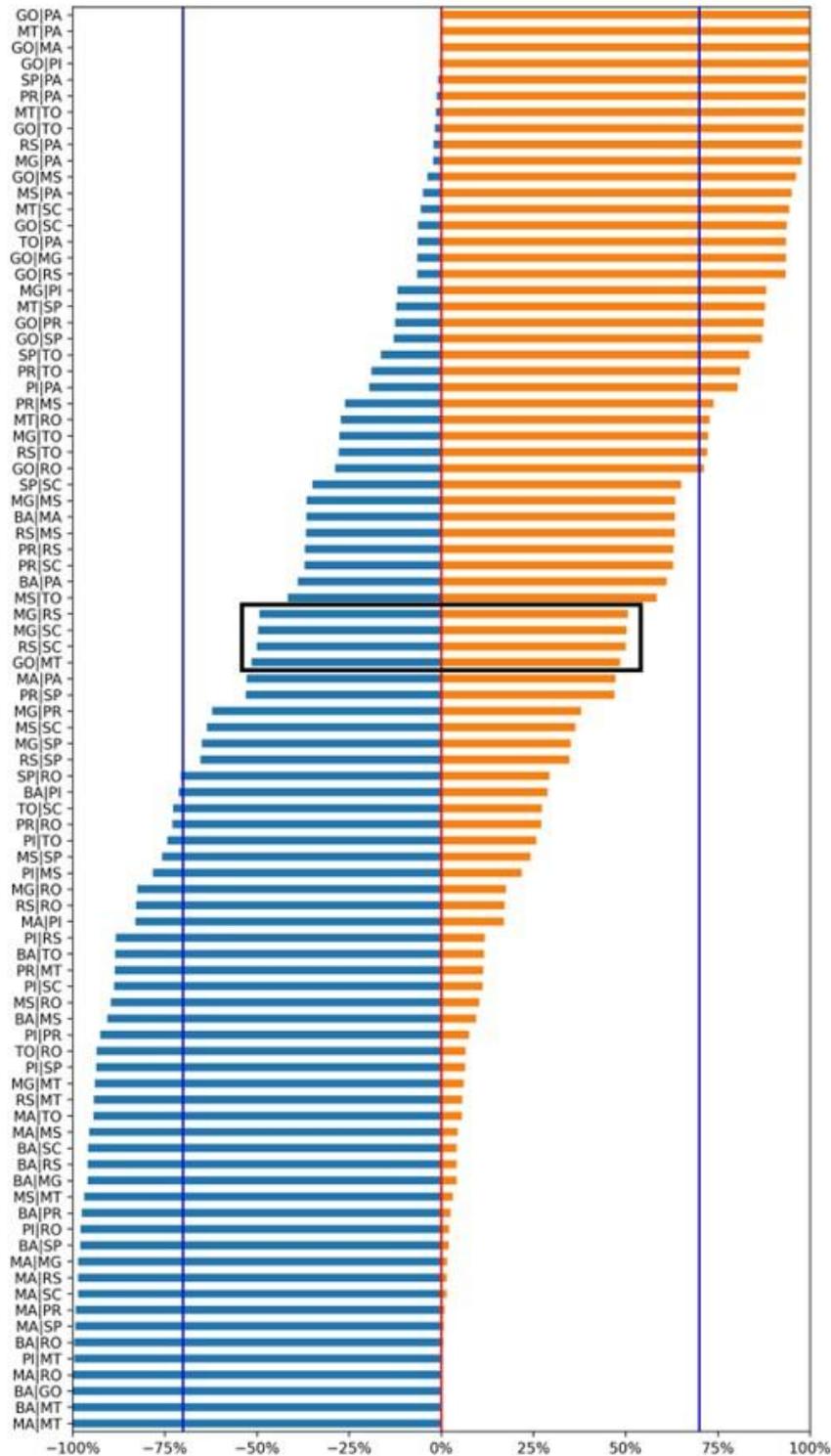


Figura 12. Porcentagem de vezes que um estado apresenta maior ou menor emissão que outro, quando comparados dois a dois. Intensidade de carbono calculada na versão 9.0 da RenovaCalc.

4. Considerações finais

O perfil "típico" de produção de milho não coincide com o perfil "padrão" utilizado na ferramenta RenovaCalc. O perfil "padrão" é definido a partir do perfil "típico" acrescido de uma penalidade, o que evita a subestimação das emissões na produção de biomassa. Isso é feito para acomodar situações em que a produção de biomassa possa participar da Política Nacional de Biocombustíveis, mas não possui informações verificáveis na certificação.

A regionalização dos perfis "típicos" de produção de milho em nível estadual está alinhada com as premissas da RenovaBio, que promovem o uso contínuo de dados primários em todas as fases de produção de biocombustíveis. A redução para escalas menores do que o nível estadual não foi adotada, uma vez que poderia levar à representação de particularidades que não seriam extrapoláveis para a política em questão.

A utilização de informações de bancos de dados públicos amplamente reconhecidos, como oecoinvent, GFLI e SICV, para construir os perfis "típicos" regionalizados, contribui para a transparência da política RenovaBio, minimizando preocupações da comunidade científica sobre a confiabilidade dos dados usados no RenovaCalc. A correção de valores específicos de alguns insumos, com base na análise de especialistas, também aprimora a representação dos perfis de produção de milho no Brasil. A única ressalva diz respeito à representatividade temporal dos dados, que poderia ser mais recente, se houvesse informações com o mesmo nível de detalhamento, abrangência e confiabilidade disponíveis.

A variação da intensidade de carbono entre os estados destaca a importância de utilizar os perfis estaduais de produção de milho no RenovaCalc, em substituição ao perfil nacional citado na Resolução ANP nº 758/2018. Portanto, a disponibilização de perfis "típicos" para todos os estados brasileiros que produzem milho, seja por meio de dados específicos de cada estado ou por extrapolação de dados de um estado



Meio Ambiente

para outro, oferece uma oportunidade para representar de maneira mais precisa a produção de milho local.

A atualização nos perfis de produção das biomassas participantes da RenovaCalc traz benefícios aos usuários da ferramenta e deve ser alinhada à outras atualizações na política RenovaBio. A determinação de um cronograma para estas atualizações permitiria maior agilidade, precisão e planejamento para o levantamento das informações necessárias nos diferentes estados brasileiros.

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>

BANCO NACIONAL DE INVENTÁRIOS DE CICLO DE VIDA – SICV Brasil, 2022. Disponível em: <https://sicv.acv.ibict.br/>

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.

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

CONABb - 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>

CRUZ, J.C.; CAMPANHA, M.M.; COLEHO, A.M.; KARAM, D.; PEREIRA-FILHO, I.A.; GARCIA, J.C.; PIMENTEL, M.A.G.; GONTIJO-NETO, M.M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COSTA, R.V.; ALVARENGA, R.C.; QUEIROZ, A.A.V. **Boas Práticas Agrícolas: Milho,** Documentos 119, Embrapa Milho e Sorgo, 45p. 2011.

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-%20FINAL%20-%20PDF.pdf>

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/>

GOEDKOOPT, M., OELE, M., VIEIRA, M., LEIJTING, J., PONSIOEN, T., & MEIJER, E. (2016). SimaPro tutorial. PRé Consultants BV, The Netherlands.

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; POCÓPIO, S. de O.; FRANCHINI, J.; CASTRO, C. de. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Documentos 335. Londrina: Embrapa Soja, 2012, 24p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícola 5. Documentos 405. Londrina, Embrapa Soja, 2018. 120p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 4. Documentos 412. Londrina, Embrapa Soja, 2019a, 119p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 1. Documentos 423. Londrina, Embrapa Soja, 2019b, 113p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3. Documentos 435. Londrina, Embrapa Soja, 2020. 124p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes: 2015**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>

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

_____. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): 2021**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa>

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.

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.; 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

MENDES, N. C.; MATSUURA, M. I. S. F.; RAMOS, N. P.; MAY, A.; MACIEL, V. G.; CARDOSO, F. H.; GAROFALO, D.; PIGHINELLI, A. L.; MORANDI, M.; HIRAKURI, M. H. **Inventários do ciclo de vida da produção de soja e a representatividade dos dados no contexto brasileiro**. In: VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2021. VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2021.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; XAVIER, C. E. O.; KULAY, L. A.; DONKE, A. C. G.; MATSUURA, M. I. S. F.; RAMOS, N. P.; MORANDI, M. A. B.; BONOMI, A. M. F. L. J.; CAPITANI, D. H. D.; CHAGAS, M. F.; CAVALETT, O.; GOUVÊIA, V. L. R. **A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 41, p. 147-207, jun. 2014.

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:



Meio Ambiente

<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>

NEIS, L.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PINTO, F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.409-416, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200014>

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

PEREIRA-FILHO, I.A. & GARCIA, J.C. Sistemas diferenciais de cultivo. Milho, 2021. Acesso: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo>

RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1687-1698, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500023>

UNICA. **Observatório da Cana e Bioenergia**, 2023. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=148>