

BALANÇO DE
CARBONO NA
PRODUÇÃO DE SOJA
DO MATOPIBA

Solidaridad

Solidaridad

FUNDAÇÃO SOLIDARIDAD

Diretor de País

Rodrigo Castro

Gerente de Programas

Paula Freitas

Gerente de Comunicação

Luiz Fernando Campos

Coordenadora de Projetos

Juliana Monti



BALANÇO DE CARBONO NA PRODUÇÃO DE SOJA DO MATOPIBA

Autores

Renata Potenza (Imaflora)
Gabriel Quintana (Imaflora)

Co-autor@s

Camila Santos
Juliana Monti

Revisão

Paula Freitas
Willen van der Vliet
Juliana Monti
Renata Potenza (Imaflora)

Revisão técnica

Marcos Heil Costa
Jorge da Silva Junior

Mapas

Karine Costa

Fotos

Shutterstock e
Fundação Solidaridad

Projeto gráfico, design editorial e edição de texto

Laboota

Revisão Editorial

Luiz Fernando Campos

FUNDAÇÃO SOLIDARIDAD

Balanço de carbono na produção de soja
do Matopiba: Fundação Solidaridad e Imaflora; São Paulo: 2022.

36p. : il. color ; 29,7x21cm.

1. Carbono 2. Emissão 3. Sequestro 4. Soja 5. Sistema de Plantio Direto
6. Matéria orgânica do Solo 7. Agricultura de baixo carbono

Copyright © 2022 Fundação Solidaridad. Todos os direitos reservados.

Aviso Legal: Esta publicação foi produzida pela Fundação Solidaridad. As opiniões dos autores expressas nesta publicação não refletem necessariamente as opiniões do Land Innovation Fund for Sustainable Livelihoods.

Agricultura de baixo carbono e segurança climática



A **Fundação Solidaridad** é uma organização internacional da sociedade civil com mais de meio século de atuação em mais de 40 países. Promove parcerias e soluções inovadoras junto a governos, organizações, cooperativas e empresas para apoiar produtoras e produtores rurais a produzir melhor e reduzir o impacto climático da produção de alimentos. Sua missão é garantir a transição para uma economia inclusiva e sustentável, que maximiza o benefício para as pessoas e o planeta.

No Brasil, promove há 13 anos o desenvolvimento de cadeias agropecuárias socialmente inclusivas, ambientalmente responsáveis e economicamente rentáveis. Busca acelerar a transição para uma

produção de baixo carbono, contribuindo para a segurança alimentar e climática do país e do mundo. Atualmente desenvolve com seus parceiros iniciativas de sustentabilidade nas seguintes cadeias: cacau, café, cana-de-açúcar, erva-mate, laranja, pecuária e soja.

O Programa Soja é atuante no Brasil desde 2010 e contribui para aumentar a sustentabilidade da cadeia da soja em diferentes biomas. No âmbito do Programa Soy Fast Track, foram apoiados 22 projetos que alcançaram 2,1 milhões de hectares de manejo sustentável em 1.014 propriedades.

Além disso, atuou-se também na escala da paisagem, em áreas de originação de soja, baseada em três eixos. O primeiro, Mudanças nas Práticas de Negócio, resultou em

493 sojicultores e sojicultoras que adotaram sistemas de melhoria contínua. O segundo, Governança da Paisagem, teve 848 agricultores e colaboradores treinados em legislação e restauração florestal e possibilitou a formação de grupos multissetoriais. Já o terceiro eixo, Sustentabilidade no Campo, resultou em 493 produtores treinados e 698.731 hectares sob boas práticas agrícolas.

Desde 2018, a Fundação Solidaridad estrutura sua ação com base na dinâmica territorial da soja nos principais polos de produção e no engajamento de organizações privadas. O objetivo é ampliar esforços para uma agricultura de baixo carbono com o uso eficiente da terra no MATOPIBA, dentro do bioma Cerrado.

Vale destacar que a metodologia desenvolvida e apresentada neste estudo, bem como as análises de balanço de carbono do Oeste da Bahia, integrarão a calculadora de balanço de carbono do Sistema de Informações de Meio Ambiente do Oeste da Bahia, plataforma desenvolvida pelo SENAI/ CIMATEC e que será gerenciada pela Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA).

O presente estudo, produzido em parceria técnica com o Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), visa contribuir para o desenvolvimento da agenda climática brasileira por meio do fomento e adoção de boas práticas agropecuárias de baixas emissões de carbono na produção de soja.



1. Introdução	pg. 5	2.6. Estoques de carbono nas áreas de vegetação nativa	pg. 13
2. Metodologia	pg. 7	2.7. Balanco de carbono e expressão dos resultados	pg. 14
2.1. Escopo da avaliação	pg. 8	2.8. Fatores de emissão e sequestro para os cenários de sequestro de carbono	pg. 15
2.2. Método de quantificação de emissões de carbono	pg. 9	3. Resultados	pg. 16
2.3. Emissões diretas e indiretas da produção de soja	pg. 9	3.1. Estoques de carbono na vegetação nativa	pg. 23
2.4. Fatores de emissão e conversão	pg. 10	3.2. Cenários de balanço de carbono projetados com diferentes mudanças de uso do solo	pg. 24
2.5. Emissões e sequestro de carbono pelo uso do solo	pg. 11	4. Conclusões	pg. 30

1.

Introdução

Com um aumento de aproximadamente 0,2°C por década, o aquecimento global antrópico poderá atingir 1,5°C entre 2030 e 2050. Como parte das medidas para diminuir esse impacto, **as emissões de gases de efeito estufa, como o carbono, provenientes dos setores de energia e agropecuária, são foco de iniciativas sustentáveis implantadas pelo mundo.**

No Brasil, políticas nacionais para viabilizar uma economia de baixa emissão de carbono vêm sendo implementadas nos últimos anos. De acordo com o instrumento de ratificação do Acordo de Paris, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, sigla em inglês), **o país se comprometeu a reduzir as emissões de carbono em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 e em 43% até 2030** (BRASIL, 2015).

Lançado recentemente, o programa ABC+ 2020-2030, novo ciclo do Plano ABC, estabelece estratégias direcionadas às mudanças do clima e baixa emissão de carbono, além de continuar a promover as práticas de adoção de sistemas de produção sustentáveis consideradas no ciclo anterior, como sistemas em integração e plantio direto, uso de bioinsumos, florestas plantadas, recuperação de pastagens degradadas, implementação de sistemas irrigados e outros (BRASIL, 2021).

Nesse cenário, **a soja é uma commodity com papel estratégico no Brasil, pois está associada aos setores de energia e agricultura,** impactando positivamente no primeiro, com previsões crescentes de inclusão de biodiesel no diesel de origem fóssil, e com possibilidades de adoção de sistemas de produção que reduzem significativamente as emissões e podem promover incrementos de carbono no solo.

PRODUÇÃO DE SOJA NA SAFRA 2019/2020



O BRASIL REPRESENTOU **38% DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE SOJA NA SAFRA 2019/2020**



O PAÍS OCUPA O **PRIMEIRO LUGAR** NO RANKING DE PRODUTORES DE GRÃO

MUNDIAL

ÁREA PLANTADA
122.930.000 ha

PRODUÇÃO
339.880.000 t

PRODUTIVIDADE
2.765 kg/ha

1. BRASIL

ÁREA PLANTADA
36.900.000 ha

PRODUÇÃO
128.844.800 t

PRODUTIVIDADE
3.492 kg/ha

2. EUA

ÁREA PLANTADA
30.327.000 ha

PRODUÇÃO
96.667.000 t

PRODUTIVIDADE
3.187 kg/ha

3. ARGENTINA

ÁREA PLANTADA
16.700.000 ha

PRODUÇÃO
48.800.000 t

PRODUTIVIDADE
2.922 kg/ha

Fonte: (USDA, 2021)



Sob o ponto de vista econômico, o **Brasil representou 38% da produção mundial de soja na safra 2019/2020 e ocupou o primeiro lugar no ranking entre os países produtores do grão**. Foram cultivados 36,9 milhões de hectares, aproximadamente 30% da área mundial com a cultura (USDA, 2021). O país produz mais grão por área cultivada.

Do total da safra 2019/2020, 85% foram produzidas da região Centro-Sul e 15% na região Norte e Nordeste, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021). O MATOPIBA compreende o estado de Tocantins, parte dos estados de Maranhão e Piauí e o Oeste da Bahia. Apenas para a cultura da soja, houve incremento de 20% da área cultivada na safra 2019/2020 em comparação com a safra 2014/2015, e a produção apresentou aumento de 46%, passando de 10.559.800 para 15.396.200 toneladas de soja (CONAB, 2021).

O objetivo desta publicação é apresentar o balanço de carbono da produção de soja no MATOPIBA, aqui representado por **50 fazendas localizadas na região. Nesse escopo, também foi analisado o estoque de carbono nas áreas com vegetação nativa e os cenários melhorados em função das práticas de manejo adotadas e mudanças de uso da terra.**



FORAM CULTIVADOS NO BRASIL **36,9 MILHÕES DE HECTARES, 30% DA ÁREA MUNDIAL** COM A CULTURA, COM UMA **PRODUÇÃO TOTAL DE 128.844.800 TONELADAS, O QUE EQUIVALE A UMA PRODUTIVIDADE DE 3.492 KG/HA**

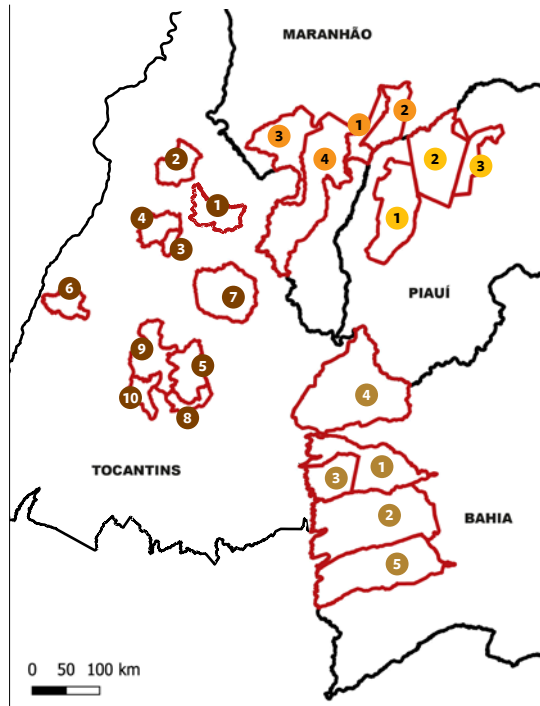
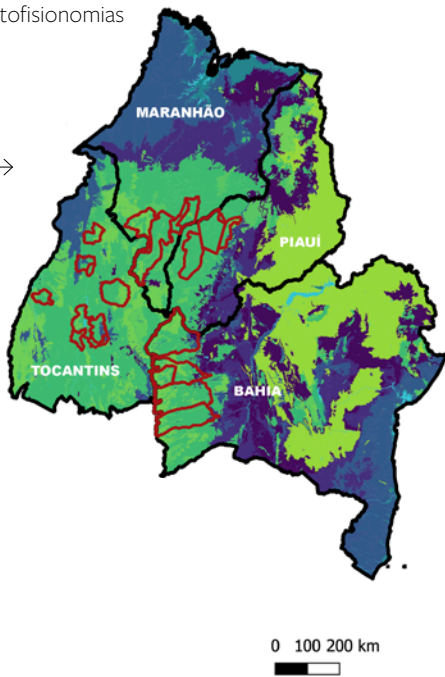
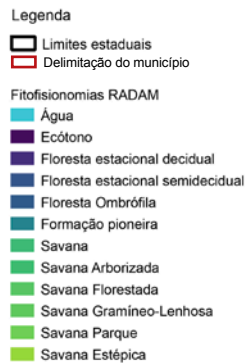
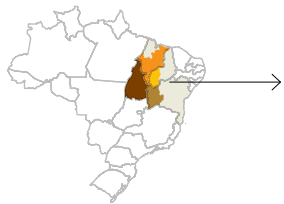
Metodologia



AS FAZENDAS AVALIADAS ESTÃO NA
REGIÃO DO MATOPIBA, QUE COMPREENDE
O BIOMA CERRADO NOS ESTADOS DE
MARANHÃO, TOCANTINS, PIAUÍ E BAHIA

AS FAZENDAS AVALIADAS

Foram escolhidas 50 fazendas com ao menos 5 hectares de soja em 22 municípios, com diferentes fitofisionomias



ESTADOS E MUNICÍPIOS



TOCANTINS

15 fazendas

MUNICÍPIOS

- 1 Itacajá
- 2 Palmeirante
- 3 Tupirama
- 4 Guarái
- 5 Monte do Carmo
- 6 Marianópolis do Tocantins
- 7 Rio Sono
- 8 Silvanópolis
- 9 Porto Nacional
- 10 Brejinho de Nazaré



BAHIA

20 fazendas

MUNICÍPIOS

- 1 Barreiras
- 2 São Desidério
- 3 Luís Eduardo Magalhães
- 4 Formosa do Rio Preto
- 5 Correntina



MARANHÃO

9 fazendas

MUNICÍPIOS

- 1 Sambaíba
- 2 Loreto
- 3 Riachão
- 4 Balsas



PIAUÍ

6 fazendas

MUNICÍPIOS

- 1 Baixa Grande do Ribeiro
- 2 Uruçuí
- 3 Sebastião Leal

CLIMA E VEGETAÇÃO



Tropical com Inverno seco:

- Estação chuvosa | Verão | Nov-Abr
- Estação seca | Inverno | Mai-Out
- Precipitação média anual: 800 e 2.000 mm



Principais fitofisionomias:

- Savana Parque
- Savana Gramíneo-lenhosa
- Savana Florestada
- Floresta Estacional
- Savana Arborizada
- Semidecidual Submontana

2.1.

Escopo da avaliação

A abordagem para **quantificação de emissões e sequestro de carbono está em conformidade com o proposto pelo Programa Brasileiro GHG Protocol**, que classifica as emissões em três escopos relacionados com o grau de controle da organização, neste caso fazendas, sobre suas fontes ou atividades precursoras de emissões de carbono.

- No **Escopo 1**, são contempladas emissões que pertencem ou podem ser controladas pela fazenda, caracterizadas como diretas.
- O **Escopo 2** trata de uma categoria especial de emissões indiretas, provenientes do consumo de energia elétrica, que ocorrem fisicamente no local onde a energia é produzida, mas trazidas para dentro dos limites da fazenda.
- Já o **Escopo 3** é uma categoria de relato opcional, que inclui outras emissões indiretas, consideradas como consequência das atividades da fazenda e que não ocorrem em fontes que pertencem ou são controladas por ela. Um exemplo é o frete de insumos e da produção da fazenda.

Nesta avaliação, foram consideradas atividades emissoras dos escopos 1 e 2. É importante ressaltar que a emissão de carbono da mudança de uso do solo anterior ao estabelecimento da lavoura de soja não foi contabilizada no balanço de carbono nesta análise. Foram consideradas somente as emissões e sequestro de carbono relacionadas às práticas agrícolas de cada fazenda.

As atividades/fontes precursoras de carbono contabilizadas como Escopo 1 são:



OPERAÇÕES AGRÍCOLAS MECANIZADAS, A PARTIR DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS EM FONTES MÓVEIS



OPERAÇÕES DE FERTILIZAÇÃO DO SOLO, A PARTIR DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS



OPERAÇÕES DE CALAGEM E APLICAÇÃO DE GESSO PARA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO



DECOMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE COLHEITA

No Escopo 2, estão estimadas emissões de carbono provenientes da compra de energia elétrica da concessionária de energia.

A avaliação retrata o ano-safra 2019/2020, que compreendeu o segundo semestre de 2019, período com cultivo de soja, e o primeiro semestre de 2020, período com segunda safra (para as que a apresentaram). Foram contabilizadas emissões de carbono das atividades de preparo de solo e decomposição de resíduos agrícolas para a safra da soja e para a segunda safra. Os dados foram coletados a partir de um questionário por meio de entrevistas com produtores e produtoras.

Com os dados da safra 2019/2020, dentro dos escopos 1 e 2, foi estabelecida a **linha de base do balanço de carbono da produção de soja para cada uma das fazendas**. A partir dessa linha de base, foi possível **projetar quatro cenários de mudança do uso do solo e práticas agrícolas e seus respectivos balanços de carbono**.

2.2.

Método de quantificação de emissões de carbono

A metodologia para o cálculo das estimativas de emissões e sequestro de carbono da produção de soja na região do MATOPIBA está dividida em quatro categorias principais: **as emissões da produção agrícola, as emissões e sequestro pelo uso do solo, os estoques de carbono contido nas áreas com vegetação nativa e as emissões líquidas, também chamadas de balanço de carbono**, detalhadas a seguir.

Foram considerados fatores de emissão e sequestro propostos por protocolos nacionais e internacionais, com robustez metodológica e que possibilitem comparações com outras avaliações. Estudos regionais que avaliem a emissão e sequestro de carbono no longo prazo são essenciais para aperfeiçoar as metodologias já disponíveis.

2.3.

Emissões diretas e indiretas da produção de soja

As emissões diretas e indiretas contabilizadas para a produção de soja foram estimadas de acordo com as fontes e atividades emissoras de carbono:



APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NO SOLO



APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO NO SOLO



DECOMPOSIÇÃO DE RESTOS CULTURAIS



QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS



QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS



CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.4.

Fatores de emissão e conversão

Os fatores de emissão e conversão recomendados pela presente metodologia contemplam o Tier¹, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), em conformidade com a atualização do relatório em 2019. Nesta primeira avaliação, todos os fatores considerados nas equações foram obtidos na literatura publicada pelo IPCC, seguindo a utilização de fatores, quando existentes, específicos para o país e de acordo com a literatura científica existente.

Para uma avaliação mais aprofundada, é importante utilizar fatores que reflitam as condições edafoclimáticas da região, o que demanda a existência prévia de uma série histórica de monitoramento.

¹ Tier: representa um nível de complexidade metodológica. Existem três níveis descritos para categorizar fatores de emissões e dados de atividade. O Tier 1 é o método básico, frequentemente utilizando fatores nacionais ou internacionais, como os fornecidos pelo IPCC. O uso de uma estimativa de emissões de Nível 1 requer as seguintes informações: dados sobre a quantidade de combustível queimado e um fator de emissão padrão (por exemplo, fornecido pelo IPCC).



2.5.

Emissões e sequestro de carbono pelo uso do solo

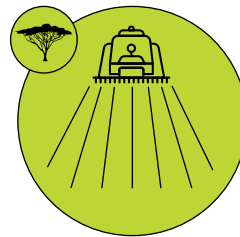
Uma das vias para quantificação do sequestro de carbono é a estimativa do estoque no solo. O recomendado é a quantificação dos estoques de carbono contrastando o tratamento com o controle. Em outras palavras, foram avaliados os estoques de uma determinada situação (tratamento) em comparação a uma situação anterior (controle), como a mudança de uso do solo sob cobertura de vegetação nativa para áreas agrícolas ou a adoção de práticas de manejo conservacionista, em substituição às práticas de manejo convencional.

Sabe-se que a **matéria orgânica do solo em equilíbrio é um reservatório dinâmico dos ciclos do carbono (C) e do nitrogênio (N), e seu conteúdo encontra-se supostamente estável em solos sob vegetação natural** (BORTOLON et al., 2009).

Considerando as fitofisionomias do bioma Cerrado utilizadas neste estudo, pode-se considerar que a manutenção desse ecossistema equilibrado proporciona um estoque de carbono subterrâneo médio de 18,41 tC/ha (BRASIL, 2020). Quando vegetações nativas são alteradas por atividades antrópicas, o equilíbrio dinâmico é quebrado e, em geral, as entradas de C são menores do que as saídas, o que leva à redução da quantidade e modificação da qualidade da matéria orgânica do solo (CERRI et al., 2008).

Neste relatório, são apresentados quatro cenários para análise de balanço do carbono, com os respectivos fatores de conversão de cada um:

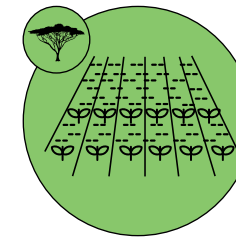
CENÁRIOS PARA ANÁLISE DE BALANÇO DO CARBONO



CENÁRIO I

CERRADO
PARA SISTEMA
DE PLANTIO
CONVENCIONAL

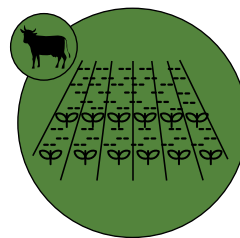
Fator de Emissão
0,9167 tCO₂e/ha/ano



CENÁRIO II

CERRADO
PARA SISTEMA
DE PLANTIO
DIRETO

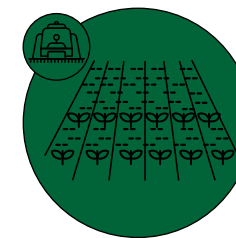
Fator de Sequestro
-0,44 tCO₂e/ha/ano



CENÁRIO III

PASTAGEM
DEGRADADA
PARA SISTEMA
DE PLANTIO DIRETO

Fator de Sequestro
-0,6967 tCO₂e/ha/ano



CENÁRIO IV

SISTEMA DE PLANTIO
CONVENCIONAL
PARA SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO

Fator de Sequestro
-1,76 tCO₂e/ha/ano



Apesar dos fatores de emissão padrões disponíveis no GHG Protocol – Agricultura, em dois casos optou-se por utilizar outros valores disponíveis na literatura, por aparentarem ser mais representativos das condições de uso e manejo encontradas na região. Para o cenário de linha de base das fazendas em relação ao uso de sistema de plantio convencional (SPC) ou sistema de plantio direto (SPD), considerou-se a emissão ou sequestro de CO₂ que a adoção de cada modelo implica para estimar o sequestro de carbono proveniente do solo. **Para as que já utilizavam SPD, aplicou-se um fator de sequestro de -1,53 tCO₂e/ha/ano (BERNOUX et al., 2006), resultante do uso de plantio direto considerando a realização da semeadura direta e a manutenção da cobertura do solo pela matéria orgânica. Essas práticas contribuem para o aumento de carbono nas camadas mais superficiais do solo pela sua menor perturbação, contribuindo para a redução de emissões.**

Também há fazendas que mantêm a cobertura do solo com outras culturas, como gramíneas (braquiárias) que têm maior aporte de material orgânico. **Para essas, que também utilizam o SPD com esse aporte extra de carbono via a matéria orgânica das demais culturas, utilizou-se o fator de sequestro de -1,76 tCO₂e/ha/ano**, a fim de reconhecer essa outra fonte de manutenção e incremento de carbono no solo (MAIA et al., 2013).

Esses fatores podem ser considerados como estimativas conservadoras. São alguns dos menores valores encontrados na literatura, escolhidos com a consulta de especialistas para buscar minimizar as limitações técnicas em se obter o sequestro, de acordo com a realidade do campo de cada fazenda e suas condições edafoclimáticas.

Já para as fazendas que adotam sistema de plantio convencional (SPC), o fator de emissão utilizado foi de 0,88 tCO₂e/ha/ano (COSTA JUNIOR et al., 2013).

2.6.

Estoques de carbono nas áreas de vegetação nativa

Os estoques de carbono na biomassa das áreas de conservação, reserva legal e área de preservação permanente deverão ser reportados separadamente, pois trata-se de áreas sob vegetação natural já estabelecidas e, sobretudo, protegidas por lei. Portanto, entende-se que não há incrementos de carbono adicional além daqueles que a propriedade possui por meio de seu dever legal, com o estoque de carbono já tendo alcançado seu estado de equilíbrio. **Essa informação, portanto, não entra na análise de balanço de carbono.**

A metodologia proposta para estimativa dos estoques de carbono contidos nas áreas de vegetação nativa de fazendas consiste no cruzamento dos seguintes dados:



IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATIVA DAS FAZENDAS (EM HECTARES)



CRUZAMENTO DAS DELIMITAÇÕES DOS MUNICÍPIOS DE LOCALIZAÇÃO DAS FAZENDAS AVALIADAS COM O MAPA DE BIOMAS E VEGETAÇÃO PRETÉRITA DA BASE DE DADOS DO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)



LEVANTAMENTO NA LITERATURA DOS VALORES MÉDIOS DE CARBONO CONTIDOS NAS FITOFISIONOMIAS² DAS FAZENDAS



APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DO CARBONO ESTOCADO NA FISIONOMIA DAS ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATIVA DAS FAZENDAS

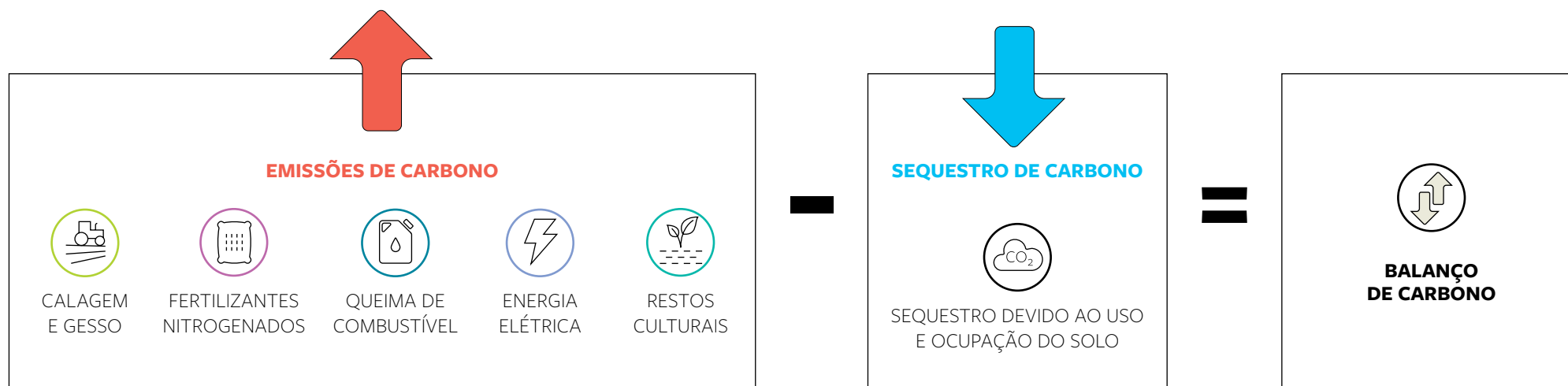


¹ As fitofisionomias que fazem parte do escopo dessa análise estão indicadas no mapa 1

2.7.

Balanço de carbono e expressão dos resultados

Na metodologia do GHG Protocol da Agricultura, é recomendada a seguinte equação para cálculo do balanço de emissões e sequestros de carbono (ou, de uma forma simplificada, balanço de carbono).



Os resultados finais foram expressos em toneladas de carbono equivalente por saca de soja³, por quilograma de soja e por área, tanto para as fazendas com única safra, quanto para as que tinham segunda safra. Para as estimativas de emissões de carbono por quantidade de soja produzida, foram considerados valores de produção em função das áreas colhidas.

Para fins do balanço de carbono, as emissões biogênicas⁴ não são contabilizadas, apenas reportadas separadamente.

³ 1 saca equivale a 0,06 toneladas.

⁴ A recomendação do GHG Protocol Brasil é que as emissões de CO₂ oriundas da combustão de biomassa sejam reportadas separadamente. O CO₂ liberado na combustão de biomassa equivale ao CO₂ retirado da atmosfera durante o processo de fotossíntese, sendo considerado como biogênico. De maneira geral, as emissões de carbono biogênico são oriundas do uso do solo, da decomposição de matéria orgânica e queimadas de resíduos agrícolas e pela utilização de biocombustíveis.

2.8.

Fatores de emissão e sequestro para os cenários de sequestro de carbono pelo solo e para a extrapolação dos balanços de carbono

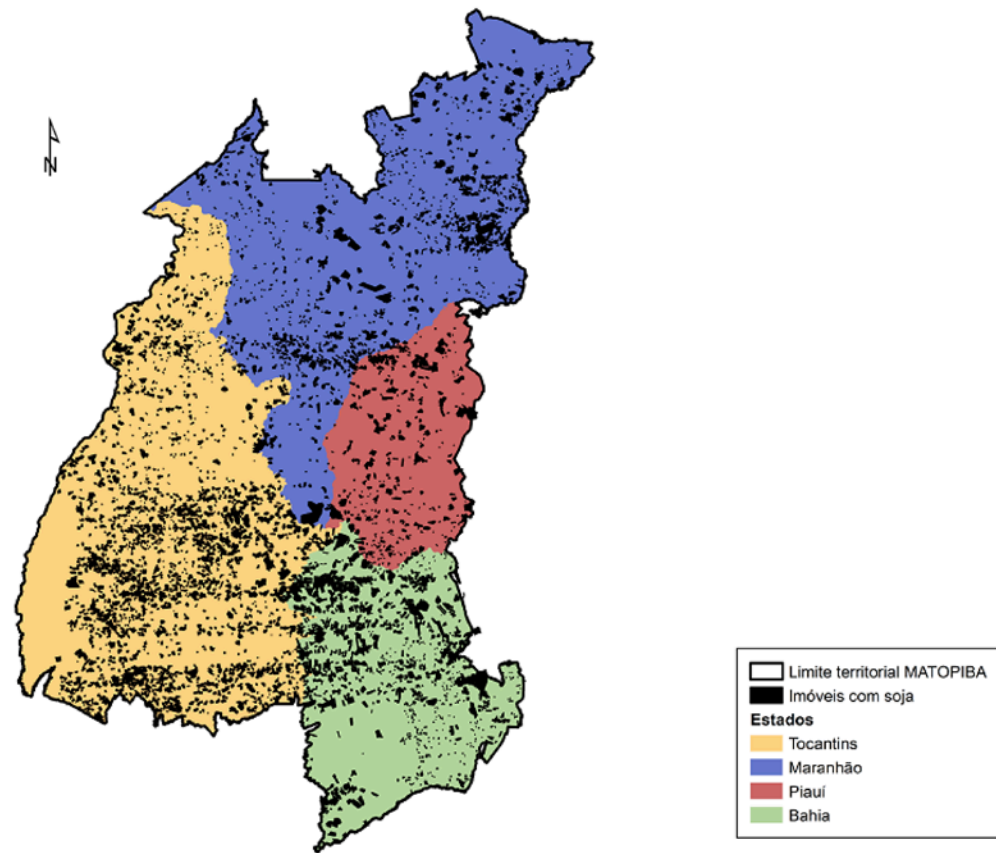
A fim de se projetar diferentes cenários de balanço de carbono com base nas transições de uso do solo para o grupo de fazendas avaliadas, foram utilizados **modelos de mudanças do uso e manejo do solo, que implicam em novos valores de sequestro ou emissão de carbono pelo solo, de acordo com as características de cada cenário.**

Os valores estimados das emissões de escopos 1 e 2 foram mantidos como os calculados para a safra 2019/2020. Cada um dos quatro cenários projetados (detalhados na [página 11](#)) implica em mudanças de uso e manejo do solo, com diferentes fatores de emissão.

Para a extrapolação das médias dos resultados obtidos da linha de base e dos cenários projetados, realizou-se a identificação dos imóveis com soja no MATOPIBA a partir da combinação da malha fundiária publicada por pesquisadores do Imaflora (SPAROVEK et al., 2019) e os mapas de soja produzidos pela Agrosatélite para os biomas Amazônia e Cerrado para o biênio 2016/2017 (AGROSATÉLITE, 2018).

Após o cruzamento das duas camadas, foram selecionados todos os imóveis do MATOPIBA com ao menos cinco hectares de soja. Esse filtro foi utilizado para evitar ruídos nos resultados, que poderiam ocorrer devido à diferença de escala entre as bases. Após essa etapa, aplicou-se os valores estimados de balanços de carbono da linha de base e dos cenários para todos os imóveis com soja identificados no MATOPIBA. Foram utilizados os dados levantados em campo pelo projeto como fonte primária de informação, extraindo-se a quantidade emitida por hectare para as fazendas analisadas.

FAZENDAS PRODUTORAS DE SOJA NO MATOPIBA



Fonte: Mapa produzido pelo Imaflora em parceria com a Fundação Solidaridad

3.

Resultados

A seguir, estão apresentados os resultados das estimativas de emissões de carbono, dos estoques de carbono na biomassa da vegetação nativa e do balanço de carbono das fazendas avaliadas nos estados do MATOPIBA. Para os valores agregados, seguindo a caracterização das fazendas avaliadas, utilizou-se média ponderada, considerando as áreas agrícolas e estimativas obtidas.



EMISSIONES E SEQUESTRO DE CARBONO



MARANHÃO



9 fazendas

A estimativa da emissão de carbono das nove fazendas no Maranhão foi de **39.848,72 tCO₂e/ano na safra 2019/2020**, sendo 64,5% pela realização de calagem e aplicação de gesso. Os fertilizantes nitrogenados contribuíram com 24,5% das emissões totais, sendo 52,3% pela aplicação de ureia e 30,4% de emissões consideradas indiretas. Por fim, 17,3% foram de emissões diretas da aplicação de fertilizantes nitrogenados.

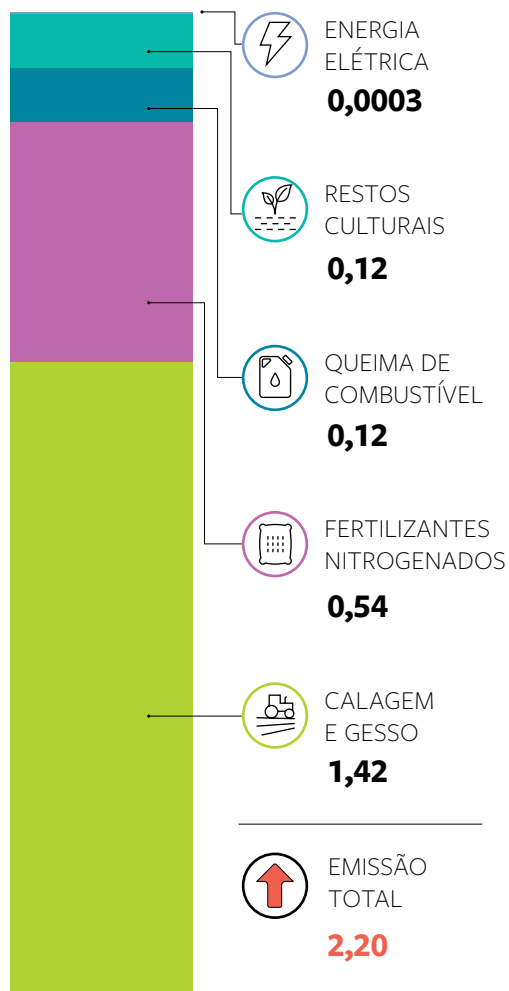
As emissões provenientes da decomposição de resíduos agrícolas, combustíveis fósseis nas operações mecanizadas e consumo de energia elétrica contribuíram com 5,5%, 5,4%, e 0,02%, respectivamente.

Os valores médios obtidos das emissões de carbono por área das fazendas maranhenses foram de 2,20 tCO₂e/ha/ano e de 0,0389 tCO₂e/saca/ano de soja produzida na safra 2019/2020.

Considerando o sequestro de carbono pelo solo das áreas com a adoção de práticas de sistema de plantio direto (SPD), o balanço de carbono médio por área estimado foi de 0,51 tCO₂e/ha/ano emitido, com **o balanço de carbono por saca sendo de 0,0083 tCO₂e/saca/ano**. Esse acúmulo de carbono no solo, por sua vez, foi capaz de **compensar 76,7% das emissões de carbono, com uma taxa de sequestro por área de -1,68 tCO₂e/ha/ano**.

Emissão de carbono

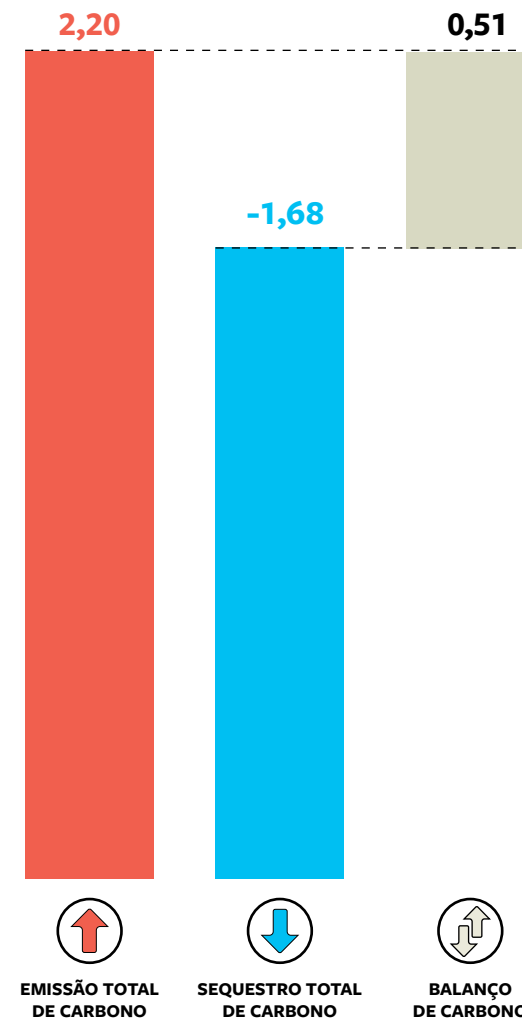
(tCO₂e/ha/ano)



CALAGEM E GESSO CORRESPONDEM A 64,5%

Balanço de carbono

(tCO₂e/ha/ano)



EMIÇÃO TOTAL DE CARBONO



SEQUESTRO TOTAL DE CARBONO



BALANÇO DE CARBONO

EMISSÕES E SEQUESTRO DE CARBONO



TOCANTINS



15 fazendas

A estimativa da emissão de carbono das 15 fazendas no Tocantins foi de **22.179,05 tCO₂e/ano na safra 2019/2020**, sendo 55,8% originadas pela realização de calagem e aplicação de gesso. Os fertilizantes nitrogenados contribuíram com 31,2% das emissões totais, sendo 62,1% originadas pela aplicação de ureia e 30,7% de emissões consideradas indiretas, com a lixiviação e/ou escoamento superficial respondendo por 17% e a volatilização e posterior deposição atmosférica por 13,8%. Por fim, 7,1% foram de emissões diretas da aplicação de fertilizantes nitrogenados.

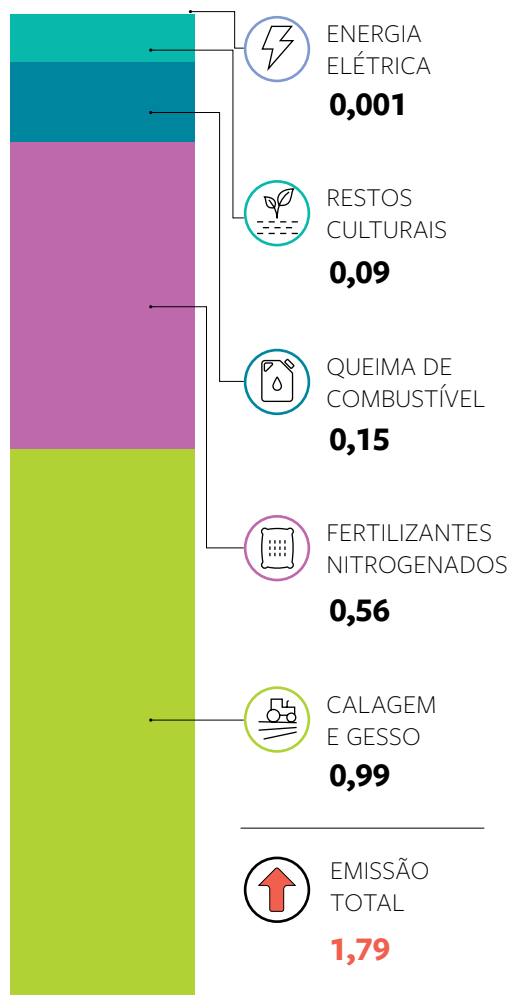
As emissões provenientes da queima dos combustíveis fósseis nas operações mecanizadas, da decomposição de resíduos agrícolas e do consumo de energia elétrica contribuíram com 8,2%, 4,8%, e 0,04%, respectivamente.

Os valores médios obtidos das emissões de carbono por área das fazendas produtoras do Tocantins foram de 1,79 tCO₂e/ha/ano e de 0,0321 tCO₂e/saca/ano de soja produzida na safra 2019/2020.

Considerando o sequestro de carbono pelo solo das áreas com a adoção de práticas de sistema de plantio direto (SPD), **o balanço de carbono médio por área estimado foi de 0,39 tCO₂e/ha/ano emitido, com o balanço de carbono por saca sendo de 0,0076 tCO₂e/saca/ano**. Esse acúmulo de carbono no solo, por sua vez, foi capaz de compensar apenas 78,4% das emissões de carbono, com uma taxa de sequestro por área de -1,40 tCO₂e/ha/ano, ou seja, as emissões estimadas foram maiores que o sequestro.

Emissão de carbono

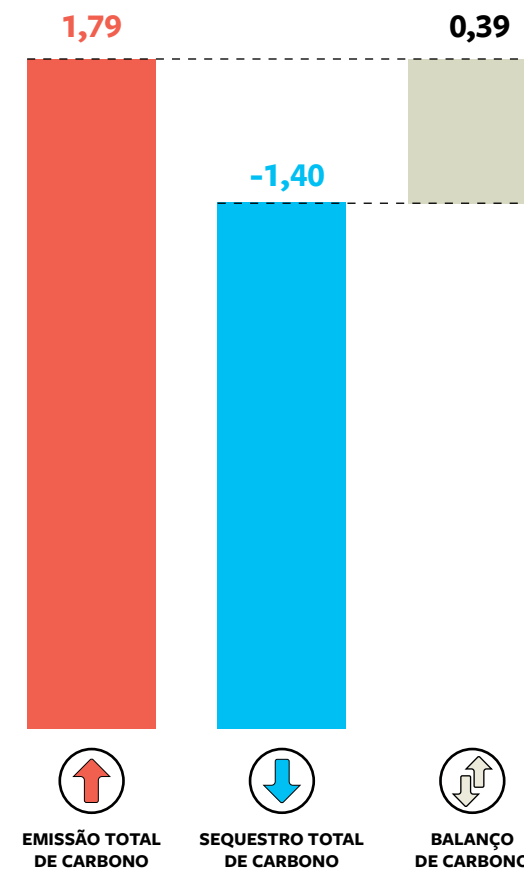
(tCO₂e/ha/ano)



CALAGEM E GESSO CORRESPONDEM A 55,8%

Balanço de carbono

(tCO₂e/ha/ano)



EMISSÃO TOTAL DE CARBONO



SEQUESTRO TOTAL DE CARBONO



BALANÇO DE CARBONO

EMISSIONES E SEQUESTRO DE CARBONO



PIAUI



6 fazendas

A estimativa da emissão de carbono das seis fazendas no Piauí foi de **23.734,90 tCO₂e/ano na safra 2019/2020**, sendo 54,4% originadas pela queima de combustíveis fósseis nas operações mecanizadas e 22,1% pela calagem e aplicação de gesso.

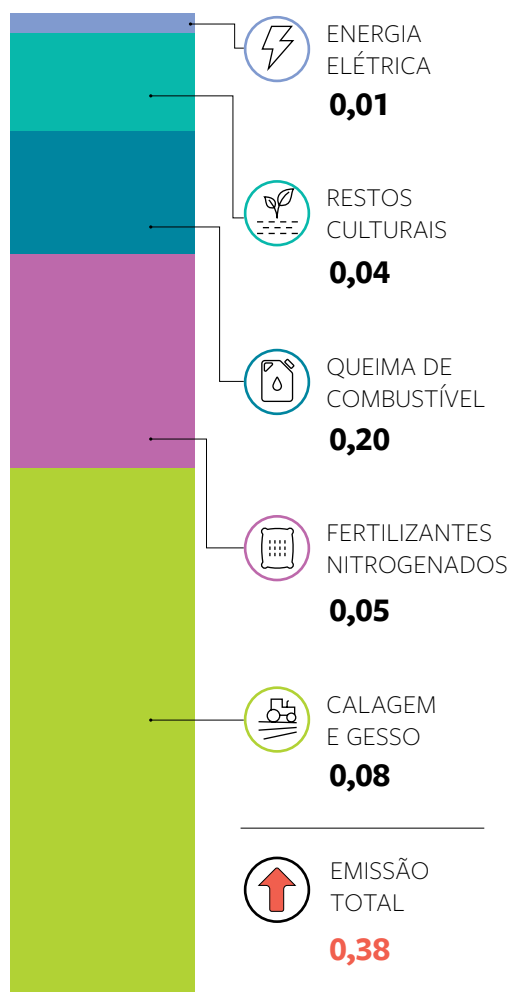
Os fertilizantes nitrogenados contribuíram com 12,7% das emissões totais, sendo 69% pela aplicação de ureia e 31% de emissões consideradas indiretas, com lixiviação e/ou escoamento superficial (16,9%) e volatilização e posterior deposição atmosférica (14,1%). As emissões provenientes da decomposição de resíduos agrícolas e do consumo de energia elétrica contribuíram com 9,5% e 1,4%, respectivamente.

Os valores médios obtidos das emissões de carbono por área das fazendas piauienses foram de 0,38 tCO₂e/ha/ano e de 0,0077 tCO₂e/saca/ano de soja produzida na safra 2019/2020.

Considerando o sequestro de carbono pelo solo das áreas com a adoção de práticas de sistema de plantio direto (SPD), **o balanço de carbono médio por área estimado foi de -1,30 tCO₂e/ha/ano sequestrado, com o balanço de carbono por saca sendo de -0,0278 tCO₂e/saca/ano**. Esse acúmulo de carbono no solo, por sua vez, foi capaz de **compensar 445% das emissões de carbono, com uma taxa de sequestro por área de -1,67 tCO₂e/ha/ano**.

Emissão de carbono

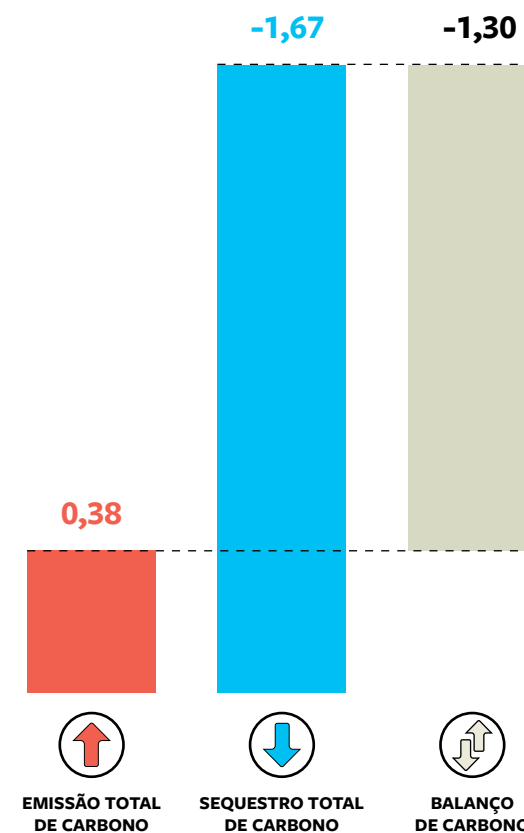
(tCO₂e/ha/ano)



CALAGEM E GESSO CORRESPONDEM A 54,4%

Balanço de carbono

(tCO₂e/ha/ano)



EMISSÕES E SEQUESTRO DE CARBONO



BAHIA



20 fazendas

A estimativa da emissão de carbono das 20 fazendas na Bahia foi de **64.813,23 tCO₂e/ano na safra 2019/2020**. Cerca de 62% foram originadas pela realização de calagem e aplicação de gesso. Os fertilizantes nitrogenados contribuíram com 19,5% na lavoura de soja e na segunda safra. Desse total, 65% foram originadas pela aplicação de ureia e 30,8% foram emissões indiretas (lixiviação e/ou escoamento superficial respondendo por 16,9% e volatilização e posterior deposição atmosférica por 13,9%).

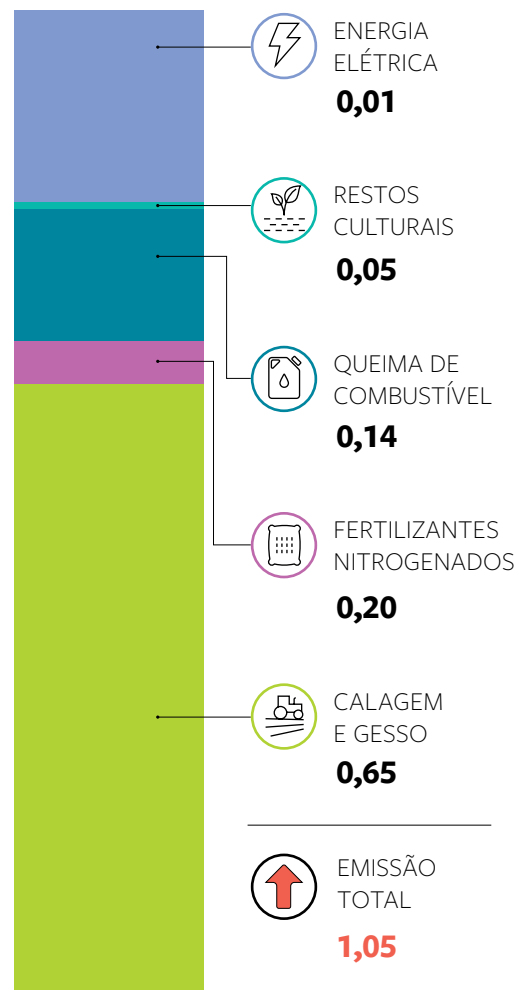
As emissões provenientes da queima dos combustíveis fósseis nas operações mecanizadas, decomposição de resíduos agrícolas e consumo de energia elétrica contribuíram com 13,6%, 4,3% e 0,6%, respectivamente.

Para as fazendas baianas, os valores médios obtidos das emissões de carbono foram de 1,05 tCO₂e/ha/ano e 0,0149 tCO₂e/saca/ano.

Considerando o sequestro de carbono pelo solo das áreas com a adoção de práticas de SPD, **o balanço de carbono médio por área estimado foi de -0,39 tCO₂e/ha/ano sequestrado, com o balanço de carbono por saca sendo de -0,006 tCO₂e/saca/ano.** Esse acúmulo de carbono no solo, por sua vez, foi capaz de compensar **137,5% das emissões de carbono, com uma taxa de sequestro por área de -1,45 tCO₂e ha⁻¹ ano⁻¹.**

Emissão de carbono

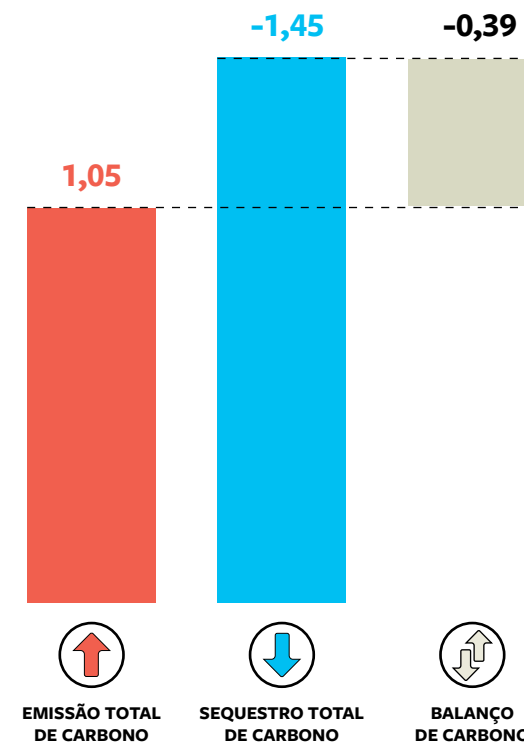
(tCO₂e/ha/ano)



CALAGEM E GESSO CORRESPONDEM A **62%**

Balanço de carbono

(tCO₂e/ha/ano)



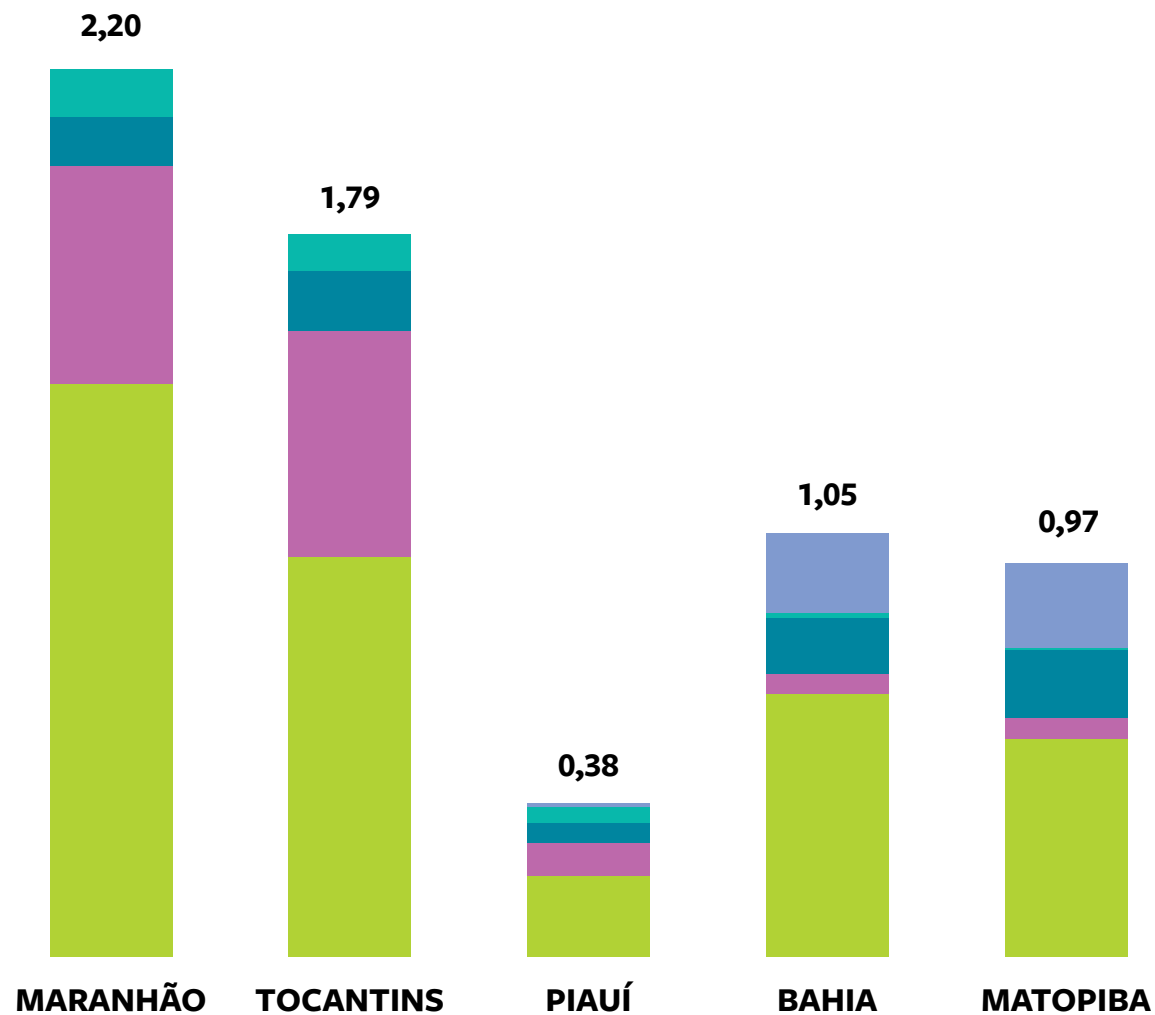
EMISSIONES E SEQUESTRO DE CARBONO



A estimativa de emissões totais de escopo 1 e 2 de carbono das 50 fazendas avaliadas na região do MATOPIBA resultou em 150.575,90 tCO₂e/ano na safra 2019/2020. O gráfico ao lado traz os valores das emissões totais de cada grupo de fazendas de cada estado e o total agregado da região.



Emissão total de carbono (tCO₂e/ha/ano)



- Considerando as emissões totais da região do MATOPIBA, aproximadamente 50,5% foram originadas pela utilização de corretivos agrícolas, devido à calagem e à aplicação de gesso, com frequência de uso de modo pontual.
- A segunda maior fonte de emissão foi a aplicação de fertilizantes nitrogenados, que contribuíram com 21,5% das emissões totais, sendo 60,9% originadas pela aplicação de ureia e 30,7% por emissões indiretas, lixiviação e/ou escoamento superficial (17%), assim como volatilização e posterior deposição atmosférica de N nas formas de NH₄ e NO_x (13,7%). O uso desses insumos está mais associado às culturas de segunda safra. Por fim, 8,4% correspondem a emissões diretas da aplicação dos diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados, contabilizando a quantidade aplicada nas áreas de lavoura de soja e nas de segunda safra.
- As demais fontes das emissões provenientes das fazendas foram o uso de combustíveis em operações agrícolas (17%), decomposição de resíduos agrícolas (5,5%) e consumo de energia elétrica (0,5%).

A área total analisada com o cultivo de soja foi de 155.453 ha, sendo a área destinada para a segunda safra de 38.653 ha (75,1% menor que a área da soja). A produtividade da soja foi de 58 sacas/ha/ano (3,5 ton/ha/ano), enquanto a da segunda safra foi de 98 sacas/ha/ano (5,9 ton/ha/ano).

Considerando o balanço de emissões pelo solo entre as fazendas que utilizam práticas de SPD (sequestro de carbono) e as que ainda realizam SPC (emissão de carbono), é possível estimar a contribuição do sequestro total pelo solo de -242.660,63 tCO₂e/ano, compensando 161,2% das emissões de escopos 1 e 2 estimadas, e o balanço de emissão de -92.085,73 tCO₂e/ano.

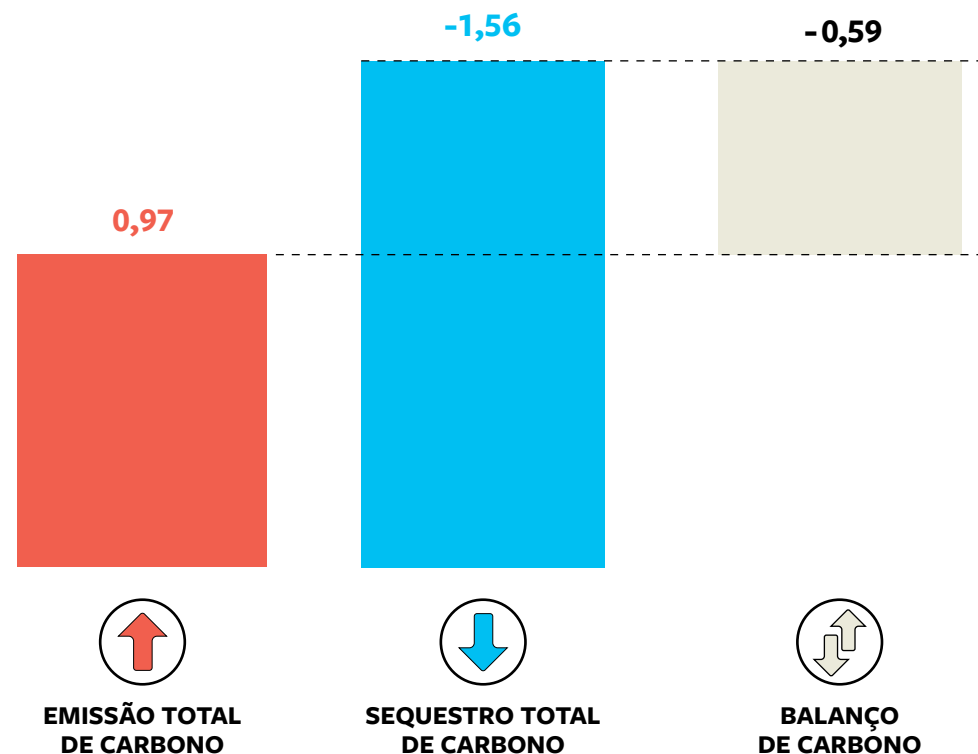
Na figura à direita, estão apresentadas as fontes emissoras de escopos 1 e 2, assim como o sequestro de carbono promovido pelo solo.

Os valores médios obtidos das emissões de carbono por área das 50 fazendas avaliadas no MATOPIBA foram de 0,97 tCO₂e/ha/ano e de 0,02 tCO₂e/saca/ano (0,27 tCO₂e/ton/ano) de soja produzida na safra 2019/2020.

Em relação ao balanço de carbono por área, considerando as emissões líquidas agregadas de todas as fazendas avaliadas, o resultado obtido foi de -0,59 tCO₂e/ha/ano e de -0,01 tCO₂e/saca/ano (-0,20 tCO₂e/ton/ano) de soja produzida, apresentando um sequestro médio por área de -1,56 tCO₂e/ha/ano.

MÉDIA DE BALANÇO DE CARBONO NO MATOPIBA

(tCO₂e/ha)

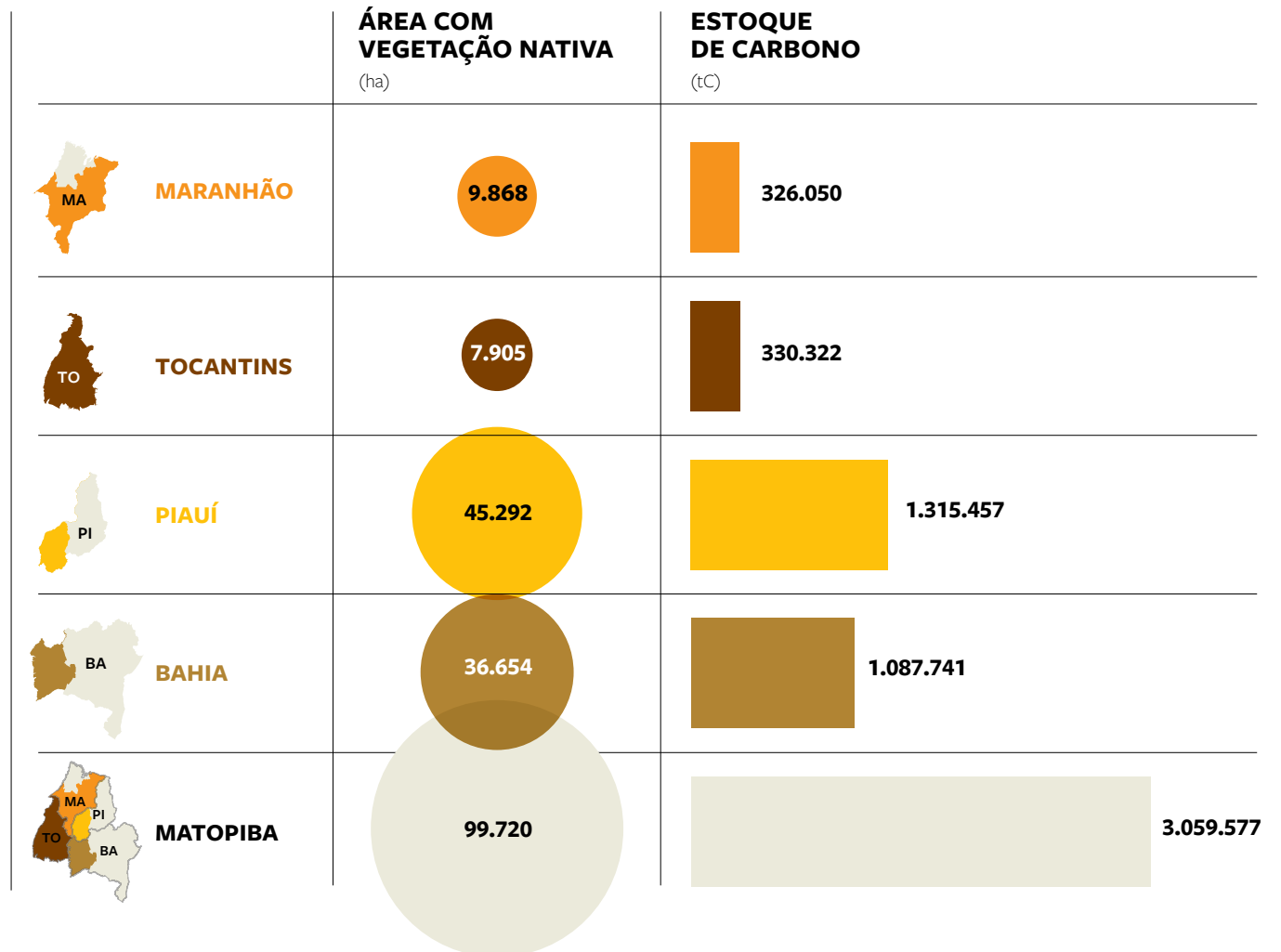


3.1.

Estoques de carbono na vegetação nativa

Todas as fazendas avaliadas estão localizadas no bioma Cerrado e, para a mensuração do estoque de carbono, foram contabilizadas as áreas de vegetação nativa contidas na Reserva Legal (RL) e nas fazendas em que havia Área de Preservação Permanente (APP) e áreas de excedente florestal.

A estimativa dos estoques de carbono nas áreas com vegetação nativa das fazendas avaliadas na região do MATOPIBA foi de 3.059.577 tC.



3.2.

Cenários de balanço de carbono projetados com diferentes mudanças de uso do solo

Para projetar cenários de balanço de carbono para as fazendas com base na mudança de uso de solo definidas pelo projeto, foram utilizados valores de adicionalidade com as mudanças do uso e manejo do solo, que implicam em novos valores de sequestro ou emissão de carbono, de acordo com as características de cada um.

CENÁRIOS PARA ANÁLISE DE BALANÇO DO CARBONO












Cenários	tCO ₂ e/ha/ano
 CENÁRIO I Cerrado para sistema de plantio convencional	Fator de Emissão 0,9167
 CENÁRIO II Cerrado para sistema de plantio direto	Fator de Sequestro -0,44
 CENÁRIO III Pastagem degradada para sistema de plantio direto	Fator de Sequestro -0,6967
 CENÁRIO IV Sistema de plantio convencional para sistema de plantio direto	Fator de Sequestro -1,76

Os valores estimados das emissões de escopos 1 e 2 foram mantidos como os calculados para a safra 2019/2020. A tabela à esquerda traz **as mudanças de uso e manejo do solo produtivo das fazendas para os quatro cenários, bem como a emissão ou sequestro realizado pelo solo de cada sistema projetado.** Os valores apresentados consideram apenas o incremento de carbono no solo das áreas, não levando em consideração os demais reservatórios de carbono, como a biomassa acima do solo e vegetação nativa.

Cada cenário foi aplicado para as 50 fazendas, possibilitando compreender as mudanças em termos de balanço de carbono para cada uma, o estado que cada grupo representa e o recorte territorial regional do MATOPIBA em que se localizam, possibilitando a comparação com valores obtidos no cenário de linha de base.

A tabela da página seguinte traz os valores de balanço de carbono para a safra de 2019/2020 (tCO₂e/ano), por área (tCO₂e/ha/ano) e por saca de soja produzida (tCO₂e/saca/ano) para os estados e para a região avaliada do MATOPIBA.

BALANÇO DE CARBONO POR ANO, ÁREA E SACA DE SOJA PRODUZIDA PARA OS CENÁRIOS PROJETADOS

 Fazendas	 Balanco de carbono	Linha de Base	 Cenário I	 Cenário II	 Cenário III	 Cenário IV
 MARANHÃO	Por ano (tCO ₂ e/ano)	-24.283,79	121.325,32	37.688,40	21.863,54	-43.686,06
	Por área (tCO ₂ e/ha/ano)	-0,39	1,97	0,61	0,35	-0,71
	Por saca (tCO ₂ e/saca/ano)	-0,0062	0,0284	0,0085	0,0047	-0,0110
 TOCANTINS	Por ano (tCO ₂ e/ano)	9.288,53	56.480,41	31.865,80	27.208,49	7.917,04
	Por área (tCO ₂ e/ha/ano)	0,51	3,11	1,76	1,50	0,44
	Por saca (tCO ₂ e/saca/ano)	0,0083	0,0554	0,0309	0,0263	0,0071
 PIAUI	Por ano (tCO ₂ e/ano)	-81.890,95	81.679,96	-4.077,71	-20.303,85	-87.515,56
	Por área (tCO ₂ e/ha/ano)	-1,30	1,29	-0,06	-0,32	-1,38
	Por saca (tCO ₂ e/saca/ano)	-0,0278	0,0271	-0,0017	-0,0072	-0,0298
 BAHIA	Por ano (tCO ₂ e/ano)	4.801,48	33.593,80	16.700,17	13.503,74	263,53
	Por área (tCO ₂ e/ha/ano)	0,39	2,70	1,34	1,08	0,02
	Por saca (tCO ₂ e/saca/ano)	0,01	0,0487	0,0242	0,0196	0,0004
 MATOPIBA	Por ano (tCO ₂ e/ano)	-92.084,73	293.079,49	82.176,66	42.271,93	-123.021,05
	Por área (tCO ₂ e/ha/ano)	-0,59	1,89	0,53	0,27	-0,79
	Por saca (tCO ₂ e/saca/ano)	-0,0122	0,0327	0,0082	0,0036	-0,0156

Agrupando os valores dos cenários das 50 fazendas por meio de média ponderada, os cenários apresentaram uma variação para o balanço de carbono por área de **1,89 tCO₂e/ha/ano até -0,79 tCO₂e/ha/ano**, para os cenários I e IV, respectivamente. Em relação ao valor da linha de base, -0,59 tCO₂e/ha/ano, o Cenário IV apresenta um aumento no sequestro de aproximadamente 33,6%, enquanto o Cenário I, um aumento de 418,3% nas emissões. O mesmo ocorre para os Cenários II e III, com o balanço indicando aumento nas emissões em 189,2% e 145,9%, respectivamente.

Para os estados, a tendência é a mesma: somente o Cenário IV apresenta um sequestro maior do que a linha de base, e os demais cenários passam a emitir mais carbono.

Após a identificação dos imóveis com soja elegíveis para a extrapolações com os valores das estimativas dos balanços de carbono da linha de base e cenários, pode-se compreender melhor quais cenários têm potencial de maior mitigação de emissões.

Antes de se realizar a extrapolação, buscou-se correlacionar as características de cada fazenda e os valores dos balanços de carbono, bem como identificar quais informações coletadas nas fazendas seriam possíveis de serem inferidas para as fazendas de soja elegíveis do MATOPIBA com base em sensoriamento remoto e geoprocessamento. O tipo de solo, por exemplo, foi uma das informações coletadas em campo que poderia ser coletada para todas as fazendas pelo cruzamento de um mapa de solos com os limites das propriedades. Também foi verificado como os balanços estavam sendo influenciados por fatores adicionais como, por exemplo, a forma de cultivo.

Diversas correlações foram testadas e não foi possível observar correlação entre os balanços de carbono e as características das fazendas que pudessem ser levantadas por sensoriamento remoto e/ou geoprocessamento. Foi observado que **os balanços de carbono estão muito mais correlacionados com práticas de manejo e de cultivo do que propriamente com características biofísicas das fazendas**, de modo

que a abordagem pensada inicialmente teve que ser modificada.

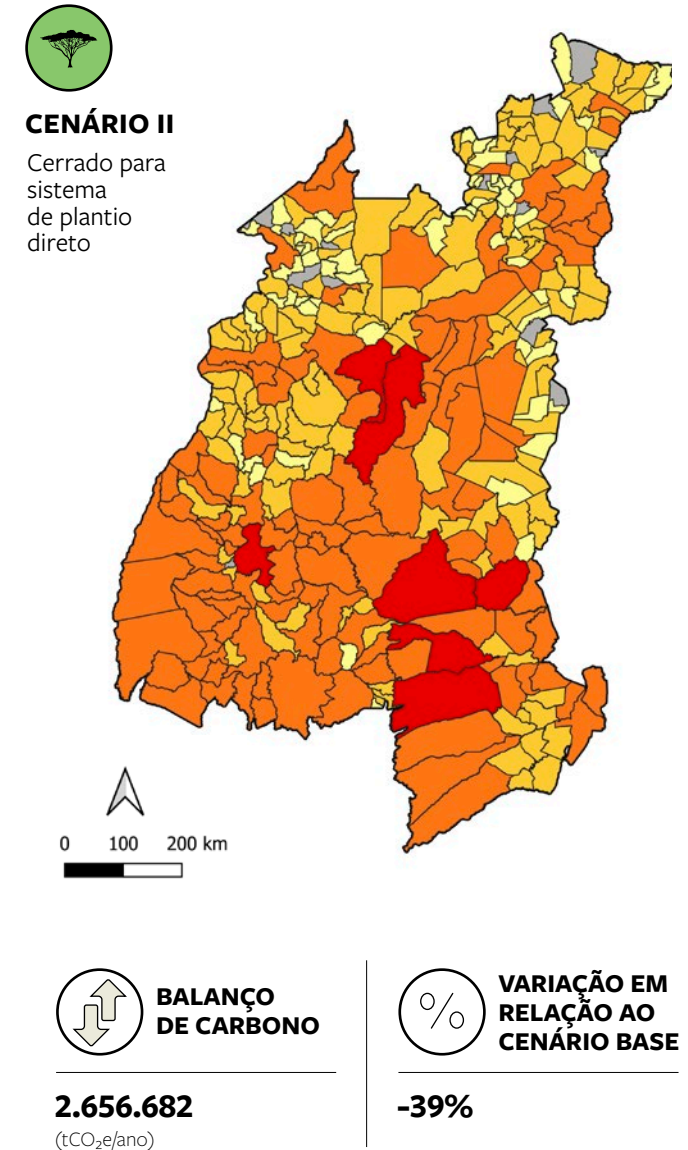
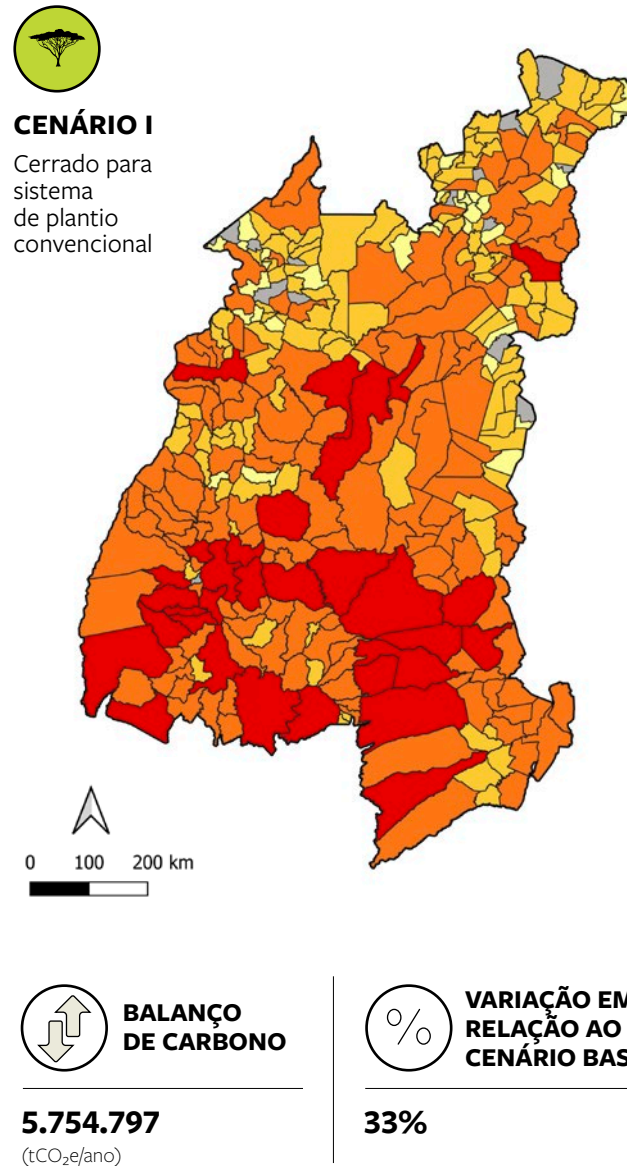
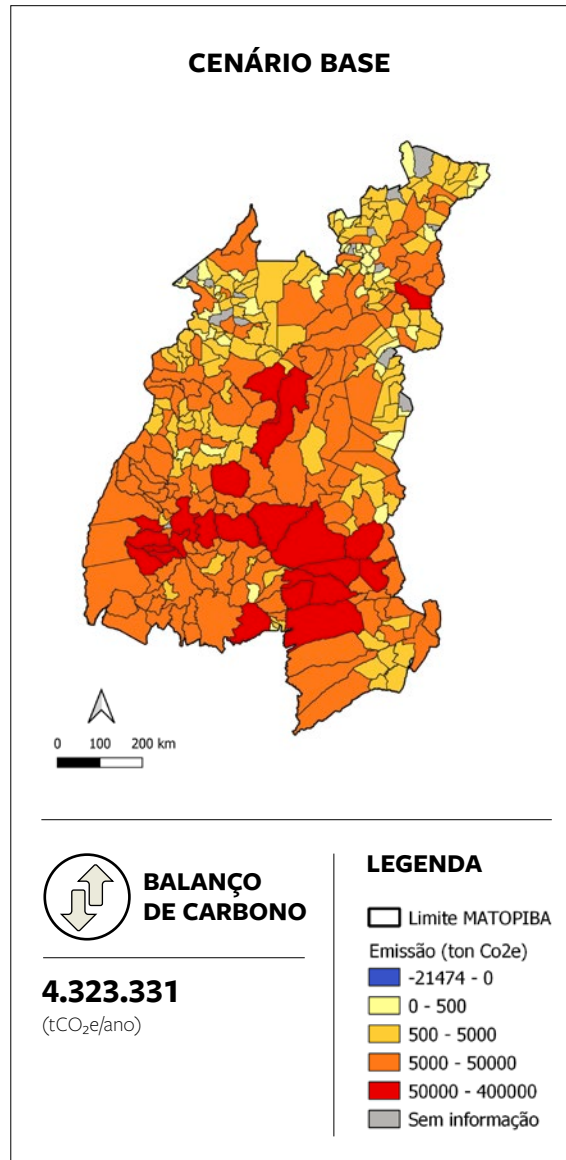
Decidiu-se, portanto, que os valores da linha de base e dos cenários utilizados no projeto, com os dados de todas as fazendas avaliadas, seriam extrapolados para as fazendas de soja do MATOPIBA, assumindo que todas apresentam comportamento igual em termos de balanço de carbono por hectare dentro de cada cenário. Com essa abordagem, em que todos os agentes apresentam comportamento semelhante, geram-se resultados extremos que podem ser entendidos como potenciais máximos e mínimos em relação aos balanços de carbono analisados.

Para a aplicação dessa abordagem, foram calculadas as médias dos balanços de carbono das fazendas em cada cenário, além da média da linha de base, resultando em cinco variações distintas para todo o MATOPIBA.

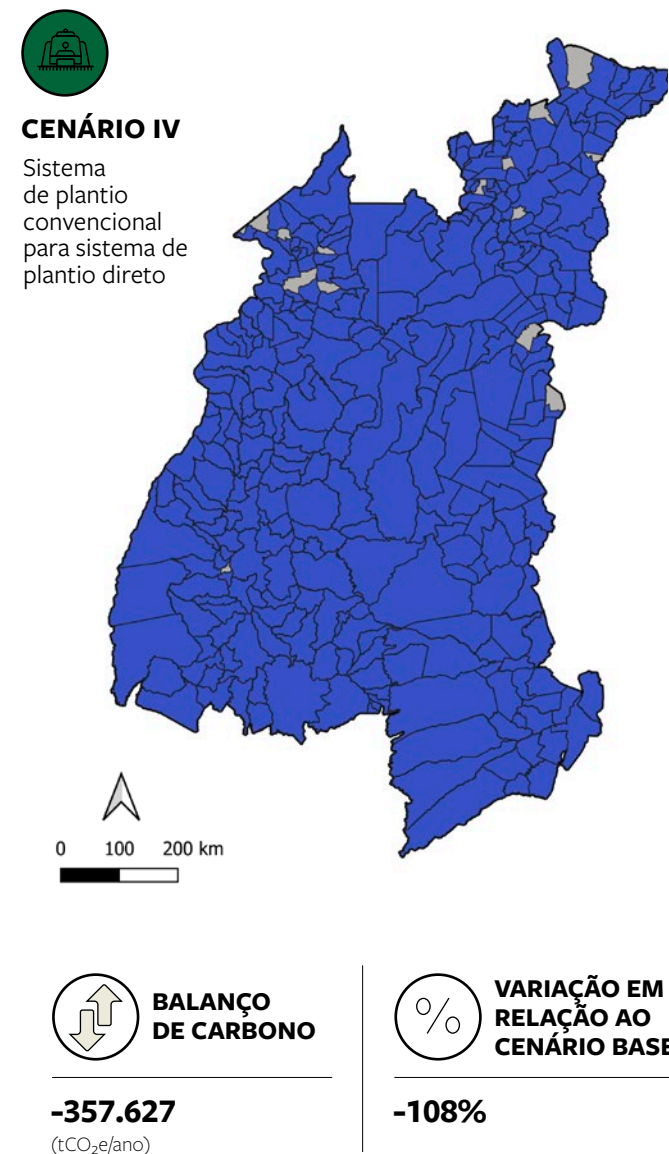
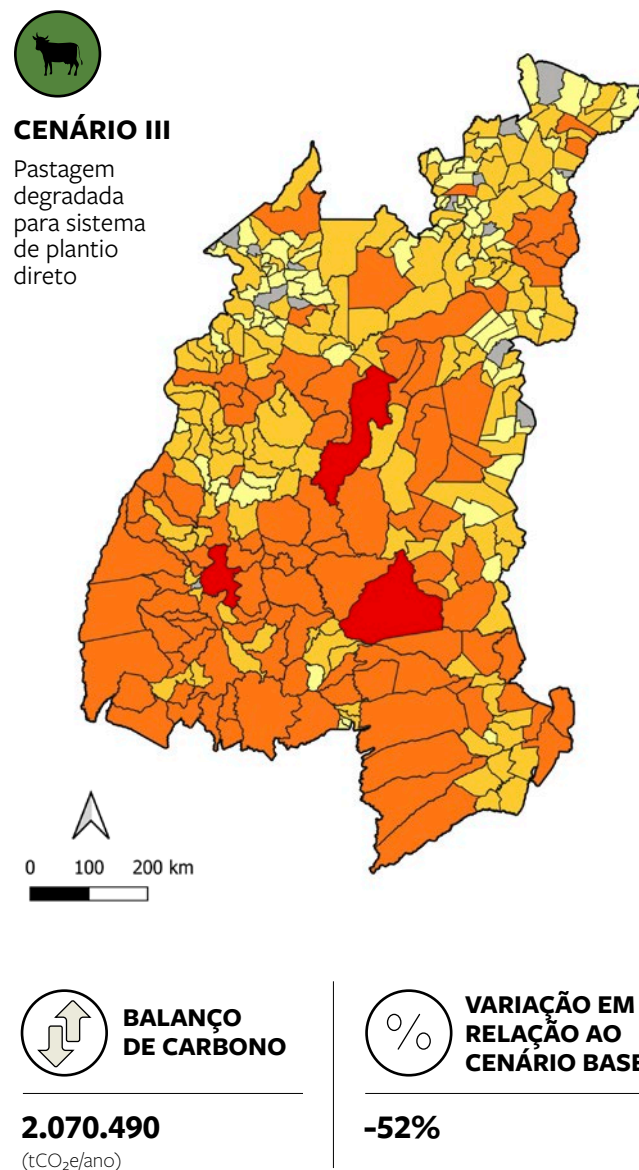
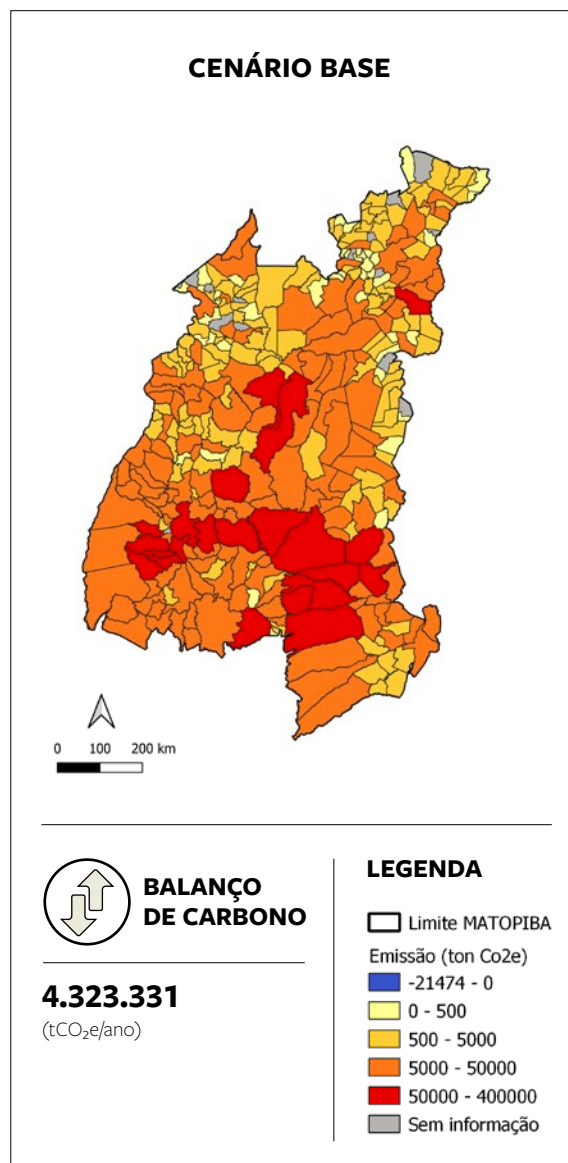
Aplicando-se a média dos valores obtidos dos balanços de carbono (tCO₂e/ha/ano) em cada cenário às áreas de plantio de soja, foi possível obter um valor total de balanço para cada imóvel da região e, depois, totalizar esse valor para todo o MATOPIBA.



EMISSÕES TOTAIS DO MATOPIBA PARA OS CENÁRIOS DE ANÁLISE DO PROJETO



EMISSIONS TOTAIS DO MATOPIBA PARA OS CENÁRIOS DE ANÁLISE DO PROJETO



Como esperado, os valores obtidos indicam uma contribuição com o sequestro de carbono em taxas cada vez maiores. Nos Cenários II e III, são consideradas mudanças de uso e manejo do solo com maior capacidade de redução de emissões. Já o Cenário IV atribui para todas as áreas de cultivo um fator de sequestro de carbono maior devido ao uso de práticas conservacionistas generalizadas de SPD.

Ao se comparar tais cenários, **nota-se o quanto é possível mitigar as emissões com a adoção de SPD, indicando o papel fundamental de se fomentar a adoção, manutenção e expansão de tais práticas entre os diferentes sistemas produtivos de grãos e demais culturas na região.** O resultado são benefícios em termos de emissões e com a promoção de sistemas mais resilientes, pelo viés da adaptação, frente aos desafios produtivos gerados pela crise climática. Vale destacar que é fundamental considerar as perdas dos estoques de carbono acima e abaixo do solo da vegetação nativa devido a conversão de suas áreas, como demonstrado no estoque médio que muitas fazendas ainda possuem. **Qualquer esforço de aumento do sequestro de carbono pela área produtiva pode ser facilmente perdido caso a transição seja de uma área com vegetação nativa.**

Projeções mais profundas são recomendadas para se compreender melhor qual o impacto nas emissões pelo uso de SPD nas fazendas do MATOPIBA. O Cenário IV extrapolado para toda a região indica um potencial de redução de aproximadamente **-357,6 mil tCO₂e/ano, equivalente a um abatimento de 0,06% das emissões nacionais do setor agropecuário no ano de 2020, o qual foi de 567,7 milhões tCO₂e/ano (GWP-AR₅)** (SEEG, 2021).

Assim, análises como essas indicam caminhos para produtores e produtoras rurais reduzirem os impactos ambientais gerados por suas atividades, juntamente com o fornecimento de informações para que as decisões tomadas sejam guiadas pelas prioridades locais e globais (POORE et al., 2018). Entretanto, indicam também a necessidade de maior investigação, a fim de reduzir algumas das premissas assumidas neste trabalho, além de reduzir as incertezas sobre os fatores de emissão utilizados.



4.

Conclusões

A emissão média de carbono das fazendas analisadas foi de 0,97 tCO₂e/ha/ano, sendo a principal fonte de emissão o uso de corretivos agrícolas. A calagem e aplicação de gesso, que representaram cerca de 55,5% do total emitido, foram seguidas pelo uso de fertilizantes nitrogenados (21,5%), queima de combustíveis (17%), decomposição dos resíduos agrícolas da soja e da segunda safra (5,5%) e pelo consumo de energia elétrica (0,5%).

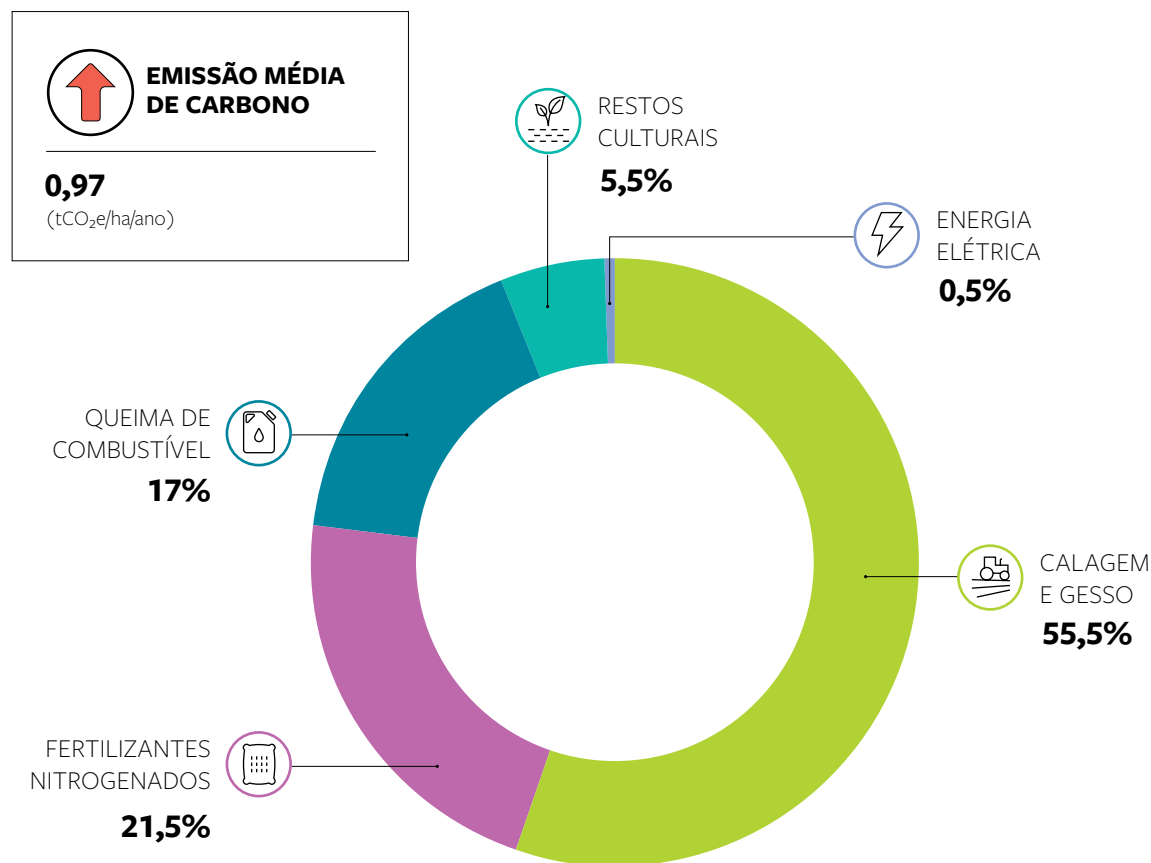
Portanto, considerando as emissões por área dos escopos 1 e 2, as principais fontes de emissões foram provenientes dos insumos agrícolas, que responderam por 76,9% das emissões totais no conjunto de fazendas.

Por outro lado, o sequestro de carbono no solo foi capaz de compensar 161,2% dessas emissões, removendo carbono a uma taxa média de -1,56 tCO₂e/ha/ano. A média do balanço de carbono das 50 fazendas de soja da região do MATOPIBA foi de -0,59 tCO₂e/ha/ano, com cada saca de soja produzida com sequestro de -0,0122 tCO₂e/saca/ano (0,2034 tCO₂e/tonelada/ano).

Em relação aos balanços de carbono, o grupo das fazendas do Piauí foram as que apresentaram o resultado que mais contribuiu com sequestro de carbono, com -1,30 tCO₂e/ha/ano.


As fazendas do Maranhão foram as que apresentam a maior emissão por calagem e aplicação de gesso, sendo de 1,42 tCO₂e/ha/ano, seguidas pelas do Tocantins (0,99 tCO₂e/ha/ano), Bahia (0,65 tCO₂e/ha/ano) e Piauí (0,08 tCO₂e/ha/ano). Com exceção das fazendas piauienses, essa foi a maior fonte de emissão.

FONTES DE EMISSÃO DE CARBONO NAS FAZENDAS AVALIADAS




Em relação aos balanços de carbono, o grupo das fazendas do Piauí foram as que apresentaram o resultado que mais contribuiu com o sequestro de carbono, com -1,30 tCO₂e/ha/ano.

As fazendas do maranhenses foram as que apresentam a maior emissão por calagem e aplicação de gesso:

 CALAGEM E GESSO	tCO ₂ e/ha/ano
MARANHÃO	1,42
TOCANTINS	0,99
BAHIA	0,65
PIAUI	0,08

Em relação ao uso de fertilizantes nitrogenados, as do Tocantins foram as que mais emitiram:

 FERTILIZANTES NITROGENADOS	tCO ₂ e/ha/ano
TOCANTINS	0,56
MARANHÃO	0,54
BAHIA	0,20
PIAUI	0,05

Como **terceira fonte mais emissora da região, pela queima de combustíveis, as fazendas piauienses foram as que mais emitiram** em relação à área produtiva (0,20 tCO₂e/ha/ano), também sendo as campeãs em termos de emissões brutas (12.899,96 tCO₂e/ano).

As demais fontes de emissão de carbono, como os resíduos culturais e uso de energia elétrica, responderam por 6,1% do restante das emissões brutas totais de toda a região avaliada. Elas também são fontes de emissão importantes a serem consideradas sob a perspectiva de uma estratégia de mitigação, entretanto, sem o mesmo peso de redução se comparadas com as fontes emissoras de maior representatividade.

A caracterização dessas fontes de emissão e sequestro por fazenda e por região é a primeira etapa para se identificar oportunidades de mitigação das emissões de carbono. Busca-se assim manter e aumentar a produtividade apresentada por meio do uso eficiente desses insumos e considerando circunstâncias que realmente justifiquem sua adoção no conjunto de práticas dos produtores.

Compreender melhor as demais práticas de manejo e uso do solo na região possibilita a tomada de decisões que busquem a promoção de sistemas produtivos mais resilientes no contexto climático, visando a redução da dependência de recursos para a produção. Por exemplo, as fazendas que fazem a irrigação produziram 24,3% a mais de soja por área do que as que utilizam sistema sequeiro. Entretanto, os balanços de carbono indicam que elas são mais emissoras, tanto por área quanto por saca de soja produzida. Além disso, o uso de irrigação favorece o cultivo de segunda safra, uma outra fonte de renda para produtores e produtoras. Porém, tendo em vista a conservação de recursos naturais, a irrigação deve ser uma prática adotada em casos muito específicos e com grande cautela, pautada por políticas públicas robustas.

Outro exemplo é o sequestro de carbono pelo solo. Os efeitos da utilização das práticas de manejo pertencentes ao SPD pela ampla maioria dos produtores contribuíram para que o solo sequestrasse carbono para todos os grupos de fazendas, variando de -1,40 tCO₂e/ha/ano no Tocantins a -1,68 tCO₂e/ha/ano no Maranhão.



COMPREENDER MELHOR AS DEMAIS **PRÁTICAS DE MANEJO E USO DO SOLO** NA REGIÃO POSSIBILITA A TOMADA DE DECISÕES QUE BUSQUEM A **PROMOÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS MAIS RESILIENTES NO CONTEXTO CLIMÁTICO.** VISANDO A REDUÇÃO DA DEPENDÊNCIA DE RECURSOS PARA A PRODUÇÃO

A expansão e continuidade dessas boas práticas em consonância com o que é preconizado como SPD viabilizam a continuidade do sequestro promovido pelo solo. É o que indica o Cenário IV, estipulado com práticas mais amplas de SPD difundidas para todos os produtores avaliados, chegando em um balanço de carbono por área que remove cerca de 33,6% a mais do que o cenário base.

A continuidade no acompanhamento do balanço de carbono, principalmente na capacidade do solo em sequestrar carbono, é recomendado para fortalecer essas evidências. Dessa forma, identifica-se ao longo do tempo com maior precisão a correlação entre as decisões de manejo com o balanço, buscando influenciar positivamente outros atores do setor e da região a incorporar essas práticas.

A ampla adoção dessas práticas pode ser viabilizada por parte do mercado pelo diferencial de sustentabilidade e, assim, poder se beneficiar de arranjos financeiros baseados em indicadores de carbono existentes atualmente. Também endossa a importância de se intensificar a produção sustentável para que a demanda pelos produtos agropecuários seja atendida sem a abertura de novas áreas de vegetação, o que implica em aumento de emissões, conforme o Cenário I. A conservação dessa vegetação nativa contribui significativamente para a manutenção ou aumento dos estoques de carbono nas áreas produtivas das fazendas, além dos demais benefícios socioambientais proporcionados.

Esse estudo indica as possibilidades de desenvolvimento e aplicação de metodologias que atendam as demandas dos perfis produtivos dos diferentes tamanhos de fazendas produtoras na região do MATOPIBA. Dessa maneira, busca-se conciliar o aumento de produtividade com sistemas mais adaptados e resilientes à crise climática, contribuindo para uma produção de baixas emissões.



REFERÊNCIAS

- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDREWS, Mitchell et al. Nitrogen fixation in legumes and actinorhizal plants in natural ecosystems: values obtained using ¹⁵N natural abundance. *Plant Ecology & Diversity*, [S.L.], v. 4, n. 2-3, p. 131-140, jun. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17550874.2011.644343>.
- BERNOUX, Martial et al. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil: a review. In: *Sustainable Agriculture*. Springer, Dordrecht, 2009. p. 75-85.
- BORTOLON, Elisandra Solange Oliveira et al. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1635-1646, 2009.
- BRASIL, 2006. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COORDENAÇÃO-GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono por Conversão de Florestas e Abandono de Terras Cultivadas. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.
- BRASIL, 2010. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COORDENAÇÃO-GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA. Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.
- BRASIL, 2015. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução Do Objetivo Da Convenção-Quadro Das Nações Unidas Sobre Mudança Do Clima, 2015. http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf.
- BRASIL, 2016. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COORDENAÇÃO-GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA. Terceiro inventário de emissões anuais de gases de efeito estufa no Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília: MCTIC. 2016.
- BRASIL, 2020a. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COORDENAÇÃO-GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA. Fatores de Emissão de CO₂ para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos, 2020.
- BRASIL, 2020b. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COORDENAÇÃO-GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2020.
- BRASIL, 2021. MAPA. Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030: plano operacional. Brasília: Mapa, 2021. 136 p.
- CARVALHO, J.L.N. et al. Carbon sequestration in mcti agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil And Tillage Research*, [S.L.], v. 103, n. 2, p. 342-349, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022>.
- CERRI, Carlos EP; FEIGL, B.; CERRI, Carlos Clemente. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. SANTOS, G. de A.; SILVA, LS da; CANELLAS, LP, p. 325-358, 2008.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. 20121. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 11 set. 2021.
- COSTA, André da et al. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 235-244, abr. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000200001>.
- COSTA JUNIOR, C. et al. Assessing soil carbon storage rates under no-tillage: comparing the synchronic and diachronic approaches. *Soil And Tillage Research*, [S.L.], v. 134, p. 207-212, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.08.010>.
- DEFRA. Department for Environment Food and Rural Affairs. The DA GHGI Improvement Programme 2009-2010: EU ETS Task. Available at: <https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cato7/1005251111_DA_GHGI_Improvement_Report_EUETS_May2010r.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.

REFERÊNCIAS

- DENARDIN, José Eloir et al. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. Passo Fundo: Embrapa Trigo, v. 15, 2012.
- FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estud. av.* vol.16 no.44 São Paulo Jan./Apr. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So103-40142002000100007>. Acesso em: 12 dez. 2021.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Tecnologia de coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*: incrementos no rendimento com sustentabilidade e baixo custo. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 33., 2013, Londrina. Resumos expandidos... Brasília, DF: Embrapa, 2013., 2013.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, v. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/working-group/wg1/>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2019. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Agriculture, Forestry and Other Land Use In: EGGLESTON, S., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T., TANABE, K (Ed.). Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change / IGES, v.4, 2006.
- JOHNSON, Richard A. et al. Statistics Principles and Methods. 6. ed. John Wiley & Sons, Inc, 2009. 706 p. Disponível em: <https://parsmodir.com/wp-content/uploads/2013/02/bhattacharyya.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.
- LAL, R. Soil processes and the greenhouse effect. In: Methods for assessment of soil degradation Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 199-212
- MAIA, Stoécio Malta Ferreira et al. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. *Soil And Tillage Research*, [S.L.], v. 133, p. 75-84, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.06.002>.
- MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, v.70, p.63-81, 1996.
- PAUSTIAN, K. et al. Management options for reducing CO2 emissions from agricultural soils. *Camada arável estoca mais carbono que vegetação e atmosfera Biogeochemistry*, v. 48, p. 147-163, 2000.
- PBGHGP - PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa.
- POORE, Joseph; NEMECEK, Thomas. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, v. 360, n. 6392, p. 987-992, 2018.
- REIS, Layara Campelo dos et al. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1425, 11 jun. 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1425-1441>.
- REIS JUNIOR, F.B. Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução na agricultura. In: FALEIRO, F.B.; ANDRADE, S.R.M.; REIS JUNIOR, F.B. dos (Ed.). *Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. Cap. 9. p. 247-281.
- ROBERTSON, G. Philip et al. Greenhouse Gas Fluxes in Tropical and Temperate Agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. *Environment, Development And Sustainability*, [S.L.], v. 6, n. 1/2, p. 51-63, 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/b:envi.0000003629.32997.9e>.

REFERÊNCIAS

- RUDORFF, B.; Risso, J. et al. Análise Geoespacial da Soja no Bioma Amazônia associada com mudança de uso e cobertura do solo e aptidão agrícola: 2000 a 2017. Florianópolis, Santa Catarina, Brazil, 2018.
 - SILVA, Vanderlei Rodrigues da et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ciência Rural*, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 399-406, abr. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/so103-84782004000200010>.
 - SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - SEEG. Análise da evolução das emissões de GEE no Brasil (1990-2020). Observatório do Clima, 2021.
 - SPAROVEK, Gerd, Bastiaan Philip Reydon, Luís Fernando Guedes Pinto, Vinicius Faria, Flavio Luiz Mazzaro de Freitas, Claudia Azevedo-Ramos, Toby Gardner et al. "Who owns Brazilian lands?" *Land Use Policy* 87 (2019): 104062.
 - THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL – A Corporate Accounting and Reporting Standard, 2008 (Revised Edition). World Resources Institute (WRI) e World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
 - UNFCCC (Alemanha). Kyoto Protocol Reference Manual: on accounting of emissions and assigned amount. Bonn, 2008. 130 p. Disponível em: https://unfccc.int/resource/docs/publications/o8_unfccc_kp_ref_manual.pdf. Acesso em: 27 abr. 2022.
 - USDA. Foreign Agricultural Service: data and analyses. Data and Analyses. 2021. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data>. Acesso em: 21 set. 2021.
-


Solidaridad

Para saber mais:

www.solidaridadsouthamerica.org/brasil
brasil@solidaridadnetwork.org

 /showcase/fundacaosolidaridad

 /solidaridadlatam

 /fundacaosolidaridad

Apoio:

