

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS**

**PLATAFORMA MAPBIOMAS: ANÁLISE DO USO E
COBERTURA DAS TERRAS DO CERRADO E AS
IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS**

José Eduardo Lioti da Silva
Licenciado em Geografia

**FRUTAL-MG
2024**

JOSÉ EDUARDO LIOTI DA SILVA

**PLATAFORMA MAPBIOMAS: ANÁLISE DO USO E
COBERTURA DAS TERRAS DO CERRADO E AS
IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Dr. Thiago Torres Costa Pereira

Coorientador:

Dr. Marcos Vinicius Bohrer Monteiro Siqueira

**FRUTAL-MG
2024**

Silva, José Eduardo Lioti da.

Plataforma MAPBIOMAS: análise do uso e cobertura das terras do cerrado e as implicações ambientais. / José Eduardo Lioti da Silva. - Frutal, MG, 2024.

71 f.: il.

Orientador: Thiago Torres Costa Pereira, Dr.

Co-orientador: Marcos Vinicius Bohrer Monteiro Siqueira, Dr.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, MG, 2024.

1. Desmatamento. 2. Triângulo Mineiro. 3. Uso dos solos. I. Pereira, Thiago Torres Costa, orient. II. Siqueira, Marcos Vinicius Bohrer Monteiro, co-orient. III. Título.

CDU 631.4

Catálogo na fonte



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Ata

JOSÉ EDUARDO LIOTI DA SILVA

PLATAFORMA MAPBIOMAS: ANÁLISE DO USO E COBERTURA DAS TERRAS DO CERRADO E AS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

Dissertação apresentada a Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de concentração Ciências Ambientais, Linha de Pesquisa Diagnóstico e Ecologia Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 21 de março de 2024

Prof. Dr. Ivan Carlos Carreiro Almeida - IFNMG - Teófilo Otoni-MG

Profª. Drª. Daniela Fernanda da Silva Fuzzo - UEMG - Frutal-MG

PROF. DR. THIAGO TORRES COSTA PEREIRA

ORIENTADOR



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Torres Costa Pereira, Vice-Reitor**, em 22/03/2024, às 16:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Fernanda da Silva Fuzzo, Professora**, em 25/03/2024, às 10:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **IVAN CARLOS CARREIRO ALMEIDA, Usuário Externo**, em 11/04/2024, às 18:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **84557099** e o código CRC **210A6136**.

Referência: Processo nº 2350.01.0009326/2023-18

SEI nº 84557099

ESSÊNCIA

Como as estrelas, viemos de um escuro abismo e vamos acabar em um escuro abismo. O espaço iluminado entre estes dois extremos, denominamos vida.

No momento em que algo nasce, começa a morrer, mas neste exato momento tem início também o estorço supremo da criação, sintetizando o que se tornará eterno. Estas duas forças contrárias, encontradas em todos os momentos, que leva à vida e à morte, provém de uma mesma fonte, a suprema força criadora do universo, que se estende do inexistente ao existente.

É na visão da harmonia destas duas forças que se encontram os alicerces da vida plena, com a aceitação definitiva de nós mesmos, de nossa condição de seres vivos, humanos, logo, mortais.

*Baseado em "Ascence", de Nikos Kazantzakis
(1883-1957)*

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre estar ao meu lado me protegendo, iluminando e guiando os meus caminhos em cada minuto desta etapa e por ter proporcionado sabedoria para enfrentar todos os obstáculos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e à Universidade do Estado de Minas Gerais pela ajuda e conhecimentos proporcionados em todos esses anos de graduação e pós-graduação;

A todos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Minas Gerais pela inspiração e ensinamentos;

Aos meus pais, Neusa Aparecida Lioti Ribeiro e Amarildo Ribeiro da Silva, que sempre me apoiaram na escolha de seguir nesse caminho. Essa conquista é de vocês;

Às minhas irmãs Ludmilla Cristina e Thaynara Fernanda, pelos momentos de compartilhamento e experiências vividas em conjunto;

Ao meu orientador Thiago Torres Costa Pereira, pela confiança transmitida e incentivo para o crescimento profissional, mostrando assim novos horizontes, por todos os ensinamentos e compartilhando grandes conhecimentos;

Ao meu coorientador Marcus Vinícius Monteiro, pelos conselhos e incentivo durante a dissertação;

Ao meu companheiro Arthur César, pelo apoio, carinho e compreensão em minha busca por aperfeiçoamento profissional;

Aos meus amigos Joventino Manoel, Roberta Dias, Maria Rita, Wemerson e Lizandra, por todo incentivo, força, acolhimento e motivação;

A todos que me apoiaram e me incentivaram durante a minha caminhada no Programa de Mestrado em Ciências Ambientais

RESUMO

O uso das geotecnologias permite fazer a gestão ambiental dos biomas brasileiros, com destaque para o cerrado, a partir do mapeamento de áreas, acompanhamento e avanço do desmatamento, expansão de áreas agrícolas, uso e cobertura do solo, dentre outros. Atualmente, algumas dessas ferramentas tecnológicas podem ser acessadas por meio de softwares livres ou plataformas online, em sites ou aplicativos. Assim, destaca-se a Plataforma Mapbiomas, uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia, que realizam o mapeamento anual da cobertura e uso do solo, mensalmente, com dados a partir de 1985. Objetivou-se com esse trabalho, produzir uma revisão sobre o mapeamento feito pela Plataforma Mapbiomas, uso e cobertura das terras, e implicações ambientais no cerrado, em especial no Triângulo Mineiro, foi apresentada. Ficou demonstrado que as informações geradas pela Plataforma Mapbiomas têm contribuído para revelar dados importantes sobre o uso das terras no cerrado, considerado um dos biomas mais ameaçados pelo avanço da agropecuária desde as últimas décadas. Devido à sua ocupação, que se iniciou pela modernização da agricultura e pelo projeto de integração nacional, o bioma vem sendo fortemente desmatado desde 1950. Em 1985 a agropecuária ocupava 62 Mha do cerrado, sendo que em 2021, essa área aumentou 45%, abrangendo 90 Mha. Em virtude da rápida conversão da vegetação original em sistemas agrícolas, atualmente apenas 53% compõem as áreas de remanescentes da vegetação original do bioma e, somente 5% da área total está protegida sob a forma de alguma política de conservação. Estudos também demonstraram que a conversão dos ambientes naturais em sistema de cultivos pouco sustentáveis, como a monocultura em larga escala, tem provocado uma rápida perda de matéria orgânica e maior liberação de CO₂ para a atmosfera, o que enquadra o cerrado como o segundo bioma com os maiores índices de emissões líquidas de CO₂ no Brasil, ficando atrás apenas da Amazônia. Nessa linha, a concentração do maior nível de degradação do cerrado foi verificada, em particular, nas regiões de cerrado de Minas Gerais, destacando-se os municípios do Triângulo Mineiro, que por outro lado, representa uma importante região produtora de grãos e biocombustíveis.

Palavras-chave: Desmatamento. Triângulo Mineiro. Uso dos solos.

MAPBIOMAS PLATFORM: ANALYSIS OF CERRADO LAND USE AND COVER AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

ABSTRACT

Geotechnologies can be accessed through free software or online platforms, on websites or applications. The Mapbiomas Platform is a geotechnology presented as a collaborative network, created by NGOs, universities, and startups, which carry out annual mapping of the environments. Thus, the study aimed at a review of the mapping performed by the Mapbiomas Platform, land use, land cover, and environmental implications at cerrado, especially in the Triângulo Mineiro region. According to the Mapbiomas Platform, cerrado is considered one of the most biomes threatened by crop advances in current decades. Due to the cerrado occupation, which began with the modernization of agriculture and national projects, the biome has been severely deforested since 1950. In 1985, agriculture occupied 62 Mha of the cerrado, and in 2021, this area increased by 45%, covering 90 Mha. With the quick change of original vegetation by agricultural systems, currently, only 53% of cerrado are remnants of the biome's original vegetation, and a negligible 5% of the total area is protected with some conservation policy. Studies have also shown that the change in natural environments by no sustainable crops has caused a rapid release of CO₂ into the atmosphere. It makes the cerrado as the second biome with the highest CO₂ emissions in Brazil, behind only the Amazon. In addition, the greatest degradation of the cerrado was observed in Minas Gerais state, with emphasis on the Triângulo Mineiro municipalities. On the other hand, is an important area producing grains and biofuels.

Keywords: Deforestation. Land use. Triângulo Mineiro.

SUMÁRIO

	páginas
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....	11
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1. A Plataforma MapBiomias e sua utilização como base de estudo dos solos do cerrado.....	16
2.2. A Plataforma Mapbiomas e sua utilização como base de estudo dos solos do cerrado.....	17
2.3. Uso e cobertura das terras do cerrado no Brasil e no Triângulo Mineiro.....	19
2.4. Estudo da matéria orgânica e estoques de carbono em solos do cerrado.....	23
2.5. Impactos ambientais recentes no cerrado.....	26
2.6. Conclusão.....	29
Referências bibliográficas.....	31
CHAPTER 3 – A LOOK-OUT TO THE BRAZILIAN CERRADO: ANALYSIS OF THE DEFORESTATION, LAND USE, AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS.	36
3.1. Introduction.....	37
3.2. Methodology.....	38
3.2.1. <i>Study area</i>	38
3.2.2. <i>Data sampling and analysis</i>	40
3.3. Results and discussion.....	41
3.3.1. <i>Land use and land cover in soils at Brazilian cerrado</i>	41
3.3.2. <i>Soil organic carbon at Brazilian cerrado</i>	55
3.4. Conclusions.....	60
References.....	61
Considerações finais.....	70

LISTA DE FIGURAS

páginas

CAPÍTULO 2 – A PLATAFORMA MAPBIOMAS E SUA UTILIZAÇÃO COMO BASE DE ESTUDO DOS SOLOS DO CERRADO.

Figura 1 – Visão geral da metodologia do Mapbiomas.....	18
Figura 2 – Culturas agrícolas temporárias e permanentes no cerrado em relação ao valor da produção no Brasil de 1975 a 2015.....	21
Figura 3 – Uso e cobertura das terras do cerrado de 1985-2021.....	23
Figura 4 – Áreas antropizadas do cerrado, antes e após 1985.....	27

CHAPTER 3 – A LOOK-OUT TO THE BRAZILIAN CERRADO: ANALYSIS OF THE DEFORESTATION, LAND USE, AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

Figure 1 – Geographical localization of the cerrado, Triângulo Mineiro region, and its respective municipalities.....	38
Figure 2 – Annual cerrado deforestation at some municipalities in the Triângulo Mineiro region.....	52
Figure 3 – Annual fire in the cerrado in the Triângulo Mineiro region for the period 1985-2020.....	53

LISTA DE TABELAS

páginas

CAPÍTULO 2 – A PLATAFORMA MAPBIOMAS E SUA UTILIZAÇÃO COMO BASE DE ESTUDO DOS SOLOS DO CERRADO

Tabela 1 – Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba: área plantada e produção de cana-de-açúcar, soja, milho e café de 1995 2015.....22

CHAPTER 3 – A LOOK-OUT TO THE BRAZILIAN CERRADO: ANALYSIS OF THE DEFORESTATION, LAND USE, AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

Table 1 – The annual land use and land cover at Brazilian cerrado for the period 1985-2021.....44

Table 2 – The annual land use and land cover at Brazilian cerrado in the Minas Gerais State for the period 1985 2021.....45

Table 3 – The annual land use and land cover at Brazilian cerrado municipalities in the Triângulo Mineiro region for the period 1985-2021.....47

Table 4 – The annual irrigated area at Brazilian cerrado in the Minas Gerais State for the period 1985-2021.....55

Table 5 – Studies with the estimation of organic carbon losses in soils at cerrado from the turning of native vegetation by grazing and cropping lands.....57

Table 6 – The annual soil organic carbon pool at some Brazilian cerrado municipalities in the Triângulo Mineiro region, considering 0 -30 cm depth, for the period 1985-2021.....58

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

O solo, muitas vezes visto apenas como recurso agrícola, desempenha papel crucial na sustentação dos ambientes naturais, e é essencial para a evolução da vida selvagem e humana (Mendes, 2017). Contudo, a urbanização e a exploração descontrolada de recursos naturais afastaram a sociedade de uma relação mais íntima e sustentável com o solo. A mecanização agrícola e o crescimento urbano resultaram em problemas como erosão das terras e enchentes, além da perda significativa de carbono para a atmosfera, contribuindo para o avanço das mudanças climáticas.

O desenvolvimento tecnológico, particularmente os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), impulsionados pela globalização, permitiu o monitoramento ambiental e o desenvolvimento de estratégias para mitigar os impactos das atividades humanas. Neste cenário, destaca-se a Plataforma MapBiomias, uma rede colaborativa que utiliza imageamento por satélite e tecnologias avançadas para mapear anualmente a cobertura e uso do solo no Brasil, incluindo assim as áreas de cerrado.

O cerrado, abrangendo cerca de 2,0 milhões de km² e ocupando vários estados do Brasil, testemunhou uma significativa mudança de uso da terra desde a "Revolução Verde" dos anos 1970, impulsionada por programas governamentais, (Pereira *et al.*, 2018), tornando-se um importante fronteira agrícola, com desmatamento acelerado e substituição da vegetação nativa por pastagens e monocultivos em larga escala. Essa pressão antrópica resultou em problemas ambientais, incluindo a degradação do solo e efeitos prejudiciais à biodiversidade.

Dados da Plataforma MapBiomias apontaram um crescimento significativo das áreas de pastagem e agricultura nos últimos 35 anos. No cerrado, a cobertura de vegetação nativa verificada foi de aproximadamente 53%, com uma perda líquida de 28 milhões de hectares no mesmo período (MapBiomias, 2022). A plataforma também destaca o Triângulo Mineiro na produção agropecuária altamente tecnificada, que passou por uma transformação territorial intensa, resultando na substituição da vegetação nativa por atividades do setor primário.

Assim, este trabalho foi desenvolvido buscando uma ampla gama de estudos, pesquisas e dados científicos sobre o crescimento do uso das terras no cerrado brasileiro e Triângulo Mineiro, utilizando a principal base de informações fornecidas pela Plataforma MapBiomias. Com isso, foi desenvolvido o capítulo dois desta pesquisa, intitulado “Referencial Teórico”, que sustentará os demais capítulos.

O capítulo três, parte central desta pesquisa, aborda principalmente as perdas de carbono no bioma do cerrado, que têm se agravado nos últimos anos devido principalmente ao avanço das atividades antrópicas neste ecossistema, o que tem contribuído para a intensificação das mudanças climáticas. Este capítulo está embasado em amplas pesquisas científicas acerca das consequências promovidas pela perda de CO₂ do solo para a atmosfera, utilizando-se também de dados fornecidos pela Plataforma MapBiomias para a elaboração de mapas e tabelas, nas quais foi possível observar o avanço no uso das terras no cerrado, bem como apontar alguns pontos importantes sobre a superfície de água e taxas de desmatamento no bioma, tendo como série histórica os últimos 35 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAPBIOMAS. **Mapas anuais**: Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil, 2022. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 23 nov 2022.

MENDES, S. de O. **O solo no ensino de Geografia e sua importância para a formação cidadã na educação básica, Goiânia, GO**. Orientador: Eliana Marta Barbosa de Moraes. 2017. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiás - GO. 2017. Disponível em:

<https://repositorio.bc.ufg.br/teseserver/api/core/bitstreams/7a20bb91-d685-4ed4-843c-0534f5597a1d/content>. Acesso em: 23 nov 2022.

PEREIRA, T. T. C.; FIGUEIREDO, L. P. S. Veredas do Triângulo Mineiro: estudos de solos e significância socioambiental. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 138-152, 2018. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/5282/pdf>. Acesso em: 23 nov 2022.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A Plataforma MapBiomias e sua utilização como base de estudo dos solos do cerrado

No senso comum da sociedade atual o solo é apresentado, muitas vezes, como um bem essencialmente agrícola, utilizado para o cultivo e desenvolvimento de plantas, lavouras e servindo apenas como um recurso natural utilizável, distanciando-se de sua importante função ambiental. Nessa linha de pensamento, o solo é o sustentáculo da vida e de todos os organismos terrestres que dele dependem direta ou indiretamente, e representa o maior sumidouro de carbono do planeta. Assim, para dar a necessária importância ao solo e protegê-lo, é fundamental conhecer a forma e os elementos da natureza que participam da sua formação (Lima; Lima, 2007, p. 10).

O solo é um elemento fundamental no processo da evolução não apenas da vida selvagem, mas também do próprio homem em si, permitindo que o processo de sedentarização dos agrupamentos humanos ocorresse mediante a relação com esse componente espacial, visto que os solos mais férteis garantiriam a sobrevivência da população que o ocupasse. (Mendes, 2017). Porém, com o domínio do homem sobre a natureza e a utilização cada vez maior dos recursos naturais, a mecanização da agricultura e o desenvolvimento das cidades afastaram o homem de sua relação mais íntima com o solo e seu processo de conservação. Nos grandes centros urbanos, o que se observa atualmente é o mau uso dos solos, sendo apontado como causa de diversos problemas urbanos, como enchentes, deslizamentos de massas e voçorocas. No meio rural, o solo é constantemente visto como destino de resíduos, de fertilizantes e agrotóxicos, e meio no qual ainda carece, sobremaneira, o uso de técnicas de conservação mais eficientes.

Segundo Rosa (2011), o uso das tecnologias da informação, impulsionadas pelo advento da globalização ocorrida em larga escala após a década de 1970 e 1980, levou ao desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG. Trata-se de sistemas destinados à entrada, armazenamento, manipulação, análise e visualização de dados geográficos ou espaciais os quais contribuem significativamente para levantamentos de dados e monitoramento das paisagens naturais, bem como os impactos da ação do homem sobre esses ambientes. Por meio do uso destas tecnologias é possível fazer a gestão ambiental dos biomas

brasileiros, com destaque para o cerrado, realizando o processamento de dados e mapeamento de áreas, bem como acompanhar o avanço do desmatamento, expansão de áreas agrícolas, uso e cobertura do solo, entre outros, permitindo desenvolver estratégias para mitigar os impactos dessas ações na natureza.

Conseqüentemente, destaca-se a Plataforma MapBiomias, uma rede colaborativa que utiliza o imageamento por satélite para delinear o mapeamento anual da cobertura e uso do solo, da superfície de água e cicatrizes de fogo desde 1985 (MapBiomias, 2020). Nesse processo, são elaborados mapas de uso e ocupação das terras por meio da classificação pixel por pixel de imagens do satélite Landsat-8.

A plataforma também utiliza um grande arcabouço tecnológico para gerar os mapas, como os programadores Random Florest, que consistem na criação de vários caminhos de decisões para se obter um único resultado. A correção de falhas é feita aplicando filtros temporais para cada bioma, que posteriormente são integrados em um único mapa que representa a cobertura e o uso do solo. Complementarmente, são produzidos mapas com as transições das classes entre diferentes pares de anos. Assim, a Plataforma MapBiomias tem sido fonte importante de dados para estudos ambientais, com destaque para o uso de cobertura das terras, desmatamento e superfície hídrica, sendo uma boa fonte de revisão desses aspectos para o cerrado.

2.2. A Plataforma MapBiomias e sua utilização como base de estudo dos solos do cerrado

A utilização dos recursos da natureza, seguida do avanço do uso dos solos, tem se intensificado desde o advento das Revoluções Industriais, resultando em uma crescente degradação ambiental. O estudo, alerta e fiscalização de áreas de grande relevância ecológica, como as do cerrado, considerado um dos *25 hotspots* do planeta (Myers *et al.*, 2000), tem-se desenvolvido de diversas formas, a fim de preservar e recuperar tais áreas de uma possível catástrofe ambiental. Isso porque, segundo autores, os *hotspots* são ecossistemas prioritários para a conservação da biodiversidade e hábitat de um número elevado de espécies endêmicas.

Atualmente, algumas ferramentas de geotecnologias podem ser acessadas por meio de *softwares* livres ou Plataformas *on-line*, em sites ou aplicativos. Assim, destaca-se a Plataforma MapBiomias, uma rede colaborativa, formada por Organizações Não Governamentais (ONGs),

universidades e *startups* de tecnologia, que realizam o mapeamento anual da cobertura e uso do solo e monitoram a superfície de água e cicatrizes de fogo, mensalmente, com dados a partir de 1985. Também atuam na elaboração de relatórios para cada evento de desmatamento detectado no Brasil desde janeiro de 2019, por meio do MapBiomas Alerta (MapBiomas, 2020). Desde 2015, o projeto vem desenvolvendo diversos programas e iniciativas de análise, processamento de dados e elaboração de mapas estatísticos sobre o uso e ocupação dos solos nos biomas brasileiros, como o MaBbiomas Cerrado, entre outras iniciativas.

Todos os mapas produzidos pelo MapBiomas utilizam classificadores automáticos e computação em nuvem, baseando-se em coleção de imagens de satélite LANDSAT, onde são necessárias 380 imagens para cobrir a extensão territorial do Brasil, cada uma delas correspondendo a uma área de 185 x 185 km, que são obtidas em vários intervalos de tempo. Cada imagem é composta por milhares de pixels, representando uma área de 900 m² (30 x 30 m), na qual são usadas ferramentas para seleção dos melhores pixels com a finalidade de se constituir um mapa de uso e cobertura do solo de determinada região, em um período selecionado (Figura 1) (MapBiomas, 2022).

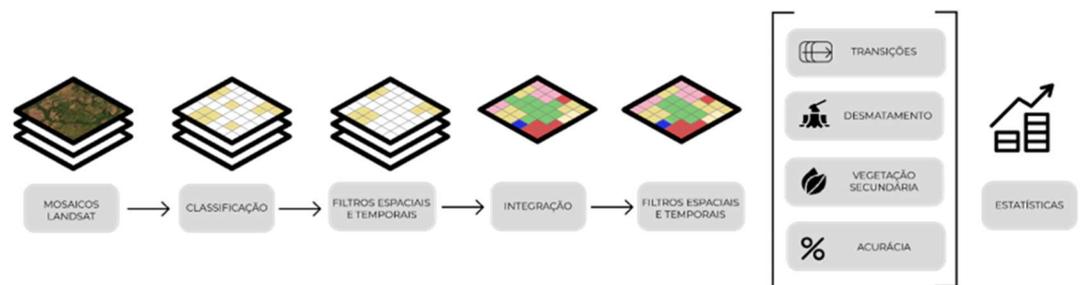


Figura 1 – Visão geral da metodologia do MapBiomas. Fonte: MapBiomas (2022)

Tais informações geradas pela Plataforma têm contribuído para revelar dados importantes sobre o uso da terra no cerrado, considerado um dos biomas mais ameaçados pelo avanço da agropecuária desde a década de 1970 (Pereira *et al.*, 2018). Isso porque o cerrado representa um ambiente pedogeomorfológico muito propício à agricultura e pecuária tecnificada, com uso massivo de máquinas e implementos em todos os estágios produtivos, e de ocorrência nos estados da região central do Brasil, incluindo o Triângulo Mineiro. Porém, vale destacar que os ecossistemas do cerrado são sensíveis à degradação dos solos, e, portanto, as técnicas de uso e manejo são fundamentais.

O principal propósito do MapBiomias, portanto, é colaborar com o estudo da dinâmica do uso do solo não somente no Brasil e em outros sistemas tropicais. O MapBiomias busca, assim, o desenvolvimento e implementação de uma metodologia confiável para produzir os mapas anuais, a criação de uma Plataforma para facilitar a transmissão da metodologia para outros países e regiões, e o estabelecimento de uma rede colaborativa de especialistas nos biomas brasileiros para a realização do mapeamento ambiental e da sua dinâmica de mudanças. Dentre os produtos, merece destaque os Relatórios de análises das mudanças de cobertura e uso do solo e respectivos mapas de cobertura e uso do solo (MapBiomias, 2022).

Dada a inovação, a confiabilidade e a fácil utilização, o MapBiomias se mostra adequado para a análise do uso e cobertura dos solos do cerrado brasileiro e no Triângulo Mineiro, face as problemáticas envolvendo a expansão da agropecuária, dos centros urbanos, o uso dos solos e dos recursos hídricos, à crescente necessidade de se estabelecer políticas que visem mitigar os impactos desse processo sobre o bioma, onde as tecnologias da informação desempenham um papel de grande importância para trilhar estratégias.

2.3. Uso e cobertura das terras do cerrado no Brasil e no Triângulo Mineiro

O Triângulo Mineiro, originalmente, possui como cobertura a vegetação do cerrado, que representa o segundo maior bioma do Brasil e a savana tropical mais diversificada do mundo em termos de espécies, variação genética e ecossistemas (Klink; Machado, 2005). O cerrado é caracterizado por uma superfície aplainada pelos processos erosivos naturais, e possui clima predominantemente tropical sazonal (*Aw*), segundo a classificação de Köppen. Notadamente, há duas estações bem definidas: uma seca, que coincide com os meses mais frios (de abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março). A precipitação média anual é de 1.500 mm, e a temperatura média anual é de 25 °C, elevando-se muito no verão, podendo ultrapassar, comumente, os 35 °C a 40 °C (INMET, 2022).

A vegetação, em sua maior parte, é a de savana, com gramíneas, arbustos e árvores esparsas, que dão origem a variados padrões vegetacionais, caracterizados pela heterogeneidade de sua distribuição. Dependendo de concentração e das condições locais, podem apresentar fitofisionomias denominadas de cerradão, cerrado (*stricto sensu*), campo limpo, campo sujo, intercalados por formações florestais de várzea e campos rupestres (Pereira *et al.*, 2018).

Os solos predominantes são os Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos, que recobrem aproximadamente 75% do bioma (Sano *et al.*, 2008). De modo geral, os solos são caracterizados por serem ácidos, lixiviados, constituídos por argila de baixa atividade e alta concentração de alumínio. São, em muitas situações, mais susceptíveis à erosão laminar e propensos à formação de voçorocas, o que pode representar um grave problema ambiental, potencializado pela substituição da cobertura vegetal nativa.

O cerrado, considerado o berço da agricultura convencional (moderna), ocupa uma vasta área do Planalto Central Brasileiro. Até meados de 1950, a região do cerrado permaneceu praticamente isolada das áreas mais populosas e economicamente ativas do Brasil. Nessa época, as áreas de cerrado eram consideradas improdutivas, e por esta razão, não despertavam o interesse de grandes produtores rurais e grandes corporações, o que, conseqüentemente, levava a uma baixa valorização do preço das terras (Alho; Martins, 1995, p.14; Faleiro *et al.*, 2008).

Devido à sua ocupação, que se iniciou pela modernização da agricultura e pelo projeto de integração nacional, vem sendo fortemente desmatado há décadas. Em virtude da rápida conversão da vegetação original em sistemas agrícolas, atualmente apenas 53% compõem as áreas de remanescentes da vegetação original do bioma e, somente 5% da área total está protegida sob a forma de alguma política de conservação (MapBiomias, 2022). A concentração do maior nível de degradação, de acordo com Cunha *et al.* (2008), foi verificada, em particular, nas regiões de cerrado de Minas Gerais no ano de 2008, destacando-se as microrregiões de Patrocínio, Uberaba, Uberlândia e Araxá, todos municípios do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Tal observação é reflexo da expansão da fronteira agrícola para essas regiões, que começaram a ser intensamente exploradas desde 1950. Assim, a paisagem foi rapidamente modificada, gerando altos índices de desmatamento. No Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, a necessidade de produção em larga escala, com técnicas modernas de correção do solo e mecanização, fez com que extensas áreas fossem atualmente ocupadas com a agricultura convencional (~13%) e pecuária extensiva (24%) (Ribeiro *et al.*, 2005; Medeiros, 2007).

Deste modo, conforme Figura 2, ano a ano, muitos hectares de terra foram desmatados para dar espaço às monoculturas de soja, milho, sorgo, algodão, pastagens para a pecuária, e mais recentemente, para a expansão da cana-de-açúcar (IBGE, 2019).

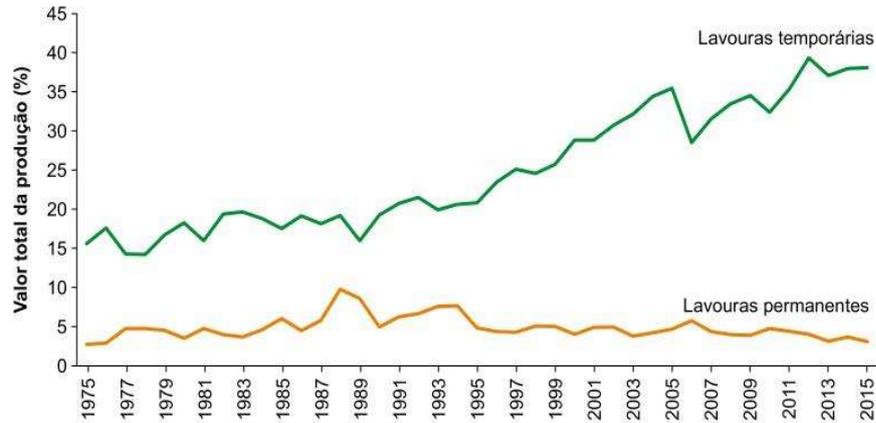


Figura 2 – Culturas agrícolas temporárias e permanentes no cerrado em relação ao valor da produção no Brasil de 1975 a 2015. Fonte: IBGE (2019)

A partir de 1990, verificou-se aumento das culturas temporárias, principalmente devido ao avanço das técnicas de cultivo e maquinários mais modernos, empregados por meio dos pacotes tecnológicos, por vezes fomentados por bancos públicos.

Segundo a SEAPA (2017), o Triângulo Mineiro é um grande produtor de grãos no Brasil, e possui uma perspectiva de crescimento de 75% para a área plantada de milho e soja, e de aproximadamente 55% para a área plantada com cana-de-açúcar. Os dados da Emater-MG (2020) também apontam para a mesma realidade, onde o estado de Minas Gerais, no mesmo ano de 2020, colheu uma área de 3,4 milhões de hectares, e produziu 14,3 milhões de toneladas de grãos, sendo a maior parte produzida nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Santos (2019) também destaca as regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba como umas das principais regiões produtoras de café, processamento de grãos, beneficiamento da cana-de-açúcar e criação de gado bovino e leiteiro, principalmente para o abastecimento das atividades agroindustriais exportadoras em detrimento ao abastecimento do mercado interno, necessitando cada vez mais de espaço para atender as necessidades do consumismo globalizado.

A tabela 1 evidencia como a monocultura no cerrado se expandiu no fim do século 20 e início do século 21, fomentada principalmente por políticas públicas de incentivo como o Programa de Crédito Integrado e Incorporação dos Cerrados (PCI), do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP), do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e do Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER) (Santos, 2019).

Tabela 1 – Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba: área plantada e produção de cana-de-açúcar, soja, milho e café de 1995-2015

Ano	Cana-de-açúcar		Soja		Milho		Café	
	Área ha	Produção t	Área ha	Produção t	Área ha	Produção t	Área ha	Produção t
1990	103.862	7.332.891	346.370	536.637	329.039	686.535	156.516	214.986
1995	92.575	6.856.624	395.034	863.984	368.482	1.222.086	122.953	185.609
2000	126.500	10.076.488	445.651	1.092.018	337.086	1.453.439	149.568	316.591
2005	176.791	14.459.650	755.353	1.910.880	371.741	2.152.177	146.556	169.796
2010	492.440	42.415.800	595.705	1.770.873	333.245	2.230.929	155.929	308.201
2015	632.163	49.247.252	715.796	1.848.017	411.412	2.672.354	157.916	233.664

Fonte: IBGE (2018)

Segundo dados do IBGE (2018), a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba foi a que mais contribuiu na produção de cana de açúcar (71%), soja, (52%), milho (39%) e abacaxi (94%), além de participar com 28% no PIB Agropecuário de Minas Gerais no ano de 2018. Tais destaques, conforme Silveira (2011), confirma que o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba como um cinturão agrícola moderno de agricultura intensamente influenciada pelas empresas do setor, configurando também como uma importante área para a agropecuária brasileira, devido a sua localização geográfica estratégica e de entroncamento de vias de acesso importantes para outras regiões do país.

Evidentemente, os impactos sobre a vegetação e biodiversidade do cerrado foram proeminentes, especialmente após 1985. Conforme a figura 3, o cenário de mudanças nos últimos 36 anos demonstra um avanço da ocupação agropecuária e urbanização sobre a vegetação nativa do cerrado, em uma perspectiva clara de que a transformação da paisagem foi tão rápida, que provavelmente tornou-se irreversível. Segundo o MapBiomias (2022), em 1985 a agropecuária ocupava 62 Mha do bioma. Em 2021, essa área aumentou 45%, abrangendo 90 Mha.

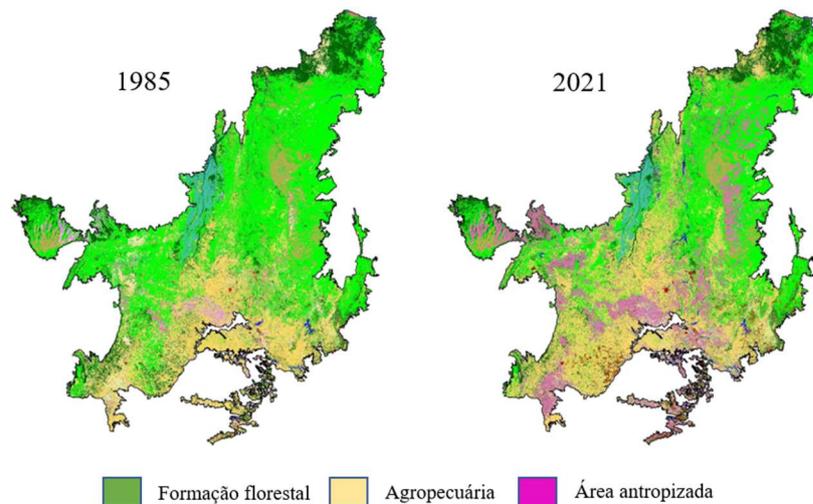


Figura 3 – Uso e cobertura das terras do cerrado de 1985-2021. Fonte: adaptado de Mapbiomas (2022)

Os solos do cerrado, neste período, perderam grande parte de sua matéria orgânica e se encontram completamente desgastados e lixiviados pela falta da cobertura vegetal original e a conversão em campos de monocultura mecanizada (MapBiomas, 2021).

2.4. Estudo da matéria orgânica e estoques de carbono em solos do cerrado

Os solos do cerrado, devido à acidez e elevados teores de Al^{3+} , somados a estiagens prolongadas e produção de biomassa menores do que em uma floresta tropical, possuem baixa concentração de matéria orgânica, sendo a maior parte localizada nos horizontes superficiais, como apontado por Araújo *et al.* (2007), que verificaram uma concentração de 45 g kg^{-1} na camada de 0-5 cm em seus estudos sobre os solos do cerrado.

A matéria orgânica do solo pode ser definida como a soma de todas as substâncias orgânicas presentes, composta por uma mescla de resíduos animais e vegetais, em diversos estágios de decomposição. No solo, sua presença é fundamental para o fluxo de gases do efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera (Leite *et al.*, 2013), além de ser fonte de alimento para microrganismos e meio para fixação de nutrientes.

A rápida conversão dos ambientes naturais em sistema de cultivos pouco sustentáveis, como a monocultura em larga escala, tem provocado uma rápida perda de matéria orgânica e maior liberação de CO_2 para a atmosfera, o que enquadra o cerrado como o segundo bioma com os maiores índices de emissões líquidas de CO_2 no país, ficando atrás apenas da Amazônia,

conforme a 2ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (MMA, 2014).

Segundo Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade desse recurso exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana. Conforme os autores, a qualidade do solo pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas que possibilitem o monitoramento de mudanças a médio e longo prazo no estado de qualidade desse solo.

A qualidade do solo é considerada um dos fatores chave para se alcançar a sustentabilidade de um sistema de produção. Diante disso, torna-se importante estudar o efeito que o uso, o manejo e o tempo de utilização do solo promovem em seus atributos (Wendling *et al.*, 2005). Dentre os que podem ser utilizados para avaliar o efeito dos sistemas de uso sobre sua qualidade, destaca-se a matéria orgânica do solo (MOS, ou simplesmente MO).

Dentre todas as propriedades do solo, a matéria orgânica é o atributo mais importante, pois está ligado a todas as funções do solo, influenciando a estabilidade dos agregados, bem como a ciclagem, retenção e disponibilidade de nutrientes e a diversidade de microrganismos. A estabilidade dos agregados é fundamental para a fertilidade, resistência à compactação e erosão, germinação e enraizamento das plantas, além do armazenamento do carbono no solo por meio da interação físico-química dos minerais às moléculas orgânicas. Porém, para a manutenção dessa estabilidade ao longo do tempo, é necessário o aporte constante de matéria orgânica na forma de serrapilheira e raízes, principalmente (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

A determinação dos teores de carbono no solo é um fator de suma importância para apontar e estimar a quantidade da sua fração orgânica, já que o carbono representa mais da metade da matéria orgânica do solo. Tal determinação dos teores totais de carbono nas frações da MOS podem fornecer também informações sobre a qualidade do solo sob seus diferentes tipos de manejo e uso.

Na remoção da vegetação nativa para a implantação de sistemas de manejo ou cultivo, tem sido observada a redução na quantidade da MOS. Além disso, em vários trabalhos, foram descritos que os sistemas de manejo implicaram em expressivos efeitos na qualidade dos solos tropicais e subtropicais (Bayer *et al.*, 2004; Cunha *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2009), tendo efeito direto sobre a matéria orgânica.

Como já apontado, os teores de matéria orgânica nos solos do cerrado não são elevados, o que não significa que não sejam importantes. Associados à textura, que de maneira geral, apresentam uma grande quantidade da fração média a mais grossa (exceto para alguns solos argilosos) e ao clima tropical, tem-se uma maior taxa de decomposição da fitomassa e mineralização da matéria orgânica. Dessa forma, qualquer eventual desequilíbrio no sistema solo a partir de um uso intensivo e manejo inadequado pode levá-lo, rapidamente, à degradação devido à erosão e lixiviação acelerada dos nutrientes.

Entre os constituintes da matéria orgânica, as frações leves e as frações químicas do carbono orgânico extraídas em gradientes de oxidação decrescente mostraram-se úteis como indicadores de qualidade do solo em resposta ao manejo (Marin, 2002). A atividade biológica que acompanha a decomposição da matéria orgânica no solo é considerada ainda mais sensível às perturbações ambientais do que os teores de matéria orgânica do solo e suas frações. Como exemplo, os microrganismos presentes no solo são extremamente sensíveis as mudanças e variações do manejo. Tais mudanças são verificadas nas estruturas das comunidades, nas taxas de crescimento e atividades fisiológicas. (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

A biomassa microbiana é uma propriedade fundamental para o estudo da ciclagem dos nutrientes uma vez que sua atividade determina a intensidade do fluxo de energia e nutrientes no solo (Wang *et al.*, 2003). Porém, a eficiência da ciclagem é afetada por fatores relacionados com a qualidade e quantidade da matéria orgânica, condições edáficas e ambientais (Cattelan; Vidor, 1990). Por este motivo, é apontado que a biomassa microbiana seja estudada conjuntamente com outros processos e indicadores de sua atividade metabólica (Bending *et al.*, 2004).

A atividade respiratória específica, conhecida como quociente metabólico ou qCO_2 , é definida como a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana. Esse parâmetro indica a eficiência em incorporar o carbono orgânico à biomassa microbiana e à intensidade da mineralização (Dilly; Munch, 1998). Isto significa que na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente para utilizar o carbono, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior fração do carbono orgânico total é incorporada ao tecido microbiano, apresentando, portanto, menor quociente metabólico que uma biomassa ineficiente (Gamma-Rodrigues; De-Polli, 2000).

Diversos estudos sobre as formas de manejo do solo do cerrado evidenciam que o uso de técnicas incorretas de manuseio do solo acarreta perdas significativas de matéria orgânica,

que, conseqüentemente, leva à queda da quantidade total de microrganismos presentes e à menor acumulação de carbono nos horizontes do solo (Arato *et al.*, 2003; Leite; Mendonça, 2003; Barreto; Lima, 2006). É evidenciado também que o uso de técnicas de plantio, como o Sistema de Plantio Direto - SPD e os Sistemas Agroflorestais - SAFs, contendo diferentes espécies arbóreas e cultivos, permitem que esses ambientes sejam mais eficientes na manutenção da matéria orgânica do solo, na magnitude da biomassa microbiana e na sua atividade biológica, do que sistemas convencionais (Marin, 2002; Araújo *et al.*, 2004; Barreto; Lima, 2006).

Tal constatação é evidenciada por Jakelaitis *et al.* (2008) ao estudarem a qualidade da camada superficial de solo sob vegetação nativa do cerrado, pastagem e área cultivada, onde constataram que os teores de carbono orgânico total diminuíram em função do uso do solo, sendo que os maiores teores observados foram nas áreas de vegetação nativa. De acordo com os autores, tal constatação pode ser atribuída à maior deposição de resíduos orgânicos nos solos sob mata. Em todos os estudos, fica evidente que a fertilidade dos solos do cerrado, bem como os teores de carbono, está disponível nas camadas mais superficiais do solo, sendo extremamente sensíveis às alterações nos ecossistemas.

2.5. Impactos ambientais recentes no cerrado

De acordo com Silva (2000), as características ambientais do cerrado modificaram-se a partir de meados do século XX, sobretudo após a adoção das políticas e ações do Estado no processo de “colonização” do interior do país. O crédito subsidiado e a isenção de impostos para a agropecuária permitiram a concentração da terra em grandes propriedades, com acentuada adoção dos Planos e Programas de expansão das commodities agrícolas voltadas à exportação, em detrimento das culturas de subsistência.

O avanço das tecnologias e dos padrões atuais de consumo tem determinado o modelo de exploração econômica e dos recursos naturais, com uma nítida subordinação entre sociedade e natureza. Esse modelo exploratório de forte pressão sobre os recursos naturais contribuiu, nas últimas décadas, para o agravamento dos impactos socioambientais verificados no cerrado, apesar do debate ambiental atual e as propostas de preservação dos ecossistemas ainda serem tímidas (e amplamente voltadas para a Amazônia), em comparação com a pauta econômica (Ribeiro *et al.*, 2005; Dutra; Souza, 2017).

Desse modo, o cerrado se transformou a partir dos excessos de desmatamento, da compactação do solo, erosão, assoreamento de rios, contaminação das águas subterrâneas e perda de biodiversidade, com reflexos sobre todo o bioma. As espécies de plantas e animais nativos sobreviventes e que ainda resistem na região antropizada tendem a desaparecer por falta de ações conservacionistas. Segundo o MapBiomas (2022), a área antropizada no cerrado cresceu nos últimos 40 anos, correspondendo a aproximadamente 90 Mha, sendo grande parte dessa área ocupada pela agricultura comercial, como evidencia a Figura 4.

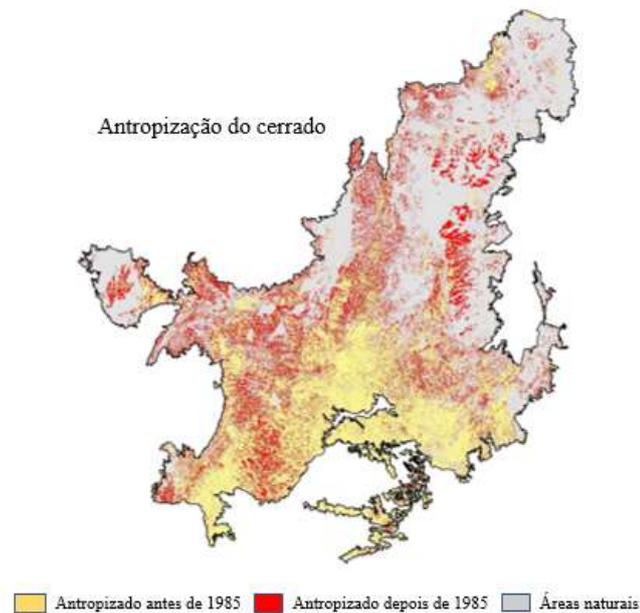


Figura 4 – Áreas antropizadas do cerrado de 1985 a 2021. Fonte: adaptado de MapBiomas (2022)

As estimativas não são animadoras para o bioma cerrado em face dos impactos ambientais causados no seu interior, quanto nos biomas vizinhos. Mantovani e Pereira (1998), e Machado *et al.* (2004), ao analisarem a degradação do bioma na década de 1990, apontaram, em projeções mais pessimistas, um desaparecimento do cerrado por volta de 2030.

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE e do sistema PRODES, de 2022, que possuem dados acumulados de desmatamento no período de 2001-2022, o estado de Minas Gerais possui um acumulado por ano de desmatamento do cerrado de aproximadamente 41 mil km² (14%), sendo os anos de 2001 e 2002 os que tiveram os maiores índices de desmatamento do bioma (INPE, 2022). Já no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, o município do Prata foi o que mais apresentou um acumulado de desmatamento do cerrado no

período, com 340 km², corroborando com as informações já mencionadas da expansão da atividade agropecuária na região.

Cabe destacar que, de 2001 a 2019, foi registrado pelo INPE (2022) um acumulado de desmatamento do cerrado em mais de 283 mil km². As causas estão ligadas principalmente ao uso predatório do solo e os efeitos indiretos da produção agrícola comercial sobre o bioma, como expansão dos centros urbanos, aumento da população e expansão da fronteira agrícola. Estas diferenças se devem, em parte, aos regramentos estabelecidos no Código Florestal em relação aos diferentes biomas brasileiros: enquanto é exigido que apenas 35% da área dos estabelecimentos rurais consolidados seja preservada como reserva legal no cerrado, na Amazônia esse percentual sobe para 80%.

No mesmo período (2001 a 2019), os estados com os maiores incrementos de desmatamento foram Tocantins, Maranhão, Mato Grosso e Bahia, que juntos desmataram cerca de 70% do cerrado (INPE, 2022). Vale salientar que, com exceção do Mato Grosso e inclusão do Piauí, os demais estados fazem parte da região denominada MATOPIBA, cujo plano de uso e desenvolvimento foi oficializado pelo Decreto Federal nº 8.447, de 6 de maio de 2015, apontada como a nova fronteira agrícola do país. A região recebe diversos incentivos governamentais para seu desenvolvimento e expansão. Além do impacto da prática agrícola em si, há também a complexidade socioambiental da área, pois abrange 46 unidades de conservação, 35 terras indígenas e 781 assentamentos da reforma agrária (Mathias, 2017; Rausch *et al.*, 2019).

Segundo o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real do Instituto Nacional de Pesquisas Especiais - DETER/INPE, ao longo de 2019 foram desmatados 409 mil ha de cerrado (INPE, 2019). Desse total, 44 mil ha foram desmatados em Unidades de Conservação, 3 mil ha em terras indígenas, 994 ha em território quilombola e 260 mil ha em Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal ou nascentes (MapBiomas, 2021). Para o MMA (2014) e Spera *et al.* (2016), essas conversões, além de provocar a redução da biodiversidade, alteram o potencial de armazenamento de carbono na biomassa e solo, e reduzem a evapotranspiração, que, conseqüentemente, altera as condições climáticas, acentuando a redução das chuvas e o aumento da temperatura, afetando, por consequência, a própria produção agrícola.

2.6. Conclusão

As informações geradas pela Plataforma Mapbiomas têm contribuído para revelar dados importantes sobre o uso das terras no cerrado, considerado um dos biomas mais ameaçados pelo avanço da agropecuária desde as últimas décadas. Devido à ocupação do cerrado, que se iniciou pela modernização da agricultura e pelo projeto de integração nacional, o bioma vem sendo fortemente desmatado desde 1950. Em 1985 a agropecuária ocupava 62 Mha do cerrado, sendo que em 2021, essa área aumentou 45%, abrangendo 90 Mha. Em virtude da rápida conversão da vegetação original em sistemas agrícolas, atualmente apenas 53% compõem as áreas de remanescentes da vegetação original do bioma e, somente 5% da área total está protegida sob a forma de alguma política de conservação.

Estudos também demonstraram que a conversão dos ambientes naturais em sistema de cultivos pouco sustentáveis, como a monocultura em larga escala, tem provocado uma rápida perda de matéria orgânica e maior liberação de CO₂ para a atmosfera, o que enquadra o cerrado como o segundo bioma com os maiores índices de emissões líquidas de CO₂ no Brasil, ficando atrás apenas da Amazônia.

Nessa linha, a concentração do maior nível de degradação do cerrado foi verificada, em particular, nas regiões de cerrado de Minas Gerais, destacando-se os municípios do Triângulo Mineiro, que por outro lado, representa uma importante região produtora de grãos e biocombustíveis.

Referências bibliográficas

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão o cerrado perde espaço: cerrado-impactos do processo de ocupação**. Brasília: Ed. WWF Brasil, 1995.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. de S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 597-603, 2003.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500014>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/P5y4T4vkVshJ5mw7ychs7TF/#>. Acesso em: 23 nov 2022.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da Terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 307-315, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200009>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/CrHRstxpxXwwnb4bWmRpxwt/?lang=pt#>. Acesso em: 23 nov 2022.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], v. 31, p. 1099-1108, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cYKyvFQzN3YBTCHqtDd6JFr/?lang=pt>. Acesso em: 21 nov 2022.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, p. 415-425, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/66/73>. Acesso em: 20 nov 2022.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/Yjx6VpKBbYcHtZ57ywF5HJg/?lang=pt>. Acesso em: 23 nov 2022.

BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; RAYNS, F.; MARX, M. C.; WOOD M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biology and Biochemistry J.**, [s. l], v.34, p. 1785-1792, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071704001671>. Acesso em: 23 nov 2022.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], v. 14, n. 2, p. 133-142, 1990. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/search#author/69c56f41-8261-428d-9a94-e4ab2b1ebcc0>. Acesso em: 23 nov 2022.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], v. 33, p. 1137-1145, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/PQGg5GFCXk489jLmbFkcRj/?lang=pt>. Acesso em: 24 nov 2022.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. DE M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. DE O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. DE A. 2007. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da Amazônia. **Revista Acta Amazônica**, [s. l], v. 37, p. 91-98, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/DDCvQJnXytP7G83Mht3qbNS/>. Acesso em: 24 nov 2022.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados.

Revista de Economia e Sociologia Rural, Piracicaba, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/Prdytp4hgPnJpmX3SVycJFG/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 25 nov 2022.

DILLY, O.; MUNCH, J. C. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. **Biology and Fertility of Soils**, [s. l], v. 27, n. 4, p. 374- 379, 1998.

<https://doi.org/10.1007/s003740050446>. Disponível em: [https://sci-](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s003740050446)

[hub.se/https://doi.org/10.1007/s003740050446](https://doi.org/10.1007/s003740050446). Acesso em: 22 nov 2022.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality for sustainable environment. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 35, p. 3-21, 1994.

<https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1>. Disponível em: [https://sci-](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1)

[hub.se/https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1](https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1). Acesso em: 26 nov 2022.

DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. Cerrado, Revolução Verde e Evolução do Consumo de agrotóxicos. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, p. 473-488, 2017.

<https://doi.org/10.14393/SN-v29n3-2017-8>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sn/a/TBHXkV4MshvP3Sd4K7tJ5mG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov 2022.

EMATER-MG. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. Emater: **Produção Agropecuária de Minas Gerais, Projeção 2020-2024**. 2022.

Disponível em:

https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=28052.

Acesso em: 30 nov 2022.

FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. SAVI. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Cerrados. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**, Planaltina, 2008, p. 105-172. Disponível em:

[https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570974/savanas-desafios-e-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570974/savanas-desafios-e-estrategias-para-o-equilibrio-entre-sociedade-agronegocio-e-recursos-naturais)

[estrategias-para-o-equilibrio-entre-sociedade-agronegocio-e-recursos-naturais](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570974/savanas-desafios-e-estrategias-para-o-equilibrio-entre-sociedade-agronegocio-e-recursos-naturais). Acesso em: 01

dez 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE: **Dados sócio-econômicos da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba - MG**. 2018. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 30 nov 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE: **Censo agropecuário: resultados definitivos**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/24/76693>.

Acesso em: 30 nov 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. INMET: **Gráficos Climatológicos**. 2022.

Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/graficos-climatologicos>. Acesso em: 30

nov 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE: **Sistema de monitoramento de desmatamento e queimadas**. 2022. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 30 nov 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE: **Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real**. 2019. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/dados/deter_modis_2004_2017. Acesso em: 30 nov 2022.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 118-127, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/4171/3665>. Acesso em: 16 nov 2022.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Revista Conservação Internacional**, Belo Horizonte, v.1, n. 1, p.147-155, 2005. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17973/material/Cerrado_conservacao.pdf. Acesso em: 17 nov 2022.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l], v. 17, n. 12, p. 1257-1263, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/yxYBMhg8PYqFxHL5LD8jbZr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 nov 2022.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. 2003. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l], v. 27, p. 821-832, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nswMgCrTx5C583HxVmMJrpk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 nov 2022.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Ed. Universidade Federal do Paraná: Curitiba, p. 10, 2007.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. **Conservação Internacional**, Brasília, 2004, p. 1-23. Disponível em: https://jbb.ibict.br/bitstream/1/357/1/2004_%20Conservacao%20Internacional_%20estimativa_a_desmatamento_cerrado.pdf. Acesso em: 25 nov 2022.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA A. Estimativas da integridade da cobertura vegetal do Cerrado/Pantanal através de dados TM/Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, IX, 1998. Santos. **Anais**: INPE, 1998, p. 1455-1466. Disponível em:

http://mar.te.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57/doc/2_168p.pdf. Acesso em: 26 nov 2022.

MAPBIOMAS – Plataforma MapBiomas. MapBiomas: **Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 23 nov 2022.

MAPBIOMAS – Plataforma MapBiomas. MapBiomas: **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/04/29/relatorio-anual-do-desmatamento-rad-no-brasil-2023-sera-lancado-28-de-maio/#:~:text=Relat%C3%B3rio%20Anual%20do%20Desmatamento%20do%20Brasil%20%2D%202019,de%20hectares%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20nativa>. Acesso em: 23 nov 2022.

MAPBIOMAS – Plataforma MapBiomas. MapBiomas: **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/04/29/relatorio-anual-do-desmatamento-rad-no-brasil-2023-sera-lancado-28-de-maio/#:~:text=Relat%C3%B3rio%20Anual%20do%20Desmatamento%20do%20Brasil%20%2D%202019,de%20hectares%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20nativa>. Acesso em: 23 nov 2022.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo, Viçosa, MG**. Orientador: Ivo Jucksch. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – MG. 2002. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10762/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 27 nov 2022.

MATHIAS, M. Matopiba: na fronteira entre a vida e o capital. **Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/Fiocruz**, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.epsvj.fiocruz.br/noticias/reportagem/matopiba-na-fronteira-entre-a-vida-e-o-capital>. Acesso em: 27 nov 2022.

MEDEIROS, K. M. O planejamento ambiental e exploratório no bioma cerrado. **Revista Facitec**, v.1, n. 1, art. 3, 2007. Disponível em: www.facitec.br/erevista. Acesso em: 25 nov 2022.

MENDES, S. de O. **O solo no ensino de Geografia e sua importância para a formação cidadã na educação básica, Goiânia, GO**. Orientador: Eliana Marta Barbosa de Moraes. 2017. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiás - GO. 2017. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tesdeserver/api/core/bitstreams/7a20bb91-d685-4ed4-843c-0534f5597a1d/content>. Acesso em: 23 nov 2022.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. MMA: **PPCerrado – Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase**. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/consultapublica-ppcerrado>. Acesso em: 29 nov 2022.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. **Nature**, [s. l], v. 403, p. 853-858, 2000.

<https://doi.org/10.1038/35002501>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1038/35002501>. Acesso em: 29 nov 2022.

PEREIRA, T. T. C.; ALMEIDA, I. C. C.; OLIVEIRA, F. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PINHEIRO, L. S.; MATUK, F. A. Hydopedology of a High Tableland with Cerrado, Brazilian Central Plateau: the Frutal Catchment Case Study. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 42, p. 1-16, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160523>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/6F6sVQFF4xfTFWxrJ5fF96M/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 01 dez 2022.

RAUSCH, L.; GIBBS, H.; SCHELLY, I.; BRANDÃO, A.; MORTON, D.; FILHO, A.; STRASSBURG, B.; WALKER, N.; NOOJIPADY, P.; BARRETO, P.; MEYER, D. Soy Expansion in Brazil's Cerrado. **Conservation Letters**, [s. l.], v. 12, p. 1-10, 2019.

<https://doi.org/10.1111/conl.12671>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1111/conl.12671>.

Acesso em: 02 dez 2022.

ROSA, R. O Uso de Tecnologias de Informação Geográfica no Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, Heredia, v. 2, p. 1-17, 2011. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744820802.pdf>. Acesso em: 02 dez 2022.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. O desafio da delimitação de Áreas de Preservação Permanente. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 203-212, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000200004>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/jfgfpWddvcvBQPjS4LH59xQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 dez 2022.

SANO, E. E.; ROBERTO ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100020>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/pab/a/d849WYR63MFQSN9wVx7ZtYn/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 02 dez 2022.

SANTOS, H. F. Modernização da agricultura e dinâmica do agronegócio globalizado no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Geografia em Questão**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 9-36, 2019. <https://doi.org/10.48075/geoq.v12i1.18330>. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/18330/14036>. Acesso em: 04 dez 2022.

SILVEIRA, M. L. O Brasil: território e sociedade no início do século XXI – A História de um livro. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 11, p. 151-163, 2011. DOI:

10.5654/actageo2011.0001.0011. Disponível em:

http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AnaPaulaDALasta/Acta_Geografica_CidadesAmazonicas_EdiacaoEspecial_2011/MariaLauraSilveira_HistoriaLivro_Acta_Geografica_2011.pdf. Acesso em: 03 mar 2023.

SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. SEAPA: **Triângulo Mineiro é o maior produtor de grãos do Estado**. 2017. Disponível em <http://www.agricultura.mg.gov.br/ajuda/story/763-triangulo-mineiro-e-o-maior-produtor-estadual-de-graos>. Acesso em: 05 dez 2022.

SILVA, L. L. O papel do Estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 1, n. 2, p. 24-36, 2000. <https://doi.org/10.14393/RCG2215251>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15251/8552>. Acesso em: 06 dez 2022.

SPERA, S. A.; GALFORD, G. L.; COE, M. T.; MACEDO, M. N.; MUSTARD, J. F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 22, p. 3405-3413, 2016. <https://doi.org/10.1111/gcb.13298>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27028754/>. Acesso em: 07 dez 2022.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, p. 733-745, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rSb9bsbsgjBqw4t9b9jrDBC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 nov 2022.

WANG, W. J.; DALAL, R. C.; MOODY, P. W.; SMITH, C. J. Relationships of Soil Respiration to Microbial Biomass, Substrate Availability and Clay Content. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 273-284, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00274-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00274-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071702002742>. Acesso em: 07 dez 2022.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/KPr6NbDjFbSDvQ4BcLyyFWd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov 2022.

CHAPTER 3 – A LOOK-OUT TO THE BRAZILIAN CERRADO: ANALYSIS OF THE DEFORESTATION, LAND USE, AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

ABSTRACT

The cerrado is one of the 25 hotspots in the world and is considered the savanna with the most biodiversity of species. However, while it has high environmental relevance, the biome is the focus of intense agricultural use due to its favorable natural conditions. For the study of the cerrado, the Mapbiomas Platform has stood out in providing useful information on the cover and use of soil, water surface, and fire scars. Thus, the objective of this study was to analyze the Mapbiomas Platform concerning the use and coverage of soils in the cerrado in Brazil, and detail, at Triângulo Mineiro, on historical series from 1985-2021, and to ascertain the environmental implications arising from this action, focusing on soil organic matter. The results indicated that the cerrado, in general, has been replaced by large-scale agriculture in the last 35 years, and its areas have shrunk by 25% in this period (considering only the cerrado) the increase in pasture and agricultural areas in the Brazilian cerrado corresponds to 23% and 621%, respectively, in the period from 1985 to 2021, and the use and coverage of soils in the cerrado in the Triângulo Mineiro follow the same flow as the rest of the country in terms of the expansion of agriculture. In the opposite direction of areas occupied by agriculture, livestock, and forest plantations, water bodies showed a reduction of 5% in the same period, and hydromorphic environments decreased by 3%, corroborating the premise that the Brazilian cerrado is drying out. In general, the municipalities of the Triângulo Mineiro came from an occupation of the cerrado and transformation of its native cover by crops or pasture before the 1980s, which was consolidated during this period, maintaining high deforestation rates. The main changes in land use related to the replacement of native cerrado vegetation for the expansion of modern agriculture in recent decades are generally followed by soil C losses (~22%). In contrast, annual crops under the crop-livestock-forest system can potentially accumulate C in the soil and partially reverse C losses after converting native vegetation.

Keywords: Agricultural soil. Farming. Brazilian Savanna. Oxisols.

3.1. Introduction

The cerrado covers a region of approximately 2.0 million km² and encompasses several states in Brazil. It is probably the region that has witnessed the large change in land use in the world since the “Green Revolution,” associated with rural credit policies subsidized by government programs that began in the 1970s, especially the Cerrado Development Program (POLOCENTRO) (Pereira *et al.*, 2018).

As a result, the cerrado has become one of the principal agricultural frontiers in the, with rapid replacement of native vegetation by pastures and large-scale monocultures tropics (Goedert 1989; Costa *et al.*, 2002; Beuchle *et al.*, 2015). This showed that the region, considering 50 years (1960-2010), had the second highest deforestation rate in the entire history of humanity, being only lower than amazon deforestation (Pereira *et al.*, 2018). This human pressure, associated with land degradation, has resulted in severe problems such as soil erosion and compaction, increasing production costs (Canillas; Salokhe, 2002) and promoting new phenomena such as "savannization" in the amazon and "aridization" in the cerrado, resulting in deleterious effects on biodiversity and availability of water and soil for agriculture (Pereira *et al.*, 2018).

In this deforestation scenario, the MapBiomias Platform, a collaborative network formed by non-governmental organizations (NGOs), universities, and technology startups, proves to be a useful tool for environmental analysis, and purposing to produce an annual mapping of land cover and use, water surface and scars of fire monitoring with data from 1985. According to MapBiomias, Brazil has a native vegetation coverage of 66%, resulting in a net loss of -85 Mha of vegetation between 1985-2021 (MapBiomias, 2022). During this period, the growth of the pasture area was 39%, and the area occupied by agriculture increased by 228%. MapBiomias, specifically for the cerrado, points out that its native vegetation coverage is ~53%, with a net loss of vegetation of -28 Mha for the period 1985-2021, a time in which the agricultural area increased 6.2 times (MapBiomias, 2022).

such as flat relief, facilitated and large-scale mechanization, suitable climatic aspects, modern soil management techniques, and genetic improvement contributed to the increase in agricultural productivity in the cerrado. Associated with these factors, the dominant coverage of Oxisols (Ferralsols) on extensive plains and good drainage conditions make the cerrado the most suitable tropical area for intensive cultivation (Resende, 2002). Furthermore, it has a

strategic position as the source of rivers in the country's main river basins, which allows us to understand the current model of agricultural occupation, and it is essential to question whether this model will be able to maintain the important hydrological role that the region promotes (Pereira; Figueiredo, 2018).

Following the same sense of use and occupation of land in the cerrado, the Triângulo Mineiro region and all its municipalities have stood out in Minas Gerais and Brazil regarding their highly technical and productive agricultural production and animal and plant genetic improvement (Cleps Jr., 2009). What has been observed is a vast territorial transformation of the region, with widespread replacement of native vegetation by the most diverse activities in the primary sector. Therefore, there is an increasing need to understand this transformed environment, future perspectives on vegetation patterns, and the state of soil conservation, especially concerning carbon stocks and impacts on the climate, as well as knowing the general environmental panorama in these areas. Thus, the MapBiomias Platform has become a useful, reliable, and easily accessible tool, capable of scientifically assisting in purposes and investigations involving research into the use and occupation of cerrado lands (MapBiomias, 2022).

Thus, the objective of this study was to analyze the use and coverage of cerrado lands in Brazil, and in detail, in the Triângulo Mineiro in the historical series of 1985-2021, and ascertain the environmental implications resulting from this action, focusing on soil organic matter, based on version 7 of the MapBiomias Platform, as preconized by MapBiomias (2022).

3.2. Methodology

3.2.1. Study area

The area of this research originally covers the vegetation of the cerrado, the second-largest biome in Brazil and the most diverse tropical savanna in the world in terms of species, genetic variation, and ecosystems (Klink; Machado, 2005), as shown in Figure 1.

Among Brazilian physiographic spaces, the cerrado represents one of the large irregular polygons that form the country's landscape and ecological mosaic (Ab'Saber, 2003, p. 115-136). It predominantly occupies massive plateaus with a complex structure, with flattened summit surfaces and a significant set of compartmentalized sedimentary plateaus located at

places with higher slopes, prone to the formation of gullies, which can represent a serious environmental problem heightened by the replacement of native vegetation cover.

3.2.2. *Data sampling and analysis*

The classification approach for the cerrado biome in the MapBiomas network involved the application of decision trees to generate yearly maps, scale 1:250.000, of the dominant native vegetation (NV) types, categorized into four groups: forest formation, savanna formation, wetland, and grassland formation (Alencar *et al.*, 2020; Souza Jr. *et al.*, 2020; MapBiomas, 2022). Over time, the method for generating these maps underwent refinements, which resulted in significant improvements to version 7. According to MapBiomas (2022), the overall classification process for cerrado native vegetation encompassed several steps (made by MapBiomas Platform): firstly, the optimal time of year for constructing annual Landsat mosaics was selected; then, remote sensing metrics were defined as potential predictors (feature space); reference training samples were created to calibrate the classification algorithm; post-classification treatments were applied to eliminate noise and generate a consistent time series; finally, the resulting maps were integrated with other cross-cutting themes; classification results were evaluated through visual inspection and sample-based validation analysis (MapBiomas, 2022). Therefore, all maps, infographics, and reports created in the MapBiomas network were used for acquiring the data used in this study.

In this study, we selected the data from the MapBiomas Platform, version 7, in the following layers: coverage (forest formation, savanna formation, grassland, rocky outcrop, wetland, agriculture, forest plantation, pasture, mining, water), deforestation (primary vegetation, secondary vegetation), irrigation (citrus, coffee, other perennial crops, cotton, soybeans, sugar cane, other temporary crops), fire scars and soil (soil organic carbon - SOC) for the cerrado at the national level, as well as detailed data for the cerrado in the Triângulo Mineiro, manually selected municipality by municipality, in the historical series from 1985 to 2021, according to MapBiomas (2022). Specifically for the deforestation layer, MapBiomas provides data from 1987 to 2020.

Using the resources available on the platform layout, the following components were manually marked in each layer: territorial section (biome, state, and municipality) and corresponding territory. In this case, a focus was the Brazilian cerrado biome, cerrado in the state of Minas Gerais and municipalities of the Triângulo Mineiro. After searching for the

information, the selected data was downloaded and tabulated, tables were created in Excel software and subsequent analysis and interpretation were carried out.

Regarding the data available on the Annual Mapping of Soil Organic Carbon Stock in Brazil, within the Soil tab (beta version), MapBiomass (2023) makes this data available through a triangulation between the platform, the SoilData repository (<https://soildata.mapbiomas.org/>) and the end user. The data were obtained from the analysis of the dynamics of SOC stocks from 1985 to 2021 in different land covers and uses, with a spatial resolution of 30m and showing SOC stocks from 0 to 30cm in tons per hectare.

To complement the data from MapBiomass, a literature review on the use and coverage of cerrado soils in the period 1985-2021 was conducted, mainly focusing on rural areas, to ascertain the main environmental implications caused by this action, especially on organic matter and soils. The search terms used were land use in the cerrado, native cover in the cerrado, deforestation in the cerrado, the organic carbon in the cerrado, and organic matter in the cerrado.

3.3. Results and discussion

3.3.1. Land use and land cover in soils at Brazilian cerrado.

An important and well-established feature of the cerrado and, specifically, the Triângulo Mineiro region in the state of Minas Gerais, is the prominent position of agricultural production on rural properties, in many cases associated with land concentration. As a reference, in 2020, according to data from the National Supply Company (CONAB), more than 23% of the state's grain production was produced in this region, with the municipality of Uberaba leading the state's production ranking, with more than 700,000 tons of grain produced, with soybeans and corn standing out as the main crops, as well as sugarcane, which supplies the region's sugar and alcohol mills (CONAB, 2022). The dairy and beef cattle production chain are also a major activity.

In studies on the transformation at Triângulo Mineiro into a major agricultural center in the country, some authors pointed out that this is one of the Brazilian regions where the extent and intensity of rural transformations occurred in greater harmony with the guidelines of modern agriculture (Brandão, 1989; Pessôa, 1998; Cleps Jr., 2009; Souza, 2013). Thus, participating in a privileged position of geographical production reorientation, it was able to assimilate industrial forms of production quickly and fully in agriculture, expanding its

production capacity. In this way, agriculture, supported by public policies, transformed the cerrado lands into a business to meet the demands of production based on the increasing use of natural resources, especially forestry and soil resources.

Table 1 points out the principal forms of use and coverage of cerrado soils at national level, as well as the advancement of agricultural areas, the suppression of forest and water bodies, and, probably, higher soil exposure to the weathering agents. It was found that the biome, in general, has been replaced by large-scale agriculture in the last 35 years and has retreated 25% of its native areas in this period (considering only the cerrado stricto sensu). Even though there is an increase in planted forests, it is worth highlighting that they are associated with planting exotic species for commercial use, such as eucalyptus and pine, to supply charcoal factories and construction and, therefore, not considered areas connected to permanent forest restoration. However, even if momentary, they are carbon-accumulating cultures.

Also noteworthy are the pasture areas, which occupy around 24% of the biome, or 47 Mha, and are intended for extensive livestock farming. The increase in these areas between 1985 and 2021 corresponds to 23%. During this period, agriculture had a 621% increase in areas converted to planting. Considering the areas occupied by soybeans, the increase was ~1400%. These increases are justified by the colonization programs in the interior of Brazil, a constant incentive to expand the agricultural frontier, and urban growth seen after the 1980s. In the opposite direction of areas occupied by agriculture, livestock, and forest plantations, water bodies notably showed a reduction of 5% in the same period, and hydromorphic environments decreased by 3%, corroborating what the scientific community has demonstrated: the Brazilian cerrado is drying up (Hofmann; Moreira, 2002; Costa *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2005).

In Minas Gerais, according to Table 2, changes in the cerrado follow, to a certain extent, the transformation trends of the cerrado at a national level, with some particularities. The areas of cerrado stricto sensu fell by 17%, pastures fell by 18%, and agriculture advanced by 815%, demonstrating that the conversion of areas for plantations is due not only to the replacement of native vegetation but also to the advance of areas that were previously anthropized and occupied by pastures, which despite decreasing, still cover an area 2.7 times larger than that of agriculture in Minas Gerais. Water bodies reduced their areas by 22%, which may be related to climate stress and excessive use of water by irrigated agriculture. Meanwhile, hydromorphic environments increased by 3%, probably related to areas flooded by anthropogenic activities,

such as transposition of rivers and flooding of agricultural lands, and even small dams in some specific places.

Table 1 – The annual land use and land cover at Brazilian cerrado for the period 1985-2021

Land Cover	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
	-----ha-----								
Forest formation	33.121.303	31.334.708	30.290.904	29.710.994	28.901.723	28.147.849	27.801.052	28.026.327	28.025.079
Savanna formation	80.538.991	77.330.931	73.259.314	69.851.629	66.186.734	64.809.644	62.030.042	61.074.570	60.452.391
Grassland	13.056.373	12.457.832	12.022.913	11.824.829	11.416.361	11.097.140	10.734.735	10.474.366	10.469.421
Rocky outcrop	439.940	440.040	440.089	439.983	439.967	439.834	439.508	439.440	439.407
Wetland	6.176.578	5.928.312	5.888.217	5.942.819	5.958.671	6.001.750	6.021.209	6.004.099	5.994.651
Agriculture	4.107.446	7.095.258	9.954.317	12.397.151	16.486.867	19.386.621	23.015.960	25.415.187	25.487.121
Forest plantation	542.984	916.267	1.256.843	1.321.138	1.384.098	1.932.114	2.801.582	3.181.907	3.224.138
Pasture	38.223.129	44.663.127	49.268.307	52.252.437	52.981.742	51.972.281	50.627.839	47.825.957	47.097.449
Mining	7.567	14.162	18.333	22.037	26.599	33.105	40.299	46.130	46.075
Water	1.399.288	1.432.003	1.433.789	1.335.942	1.460.337	1.514.959	1.380.578	1.404.028	1.334.001

Source: adapted from Mapbiomas (2022)

Table 2 – The annual land use and land cover at Brazilian cerrado in the Minas Gerais State for the period 1985-2021

Land Cover	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
	-----ha-----								
Forest formation	3.502.799	3.201.736	2.986.986	2.949.744	2.892.410	2.863.459	2.881.990	2.912.371	2.879.977
Savanna formation	9.863.464	9.620.750	9.285.992	9.018.130	8.781.308	8.599.356	8.356.914	8.367.700	8.278.160
Grassland	2.108.039	1.995.555	1.942.361	1.994.224	1.990.260	1.974.614	1.879.095	1.853.880	1.852.382
Rocky outcrop	397.395	397.445	397.448	397.335	397.308	397.154	396.837	396.727	396.687
Wetland	385.480	343.336	346.856	355.006	369.118	384.994	388.884	388.230	399.640
Agriculture	398.373	705.467	1.007.790	1.367.832	1.971.483	2.385.357	2.903.061	3.223.280	3.243.044
Forest plantation	334.460	512.851	746.653	737.100	775.421	1.026.406	1.246.042	1.339.287	1.338.683
Pasture	10.358.465	11.057.718	11.232.463	11.214.887	10.675.807	9.997.447	9.454.373	8.670.152	8.501.459
Mining	2.768	4.895	6.304	8.133	10.083	11.965	14.497	16.482	16.429
Water	401.067	394.054	424.935	360.463	396.871	396.220	311.553	340.953	311.664

Source: adapted from Mapbiomas (2022)

Thus, when observing the data concerning the use and coverage of soil in the cerrado at Triângulo Mineiro, it appears that the region follows the same model as the rest of the country regarding agricultural expansion. This model installed in the cerrado was advocated by the Green Revolution, in which genetic improvement developed in universities and research centers, soil management (correction and fertilization), and the relief (flat to gently wavy) favorable to mechanization were decisive and served as the basis for the economic success of this occupation, but at a high environmental cost (Cunha *et al.*, 2008; Balestro; Sauer, 2009).

The expansion of cities and activities such as mining and plant extraction are additional impacts that also affect the cerrado in the Triângulo Mineiro and other areas where it occurs. According to Tables 1 and 2, mining activities in the cerrado increased by 600% and 585% in Brazil and Minas Gerais, respectively. This fact reveals a growing demand for mining products to supply not only rural areas but also related to the growth of cities.

The expansion of the urban area over natural ecosystems advanced towards the interior of Brazil following the construction of Brasília and the opening of roads connecting the southeast to the interior. According to Pereira (2022), the expansion of cities over native vegetation, even if punctually, was no less impactful than agriculture and a sign that it should also be part of the discussion when the subject is the radical transformation of the biome. According to MapBiomias (2022), urbanized areas increased by 210% between 1985 and 2021, stimulated by urban expansion after the 1980s. The removal of vegetation cover to make way for cities and industries led to the degradation of the soil, contamination of groundwater, and loss of ecosystems and natural habitats of wild species in the cerrado (MapBiomias, 2022).

Table 3 presents the 35 municipalities that compose the Triângulo Mineiro region and considers the combined data of forest (forest formation and cerrado) and agriculture (agriculture, forestry, and pasture). In general, there is a suppression of native vegetation to the detriment of an increase in areas occupied by agriculture in the municipalities. The municipalities that lost the most areas of native vegetation (> 30% loss) were Limeira do Oeste (45%), União de Minas (43%), Uberlândia (39%), Carneirinho (39%), São Francisco Sales (38%), Indianópolis (37%), Iturama (37%), Itapagipe (34%), Monte Alegre de Minas (33%), Santa Vitória (33%), Frutal (32%), Conceição das Alagoas (32%), and Uberaba (31%). The increase in agricultural areas ranged from 0% (Conquista) to 22% (Cascalho Rico

Table 3 – The annual land use and land cover at Brazilian cerrado municipalities in the Triângulo Mineiro region for the period 1985-2021

Municipality	Cover	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	1985	2021
		-----ha-----										-----%***-----

Araguari	Forest*	48.193	44.850	43.235	39.932	39.191	39.462	38.693	39.400	38.472	24.5	20.7
	Farming* *	145.818	152.843	156.753	160.669	160.524	159.803	160.584	159.960	161.166	67.0	73.0
Campina Verde	Forest*	65.946	54.787	52.951	54.313	52.416	51.471	52.285	51.824	50.625	18.1	14.0
	Farming* *	285.148	300.698	301.776	300.220	301.369	300.411	300.126	301.793	303.665	78.2	83.3
Campo Florido	Forest*	17.381	17.745	16.232	15.694	15.399	15.307	15.280	15.549	14.771	14.5	13.0
	Farming* *	90.993	91.961	93.709	94.940	94.583	94.518	94.184	93.715	94.348	81.0	83.1
Carneirinho	Forest*	18.986	12.922	12.668	12.042	11.834	11.834	11.928	11.825	11.676	11.1	6.9
	Farming* *	133.378	140.332	140.204	140.084	139.352	139.082	139.040	140.198	140.783	76.3	80.8
Cascalho Rico	Forest	6.670	6.591	6.107	5.389	5.338	5.193	5.141	5.223	5.093	18.2	14.0
	Farming	22.017	21.952	22.675	24.912	23.893	24.694	25.666	26.047	26.779	60.0	73.0
Centralina	Forest*	1.204	923	851	854	871	885	882	884	893	10.4	13.0
	Farming* *	9.384	10.267	10.349	10.363	10.355	10.317	10.300	10.289	10.311	85.5	84.5
Com. Gomes	Forest*	17.677	16.489	15.432	15.766	15.616	16.194	17.049	18.167	17.562	17.0	17.0

	Farming*	82.373	84.362	85.272	85.733	85.625	84.853	83.771	82.874	83.331	79.1	80.1
Conc. das Alagoas	Forest*	6.304	5.316	4.921	4.790	4.634	4.598	4.571	4.565	4.305	9.0	8.3
	Farming*	42.674	44.663	45.065	45.365	45.427	45.363	45.260	45.235	45.526	82.1	84.0
Conquista	Forest*	838	755	721	702	740	742	760	756	756	16.4	15.0
	Farming*	3.488	3.582	3.615	3.596	3.556	3.557	3.541	3.556	3.573	82.0	82.0
Fronteira	Forest*	1.091	1.009	977	955	909	946	963	999	947	5.5	5.0
	Farming*	14.287	14.799	14.913	14.944	14.812	14.504	14.483	14.519	14.660	72.0	74.0
Frutal	Forest*	15.495	12.776	11.359	11.501	11.060	10.934	11.123	11.164	10.496	8.4	6.5
	Farming*	143.359	149.919	151.690	152.136	151.988	151.383	151.302	151.596	152.364	81.2	86.0
Gurinhata	Forest*	31.831	27.717	26.382	26.109	25.475	25.393	25.546	25.377	25.025	19.0	16.0
	Farming*	127.920	133.716	134.996	135.185	135.425	134.092	134.822	135.222	136.251	77.0	81.4
Indianópolis	Forest	13.729	12.262	11.252	9.441	8.769	8.914	8.904	8.890	8.691	16.5	10.5
	Farming	63.892	66.405	67.712	67.899	68.685	68.456	68.162	67.882	68.220	77.0	82.2
Itapagipe	Forest*	12.076	9.216	8.683	8.383	8.076	8.029	8.081	8.168	8.009	8.3	5.8
	Farming*	118.322	122.106	122.417	122.935	123.060	122.603	122.507	122.654	122.915	86.0	89.0

Ituiutaba	Forest*	45.074	38.727	37.587	35.365	34.187	34.226	33.757	34.235	33.498	19.4	15.0
	Farming* *	173.191	184.211	185.119	187.710	189.057	187.860	188.159	187.544	188.590	75.9	81.4
Iturama	Forest*	8.231	5.204	5.005	5.041	5.114	5.060	5.370	5.263	5.189	7.4	5.2
	Farming* *	85.843	90.406	90.333	89.909	89.236	88.821	88.393	88.907	89.199	80.1	83.0
Limeira do Oeste	Forest*	17.371	11.144	10.597	10.313	10.227	10.107	10.124	9.835	9.623	14.4	8.6
	Farming* *	97.439	104.557	104.726	104.875	104.080	103.766	104.081	104.772	105.269	80.5	86.4
Monte A. de Minas	Forest*	40.214	33.421	28.529	27.635	27.365	27.393	27.575	27.891	26.914	16.3	11.3
	Farming* *	187.412	200.646	206.104	207.697	207.820	207.447	206.859	206.350	207.432	75.8	83.4
Pirajuba	Forest*	345	396	356	364	395	411	420	408	336	5.7	7.6
	Farming* *	9.336	9.412	9.410	9.470	9.412	9.373	9.349	9.377	9.434	90.0	88.2
Planura	Forest*	998	1.044	1.022	1.060	1.118	1.160	1.226	1.242	1.070	4.4	5.6
	Farming* *	17.904	18.168	18.244	18.438	18.268	18.099	18.131	18.150	18.338	80.1	81.6
Prata	Forest*	77.561	71.329	64.176	62.770	62.890	64.603	67.201	68.780	65.741	16.0	13.6
	Farming* *	374.410	385.222	395.376	399.123	398.451	395.869	393.920	391.648	394.388	77.2	81.4
Santa Vitória	Forest*	34.650	26.473	24.733	23.172	22.871	23.143	23.575	23.366	23.188	13.5	9.4

	Farming*	174.778	183.456	184.149	185.572	184.934	183.674	183.692	183.977	184.985	77.0	81.0
São Franc. Sales	Forest*	9.123	5.602	5.670	5.799	5.866	5.663	5.710	5.694	5.684	9.2	5.8
	Farming*	76.597	82.115	81.630	81.587	81.223	81.108	80.926	81.278	81.472	77.0	82.3
Tupaciguara	Forest*	17.918	14.814	13.514	13.269	13.170	13.368	13.346	13.316	13.026	15.5	13.1
	Farming*	82.413	87.031	88.352	88.722	88.497	88.043	87.874	87.983	88.409	70.0	75.5
Uberaba	Forest*	66.383	58.486	49.009	47.411	47.368	47.366	48.269	47.706	45.678	16.8	12.2
	Farming*	259.208	273.879	288.177	290.278	289.423	287.783	285.033	284.229	286.598	73.1	79.0
Uberlândia	Forest*	79.571	67.312	56.357	52.929	52.505	51.958	50.950	50.850	48.749	20.2	13.0
	Farming*	272.365	290.588	304.032	308.059	308.047	305.607	304.733	302.921	304.226	68.0	75.3
União de Minas	Forest*	14.133	9.883	8.802	7.908	8.188	8.135	8.307	8.185	8.088	12.3	7.1
	Farming*	96.109	100.587	101.330	102.577	101.635	100.917	101.464	102.090	102.570	83.8	89.4
Veríssimo	Forest*	23.960	22.479	21.885	21.906	21.832	21.861	21.954	22.012	21.193	23.8	21.2
	Farming*	68.106	71.131	72.010	72.316	72.372	72.213	71.905	71.770	72.388	70.6	75.0

The municipalities of Água Comprida, Araporã, Cachoeira Dourada, Canápolis, Capinópolis, Delta, and Ipiacu do not have data. *Consider the sum of forest formation and savanna formation. **Consider the sum of agriculture, a forest plantation, land use mosaic, and pasture. ***Percentage of areas at municipality covered by agriculture and forest, in 1985 and 2021. Source: adapted from MapBiomias (2022).

Comparatively, concerning the cerrado at a national level, the cerrado in Minas Gerais, and, specifically, in the Triângulo Mineiro, between 1985 and 2021, it is observed that the advance of the agricultural frontier, accompanied by the suppression of native vegetation, was more significant within the country or Minas Gerais than in the municipalities of the Triângulo Mineiro. This shows that this region already had an agricultural occupation model installed and consolidated before the period considered (1985-2021). Figure 2 shows that the municipalities, in general, came from an occupation of the cerrado and transformation of its native cover by crops or pasture before the 1980s, which was consolidated during this period, keeping deforestation rates (in ha) high.

In the following decade (1990 onwards), the rates fell sharply and remained over the years, concomitantly leaving primary and secondary vegetation at negligible levels for several municipalities (< 10% of the original coverage), contradicting the minimum percentages required by the New Forest Code for the cerrado (35%), reasoning that if the percentage of native coverage in the municipality is low, invariably, the percentage of coverage on rural properties is also low. The analysis of Table 3 on the percentage of coverage in 1985 and 2021, the beginning and end of the historical series, respectively, shows that forest, savanna, and agricultural formations had low variation.

Among the various activities linked to agribusiness, sugar and alcohol production stands out in a relevant position concerning the occupation of the cerrado in the Triângulo Mineiro. Peres; Previtali (2021) and Castillo (2015) discuss how important the sugar and alcohol sector has become in the world, as with the cultivation of sugar cane, it is possible to produce sugar and alcohol in addition to generating electricity. Peres; Previtali (2021) also states that due to environmental issues, the need to use biodegradable fuels to produce energy came to the fore in the global discussion, and ethanol became a globally sought-after product. There was a high fiscal incentive from the Brazilian government for the expansion of sugar cane, which promoted the expansion of sugar and alcohol production plants throughout the region (Pereira, 2012).

According to data from CONAB (2022), ethanol production in Brazil is currently concentrated in the Southeast and Central-West regions, located in the cerrado, which accounts for 90% of production. In the 2019-2020 harvest, the Southeast region produced more than 415 million tons of harvested sugar cane, indicating an increase of 3.7% compared to 2018-2019, while the Central-West region saw growth of 1.5% in the harvested area, occupying 1.8 million hectares.

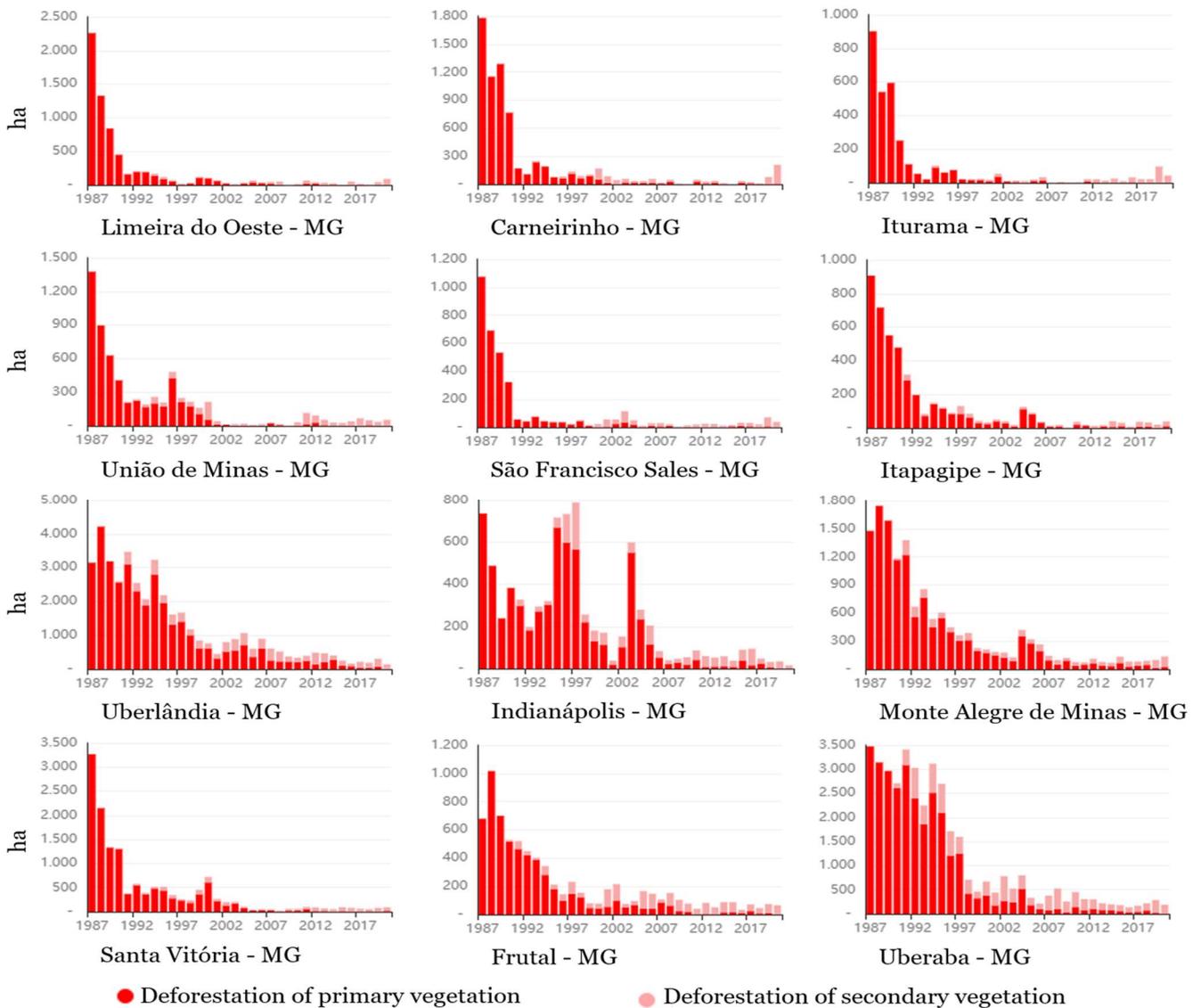


Figure 2 – Annual area (hectares) of cerrado deforestation in selected municipalities within the Triângulo Mineiro region. Source: Adapted from MapBiomass (2022)

Due to government incentives for the massive expansion of sugarcane cultivation, Góes *et al.* (2008) highlight that the Brazilian sugar and alcohol sector is considered the most technological in the world, being an expressive exporter of ethanol, which is a highly valued source due to environmental issues of minimizing the impacts generated by fossil fuels. However, the impacts of sugarcane production are still harmful to the environment and small producers.

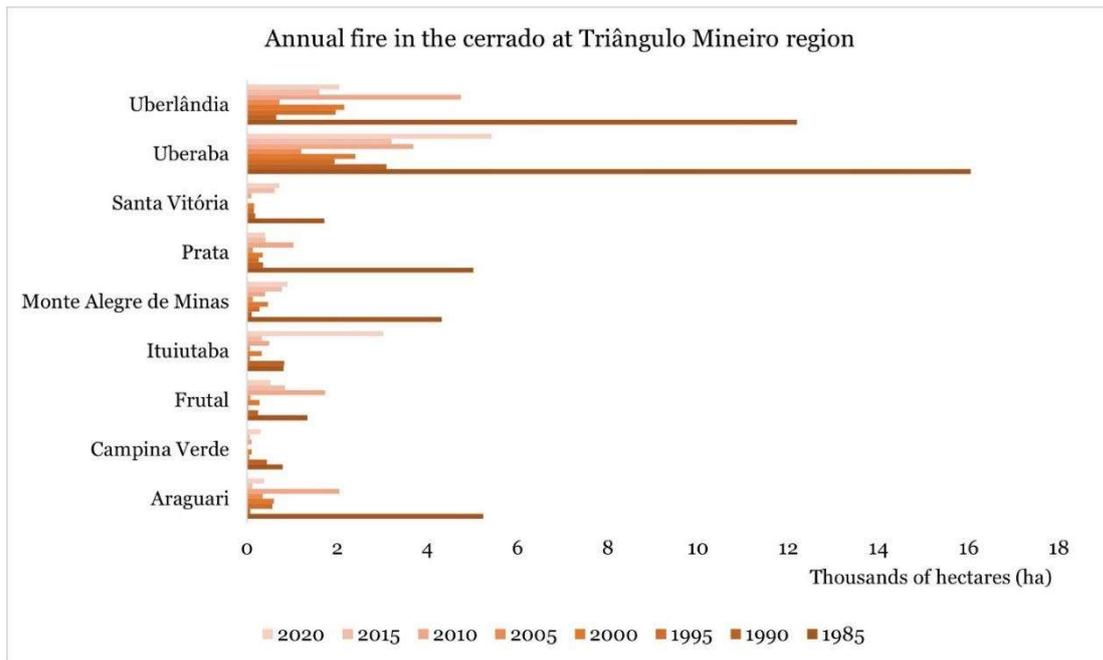


Figure 3 – Annual fire in the cerrado in the Triângulo Mineiro region for the period 1985-2020. Source: adapted from MapBiomias (2022)

With the expansion of this activity, in addition to the impacts generated on the natural environment, there is the deterritorialization of small producers forced to sell or lease their land to agribusiness companies, as well as seeing their production decrease due to environmental impacts in the vicinity of their properties, as in aerial spraying, for example. As Cunha and Previtali (2014) and Ferreira (2015) highlight, the expansion of sugarcane cultivation and its presence as an export product is supported by the intensive use of chemical products, such as mineral fertilizers and pesticides, which are one of the main factors of eutrophication of rivers and lakes, acidification of soils, contamination of aquifers, and mass deaths of pollinators, such as bees, due to the pesticide spraying methods adopted, especially aerial spraying.

In addition to deforestation caused by clearing the vegetation using machinery and equipment, some fires are, on numerous occasions, caused intentionally by landowners, agribusiness companies, and rural workers (Moreira, 2000; Hoffmann; Moreira, 2002). According to the MapBiomias Platform (2020), in 2019, the cerrado lost more than 7 million hectares to the fires that occurred throughout the biome. Considering the sum of the last 35 years, more than 241 million hectares of the cerrado have already been burned (MapBiomias, 2020).

Due to its vegetational and climatic characteristics, the cerrado has a natural propensity to fire, which occurs most from June to October, a period in which the vegetation, for the most part, is dry due to drought in the region (Figure 3). However, the natural fire in the cerrado is sporadic, within a natural process of landscape evolution. Unlike the use of controlled fire to open areas, clear pastures, combat pests, and diseases, or belief that it is good for the land to set fire, doing so year after year, often in an untimely and uncontrolled manner.

Figure 3 records the evolution of areas burned in the cerrado to give way to agricultural practices in some municipalities in the Triângulo Mineiro. The municipalities of Uberlândia and Uberaba are the ones that burned their areas the most, which is explained by their leading position in the region's agricultural production.

In 1985, both municipalities burned more than 28 thousand hectares of cerrado, following protocols and developmental policies from the public authorities for the occupation of interior lands in Brazil in the 1970s and 1980s. In a change of direction and return to the past, Brazil, in the last four years (2019 to 2022), completely changed its environmental policy, even celebrating the “fire day” in 2019, where farmers, encouraged by the high authorities of the country at the time, set fire to the rural areas of the cerrado and amazon, which will surely go down in the annals of history. As a reflection of this environmental policy, the year 2020, compared to 2015, saw an increase in fires, especially in Uberlândia, Uberaba, and Ituiutaba.

Even though it is a resilient biome with physiognomic characteristics adapted to fire, much is lost to the fires that affect the cerrado. There is a loss of native species that cannot regenerate, as well as local fauna, in addition to the exposure of the soil to the elements, which volatilizes its organic matter, contributing to the increase in CO₂ emissions into the atmosphere and, consequently, reduces microorganisms that use organic matter as an energy source. Concerning the sustainability of water resources, it stands out not only due to the large amount of water used by sugarcane plants and crops, as well as other irrigated crops in the cerrado, such as soybeans (Table 4), but also due to the ever-present risk of releases (or leaks) of untreated effluents into rivers.

Table 4 – The annual irrigated area at Brazilian cerrado in the Minas Gerais State for the period 1985-2021

Cover	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
	-----ha-----								
Citrus	-	9	0	74	892	1.188	1.783	2.070	2.178
Coffee	56	43	134	1.698	6.043	9.548	18.443	18.554	19.481
Other perennial crops	2.560	1.216	1.859	4.117	4.373	6.813	11.346	11.391	12.286
Soybeans	43	24.285	55.031	99.603	153.511	172.677	259.721	355.201	386.399
Sugar cane	317	238	179	48	216	9.195	17.773	22.311	24.058
Other temporary crops	18.044	36.799	44.723	44.848	57.083	73.860	73.960	66.271	80.455

Source: adapted from Mapbiomas (2022)

According to data from MapBiomas, the coverage of water resources in the cerrado has decreased by 5% since 1985, as already discussed, due to severe droughts caused by climate change and the advance of irrigated crops. Even though the water surface gained around 11% in 2022, the biome continued to dry over the last 30 years. Thus, part of the loss of water surface in the cerrado is due to the increasing expansion of modern agriculture, which uses irrigation techniques that lead to intense waste of water in agriculture, which is mainly responsible for water consumption in recent years (ANA, 2005; Lima; Lima, 2007, p. 10; Melo; Silva, 2007).

3.3.2. Soil organic carbon at Brazilian cerrado

Globally, soil contains almost twice as much C as the atmosphere, plants, and animals combined, thus representing approximately 2500 Gt (soil), 800 Gt (atmosphere), and 560 Gt (plants and animals) (IPCC, 2019). From this amount of C in the soil, 1550 Gt is organic, and 950 Gt is inorganic (containing materials such as calcite, dolomite, and gypsum) (Ontl; Schulte, 2012). Organic carbon is much more dynamic and subject to changes in its quantity in a short time. Specifically for tropical savanna areas, the IPCC (2019) estimates a stock of 117t ha⁻¹ of carbon in C in soils at the expense of 29t ha⁻¹ of C in biomass, while for the cerrado in Brazil, MapBiomas (2023) projects a reserve of 41t ha⁻¹ of organic C in soils for a layer 0-30 cm deep.

Organic carbon is a vital soil component for the functionality of terrestrial ecosystems, with human activities in the last 150 years being a crucial factor in losses of organic C in the

soil, especially in activities involving the replacement of native covers with pastures and crops (Ontl; Schulte, 2012; Sanderman *et al.*, 2017), with notable effects on food security and climate change (Lal, 2020).

In Brazil, the largest changes in the C cycle in the soil and its consequent losses were identified in the cerrado (Oliveira *et al.*, 2023), also considered one of the 25 hotspots on the planet (Myers *et al.*, 2000). According to Guo and Gifford (2002), Ramankutty *et al.* (2002), Don *et al.* (2011), and Bonanomi *et al.* (2019), most changes in land use related to the replacement of natural vegetation for the expansion of modern agriculture in recent decades are usually followed by losses of C in the soil, principally when crop management substantially reduces the increase in biomass in the soil or increases the decomposition of organic carbon.

According to Karp *et al.* (2015) and Hunke *et al.* (2015), the principal factor in deforestation in tropical regions is the conversion of native vegetation to agricultural environments, and in a relatively short time, with significant changes in the physical and biogeochemical properties of cerrado soils. Such changes occur through a reduction in the input of organic matter that reaches the soil and, consequently, its incorporation (Ashagrie *et al.*, 2007; Matias *et al.*, 2009; Siqueira-Neto *et al.*, 2010; Don *et al.*, 2011; Corbeels *et al.*, 2016).

In the cerrado, Oliveira *et al.* (2023) calculated soil C stocks for a depth of 0-10 cm, with average results obtained from $37.5 \pm 23.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ in areas with native vegetation to $18.5 \pm 10.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ in areas under deforestation. According to the authors, pastures, and crops (in the crop-livestock-forest system) showed a similar soil C stock at this depth, with values approximately 22% lower than those observed for native vegetation. For soil layers of 0-30 cm and 0-50 cm, C stocks in areas under native vegetation were estimated on average at 60.7 ± 26.6 and $86.9 \pm 45.1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectively. At a depth of 0-1 m, areas of native vegetation maintain the largest reserves of C in cerrado soils, with an average of $128.8 \pm 55.0 \text{ Mg ha}^{-1}$, equivalent to 24 Gt of C. As pointed out, annual crops under the crop-livestock-forest system can potentially accumulate C in the soil and partially reverse C losses after the conversion of native vegetation (Oliveira *et al.*, 2023).

Table 5 demonstrates that studies in different areas of the cerrado indicate that it is among the biomes that lost the most C, from 2002 to 2023, the focus of modern agriculture in Brazil. In this sense, the results indicate that the highest carbon losses occurred in the 0 - 20cm depth layer of soil and were caused by different land uses, including conventional agriculture and extensive livestock farming.

Table 5 – Studies regarding organic carbon losses in soils at cerrado from the turning of native vegetation by grazing and cropping lands

Authors	Study area	Estimative of organic carbon losses in the soil after replacement of native cerrado	Note
*Guo e Gifford (2002)	Tropical, subtropical, and temperate areas in the world	42%	Based on analyses of revised metadata from 74 papers, the authors indicated that soil carbon stock declines whenever there is a change in land use, with maximum losses when pastures and native forests are replaced by crops.
*Murty <i>et al.</i> (2002)	Tropical, subtropical, and temperate areas in the world	30%	The authors showed that the replacement of native forests by crops leads to a loss of soil carbon.
Araújo <i>et al.</i> (2007)	Fazenda Água Limpa-DF	10%	They studied the losses of soil organic matter, in g kg^{-1} , at 0-30cm depth in a Red-Yellow Oxisol after conversion of native C cerrado vegetation by conventional planting.
Siqueira-Neto <i>et al.</i> (2010)	Rio Verde-GO Montividiu-GO Santa Helena de Goiás-GO	1.5 kg m^{-2}	The authors analyzed carbon losses at cerrado Oxisols ten years after the replacement by agricultural systems. They also evaluated the effectiveness of the no-tillage system in improving carbon stock in soils.
Rosolen <i>et al.</i> (2012)	Triângulo Mineiro	0.9%	The authors analyzed carbon losses in Oxisols with clayey to sandy texture at 0-30cm depth after replacing native vegetation with conventional planting and pasture.
Mendes <i>et al.</i> (2021)	Maranhão State	1.57 Mt	The carbon losses were analyzed in soils in the State of Maranhão, Brazil, until 2010, at 0-30cm depth, due to the replacement of native cover by agriculture. The biome areas studied were amazon (35%), caatinga (1%), and cerrado/savanna (64%).
Gmach <i>et al.</i> (2018)	Uruçuí-PI	Up to 45%	The authors studied the losses and differences in soil carbon stocks at 0-40cm depth in crops with the no-tillage system, pasture, and forest plantation, (eucalyptus).
Horák-Terra <i>et al.</i> (2022)	Bonfinópolis-MG	22%	They studied soil carbon losses at 0-20cm depth in an anthropized/drained vereda (hydromorphic savanna). The soils sampled were Organosol and Gleisol.
Oliveira <i>et al.</i> (2023)	Some areas of cerrado	22%	The research reviewed 87 papers and 1156 data about C stock, which analyzed C losses/recovery at soils of cerrado for the four main soil management systems used in the biome.
Ribeiro <i>et al.</i> (2023)	Francisco Sá-MG Curvelo-MG	33 Mg ha^{-1} 54 Mg ha^{-1}	Utilizing the Century model, they studied the soil carbon stock losses at 0-20cm depth due to the replacement of the native vegetation, with a

projection for the next 100 years. The soil analyzed from Francisco Sá was an Inceptisol and from Curvelo, a Red Oxisol.

*Study in different areas of native vegetation around the world.

Unoptimistic projections reveal a disturbing future for the biome if there is no change in its occupation in the coming years. It is estimated that a large part of the soils in the cerrado will be degraded and with low quantity and quality of organic matter due to the almost complete replacement of native cover, especially in the states of Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, and Mato Grosso do Sul. In addition to the damage to the soil, there is also climate change caused by the intense release of carbon into the atmosphere, which occurs with the conversion of native vegetation areas into agriculture - factors identified as the principal causes of greenhouse gas emissions by the agricultural sector (Carvalho *et al.*, 2014; Fujisaki *et al.*, 2015; Durigan *et al.*, 2017; Cerri *et al.*, 2018).

According to Table 6, compiled from data from MapBiomias (2023), carbon stocks in Brazil and some municipalities in the Triângulo Mineiro analyzed, considering the 0-30 cm deep layer, had a slight increase in these stocks over the years. This fact, in a first analysis, contradicts what has been found in the literature regarding the organic carbon reserve of cerrado soils since the replacement of the biome's native cover by crops and pastures has caused a drop in the organic matter, especially in the 0-20 cm deep layer.

Table 6 – The annual soil organic carbon pool at some Brazilian cerrado municipalities in the Triângulo Mineiro region, considering 0 -30 cm depth, for the period 1985-2021

Country and municipality	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
	-----Gt*-----								
Brazil (all cerrado)	7.94	7.96	7.95	7.96	7.98	8.08	8.17	8.15	8.13
	-----Mt**-----								
Araguari	14.37	14.64	14.65	14.71	14.74	14.84	15.03	14.97	14.94
Campina Verde	11.25	11.41	11.45	11.26	11.51	11.69	12.02	11.83	11.73
Frutal	8.14	8.37	8.34	8.23	8.34	8.47	8.65	8.56	8.52
Ituiutaba	8.36	8.42	8.44	8.36	8.47	8.63	8.77	8.74	8.66

Monte Alegre de Minas	11.16	11.31	11.26	11.20	11.32	11.54	11.60	11.59	11.53
Prata	16.70	17.11	17.00	16.79	17.07	17.37	17.70	17.61	17.49
Santa Vitória	8.23	8.31	8.29	8.21	8.37	8.58	8.80	8.65	8.59
Uberaba	27.42	27.69	27.66	27.69	27.96	28.19	28.30	28.12	28.08
Uberlândia	21.37	21.61	21.41	21.37	21.50	21.78	21.73	21.64	21.56

*Gt (gigaton); **Mt (megaton). Source: adapted from MapBiomass (2022).

However, the analysis of the MapBiomass (2023) database (the beta version) found that it was created with the inclusion of profile data collected by external users, who supplied it from the SoilData repository, creating a need to apply models to spatialize the results and define estimates of carbon stocks for other areas of the cerrado not covered by soil collections, some of which represent ample gaps in data.

Another point to consider is the collected areas. Several were already anthropically modified when monitoring began (1985) until 2021— or even the expansion of these anthropic areas in the biome. In other words, the same agricultural area that had soil collected in 2021 was probably also an agricultural area in 1985, therefore not characterizing an area that had the replacement of native vegetation cover (in 1985) by crops and pastures (in 2021), generating data more similar over the years, with a slight increase in 2021, perhaps due to some improvement in the soil management system (use of direct planting, for example). However, regardless of these reflections, it is an important material, easily accessible, and useful for complementary studies regarding organic matter stocks in cerrado soils.

Various studies point to strategies to mitigate organic carbon losses due to land use changes (Minasny *et al.*, 2017; Lal, 2019; Lorenz *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2019). New technologies and intelligent cultivation methods are currently widespread, such as the direct planting system, crop-livestock-forest integration, the recovery of degraded pastures, and the use of nanotechnologies such as metal-organic frameworks (MOFs), remineralizers, and bio-inputs. These strategies can be used to improve soil quality and the storage of CO in cerrado soils. Oliveira *et al.* (2023) point out that such practices are essential and have been widely adopted in areas of the biome. Gmach *et al.* (2018) highlighted that the recovery of pasture areas represents an important practice, with the best results in maintaining and storing CO in the soil.

While some of these response options have immediate impacts, others take decades to produce measurable results. Examples that provide multiple ecosystem services and functions

but take longer to show results include reforestation and restoration of high-carbon ecosystems, agroforestry, and restoration of degraded soils (IPCC, 2019).

According to the IPCC (2019), given the specific local nature of climate change impacts on food system components and the considerable variations in agroecosystems, adaptation and mitigation options and their barriers are related to the environmental and cultural context at regional and local levels. In this sense, increasing food productivity and dietary choices and reducing waste can also reduce the demand for the conversion of native vegetation to crops to promote the sustainability of soils, which function as major carbon sink on the planet, also acting as thermometers of climate change at a global level.

3.4. Conclusions

The cerrado, in general, has been replaced by large-scale agriculture in the last 35 years, and its areas have shrunk by 25% in this period (considering only the cerrado stricto sensu). The increase in pasture and agricultural areas in the Brazilian cerrado corresponds to 23% and 621%, respectively, in the period from 1985 to 2021, and the use and coverage of cerrado soils in the Triângulo Mineiro follow the same way as the rest of the country regarding the expansion of agriculture.

In the opposite direction of areas occupied by agriculture, livestock, and forest plantations, water bodies showed a reduction of 5% in the same period, and hydromorphic environments decreased by 3%, corroborating the premise that the Brazilian cerrado is drying out.

Most municipalities of the Triângulo Mineiro came from an occupation of the cerrado and transformation of its native cover by crops or pasture before the 1980s, which was consolidated during this period, maintaining high deforestation rates (in ha).

The loss of soil C (~22%) usually follows the extensive changes in land use related to the replacement of native cerrado vegetation for the expansion of modern agriculture in recent decades. In contrast, annual crops under the crop-livestock-forest system can potentially accumulate C in the soil and partially reverse C losses after converting native vegetation.

Results pointed out by Annual Mapping of Soil Organic Carbon Stock in Brazil, 2023 (Mapbiomas - beta version) had a slight increase in these stocks over the years. This fact contradicts what has been found in the literature regarding the organic carbon sink of cerrado

soils since the replacement of the biome's native cover by crops and pastures has caused a drop in the organic matter, especially into the 0-20 cm deep layer.

Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support of the Brazilian CAPES agency and the Postgraduate Program in Environmental Sciences of the Minas Gerais State University.

References

AB'SABER, A. N. **Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ed. Ateliê Editorial: São Paulo, p. 115-136, 2003.

ALENCAR, A.; SHIMBO, J. Z.; LENTI, F.; BALZANI MARQUES, C.; ZIMBRES, B.; ROSA, M.; ARRUDA, V.; CASTRO, I.; FERNANDES MÁRCICO RIBEIRO, J. P.; VARELA, V.; ALENCAR, I.; PIONTEKOWSKI, V.; RIBEIRO, V.; M. C. BUSTAMANTE, M.; EYJI SANO, E.; BARROSO, M. Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 924, p. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.3390/rs12060924>. Acesso em: 15 jun 2023.

ANA-Agência Nacional das Águas. ANA: **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil, Estudo Técnico**. 2005. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes#cadernos_de_recursos_hidricos. Acesso em: 14 jun 2023.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 31, p. 1099-1108, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cYKyvFQzN3YBTCHqtDd6JFr/?lang=pt>. Acesso em: 21 nov 2022.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil Tillage Research Journal**, [s. l.], v. 94, p. 101-108, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.005>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.005>. Acesso em: 25 mar 2023.

BALESTRO, M. V.; SAUER, S. A diversidade no rural, transição agroecológica e caminhos para a superação da Revolução Verde: introduzindo o debate. In: SAUER, S.; BALESTRO, M. V. Agroecologia: os desafios da transição agroecológica. **Revista Expressão Popular**, [s. l.], p. 7-16, 2009. <https://doi.org/10.14393/SN-v29n3-2017-8>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sn/a/TBHXkV4MshvP3Sd4K7tJ5mG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 fev 2023.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELLINGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, [s. l.], v. 58, p. 116-127, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>. Acesso em: 18 fev 2023.

BONANOMI, J.; TORTATO, F. R.; GOMES, R. S. R.; PENHA, J. M.; BUENO, A. S.; PERES, C. A. Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v.17, p. 26-31, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.12.002>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.12.002>. Acesso em: 25 fev 2023.

BRANDÃO, C. A. **Triângulo Capital Comercial, Geopolítica e Agroindústria, Belo Horizonte, MG**. 1989. Dissertação (Mestrado em Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 1989.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**, [s. l.], v. 65, p. 221-230, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00002-8). Disponível em: [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00002-8](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00002-8). Acesso em: 01 fev 2023.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 183, p. 167-75, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>. Acesso em: 29 jan 2023.

CASTILLO, R. Dinâmicas recentes do setor sucroenergético no Brasil: competitividade regional e expansão para o bioma cerrado. **Revista Geographia**, [s. l.], v. 17, n. 35, p. 95-119, 2015. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2015.v17i35.a13730>. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13730/8930>. Acesso em: 29 jan 2023.

CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; CHERUBIN, M. R.; FEIGL, B. J.; LAL, R. Reducing Amazon Deforestation through Agricultural Intensification in the Cerrado for Advancing Food Security and Mitigating Climate Change. **Sustainability J.**, [s. l.], v. 10, n. 989, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10040989>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.3390/su10040989>. Acesso em: 28 dez 2022.

CLEPS Jr, J. Concentração de poder no agronegócio e (des)territorialização: os impactos da expansão recente do capital sucroalcooleiro no Triângulo Mineiro. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 10, n. 31, p. 249-264, 2009. <https://doi.org/10.14393/RCG103116152>. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16152/9091>. Acesso em: 09 jan 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. CONAB: **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, safra 2022/23**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 26 fev 2023.

CORBEELS, M.; MARCHÃO, R.L.; SIQUEIRA-NETO, M.; FERREIRA, E.G., MADARI, B.E.; SCOPEL, E.; BRITO, O.R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 6, p. 1-8, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep21450>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1038/srep21450>. Acesso em: 03 mar 2023.

COSTA, L. M.; NACIF, P. G. S.; COSTA, O. V.; OLSZEWSKI, N. Manejo dos solos na região dos cerrados. In: ARAÚJO, Q. R., editor. **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ed.: Ilhéus, 2002. p. 201-218. Disponível em: http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/500_anos_uso_solo.pdf. Acesso em: 29 jan 2023.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 283, p. 206- 217, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1). Disponível em: [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1). Acesso em: 03 mar 2023.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. CPRM: Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. 2003. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21828>. Acesso em: 04 mar 2023.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados. **Revista Econ. Sociol. Rural**, Piracicaba, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000200002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/Prdytp4hgPnJpmX3SVycJFG/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 25 nov 2022.

CUNHA, T. R.; PREVITALI, F. S. Expansão do etanol e impactos socioambientais no Brasil do século XXI. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 8, n. 1, p. 1-20, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/18161>. Acesso em: 04 abr 2023.

DON, A., SCHUMACHER, J., FREIBAUER, A. Impact of Tropical Land-use Change on Soil Organic Carbon Stocks - A meta-analysis. **Global Change Biology**, [s. l.], v.17, p.1658-1670, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>. Acesso em: 19 abr 2023.

DURIGAN, M. R.; CHERUBIN, M. R.; CAMARGO, P. B.; FERREIRA, J. N.; BERENGUER, E.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; DIAS, C. T. S.; SIGNOR, D.; OLIVEIRA, R. C.; CERRI, C. E. P. Soil organic matter responses to anthropogenic forest disturbance and land use change in the eastern Brazilian Amazon. **Sustainability J.**, [s. l.], v.

9, n. 379, p. 1-16, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9030379>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.3390/su9030379>. Acesso em: 28 mai 2023.

FERREIRA, M. L. P. C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. **Revista de Direito Sanitário**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 18-45, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v15i3p18-45>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v15i3p18-45>. Acesso em: 22 abr 2023.

FUJISAKI, K.; PERRIN, A. S.; DESJARDINS, T.; BERNOUX, M.; BALBINO, L. C.; BROSSARD, M. From forest to cropland and pasture systems: A critical review of soil organic carbon stocks changes in Amazonia. **Global Change Biology J.**, [s. l.], v. 21, p. 2773-2786, 2015. <https://doi.org/10.1111/gcb.12906>. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138355/1/Balbino-From-forest.pdf>. Acesso em: 25 abr 2023.

GMACH, M. R.; DIAS, B.; SILVA, C.; NÓBREGA, J.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma**, [s. l.], v. 14, p. 1-8, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00178>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00178>. Acesso em: 24 abr 2023.

GOEDERT, W. J. Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 1-17, 1989. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/13716/7776>. Acesso em: 22 abr 2023.

GÓES, T.; MARRA, R.; SILVA, G. S. E. Setor sucroalcooleiro no Brasil: Situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 39-51, 2008. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/407/358>. Acesso em: 22 mar 2023.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks, and land use change: a meta-analysis. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 8, p. 345-360, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>. Acesso em: 02 jun 2023.

HOFFMANN, W. A.; MOREIRA, A. G. The role of fire in population dynamics of woody plants. **The Cerrados of Brazil**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 159-177, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265182484_The_Role_of_Fire_in_Population_Dynamics_of_Woody_Plants. Acesso em: 24 mar 2023.

HORÁK-TERRA, I.; TERRA, F. S.; LOPES, A. K. A.; DOBBSS, L. B.; FONTANA, A.; SILVA, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Soil characterization and drainage effects in a savanna palm swamp (vereda) of an agricultural area from Central Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 46, p. 1-28, 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210065>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/jGbMVrhLbbVfstDMLsCpDts/abstract/?lang=en>. Acesso em: 18 abr 2023.

HUNKE, P.; ROLLER, R.; ZEILHOFER, P.; SCHRÖDER, B.; MUELLER, E. N. Soil Changes Under Different Land-uses in the Cerrado of Mato Grosso. **Brazil. Geoderma Regional J.**, [s. l.], v. 4 p. 31-43, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.12.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009414000431>. Acesso em: 05 mar 2023.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. INMET: **Gráficos Climatológicos**. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/graficos-climatologicos>. Acesso em: 30 nov 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE: **Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 11 nov 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE: **Limite do Bioma Cerrado**. 2022. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 11 nov 2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: **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**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-6/>. Acesso em: 12 nov 2023.

KARP, D. S.; TALLIS, H.; SACHSE, R.; HALPERN, B.; THONICKE, K.; CRAMER, W.; MOONEY, H.; POLASKY, S.; TIETJEN, B.; WAHA, K.; WALZ, A.; WOLNY, S. National Indicators for Observing Ecosystem Service Change. **Global Environmental Change J.**, [s. l.], v. 35, p. 12-21, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.07.014>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.07.014>. Acesso em: 24 nov 2022.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Revista Conservação Internacional**, Belo Horizonte, v.1, n. 1, p.147-155, 2005. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17973/material/Cerrado_conservacao.pdf. Acesso em: 17 nov 2022.

LAL, R. Promoting “4 Per Thousand” and “Adapting African Agriculture” by south-south cooperation: Conservation agriculture and sustainable intensification. **Soil and Tillage Research J.**, [s. l.], v. 188, p. 27-34, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.015>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.015>. Acesso em: 21 nov 2023.

LAL, R. Food security impacts of the “4 per Thousand” initiative. **Geoderma**, [s. l.], v. 374, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114427>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1016/j.geoderma.2020.114427>. Acesso em: 26 nov 2022.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Ed. Universidade Federal do Paraná: Curitiba, p. 10, 2007.

LORENZ, K.; LAL, R.; EHLERS, K. Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to United Nations' Sustainable Development Goals.

Land Degradation and Development J., [s. l.], v. 30, n. 7 p. 824-838, 2019.

<https://doi.org/10.1002/ldr.3270>. Disponível em:

https://catalogue.unccd.int/394_Article_Lorenz_et_al-2019-Land_Degradation_&_Development.pdf. Acesso em: 20 nov 2023.

MAPBIOMAS – Plataforma MapBiomias. MapBiomias: **Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2022. Disponível em:

<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 23 nov 2023.

MAPBIOMAS – Plataforma MapBiomias. MapBiomias: **Mapeamento Anual do Estoque de Carbono Orgânico do Solo no Brasil 1985- 2021**. 2023. Disponível em:

https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/08/MapBiomias_Solo_JUNHO_2023_21.06_OK_Alta__1_.pdf.

Acesso em: 23 nov 2023.

MAPBIOMAS – Plataforma MapBiomias. MapBiomias: **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2019**. 2020. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/04/29/relatorio-anual-do-desmatamento-rad-no-brasil-2023-sera-lancado-28-de-maio/>. Acesso em: 23 nov 2023.

MATIAS, M. D. C. B.; SALVIANO, A. A. C.; CARVALHO LEITE, L. F.; ARAÚJO, A. S. F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no cerrado do estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.687>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asagr/a/rvnxH6dJW6vhWtV6LXNzQFn/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 28 nov 2023.

MENDES, T. J.; SIQUEIRA, D. S.; FIGUEIREDO, E. B.; BORDONAL, R. O.; MOITINHO, M. R.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JR, N. Soil carbon stock estimations: methods and a case study of the Maranhão State, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 23, p. 16410–16427, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01351-x>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s10668-021-01351-x>.

Acesso em: 02 jan 2024.

MINASNY, B.; MALONE, B. P.; McBRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z.S.; CHENG, K.; DAS, B.S.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C. B.; HONG, S. Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B. P.; MARTIN, M.; McCONKEY, B. G.; MULDER, V. L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C. C.; VÅGEN, T. G.; van WESEMAEL, B.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, [s. l.], v. 292, p. 59-86, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>. Acesso em: 27 nov 2022.

MOREIRA, A. G. Effects of Fire Protection on Savanna Structure in Central Brazil. **Journal of Biogeography**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 1021-1029, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1365->

2699.2000.00422.x. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2656297>. Acesso em: 30 nov 2023.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; MCMURTRIE, R. E.; MCGILVRAY, H. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 105-123, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2001.00459.x>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1046/j.1354-1013.2001.00459.x>. Acesso em: 25 nov 2023.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. **Nature**, [s. l.], v. 403, p. 853-858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1038/35002501>. Acesso em: 29 nov 2022.

OLIVEIRA, D. M. S.; TAVARES, R. L. M.; LOSS, A.; MADARI, B. E.; CERRI, C. E. P.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, M. G.; CHERUBIN, M. R. Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 47, p. 1-20, 2023. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220055>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/FrDgwwB3bcmtYvZCNWFvxTm/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 30 nov 2023.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; DAVIDSON, E. A.; MOREIRA, A. G. Deep Root Function in Soil Water dynamics in Cerrado Savannas of central Brazil. **Functional Ecology J.**, [s. l.], v. 19, p. 574-581, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.01003.x>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2435.2005.01003.x>. Acesso em: 30 abr 2023.

ONTL, T. A.; SCHULTE, L. A. Soil carbon storage. **Nature Educ. Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 35, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313189912_Soil_carbon_storage. Acesso em: 20 nov 2023.

PEREIRA, M. F. V. Os agentes do agronegócio e o uso do território no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: Da moderna agricultura de grãos à expansão recente da cana-de-açúcar. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 23, p. 83-104, 2012.

PEREIRA, M. F. V. As “cidades da cana” no Triângulo Mineiro: Para uma discussão das implicações territoriais do agronegócio e de seus nexos urbanos. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 16, n. 1, p. 185-203, 2022. Disponível em: https://www.academia.edu/32771177/AS_CIDADES_DA_CANA_NO_TRI%C3%82NGULO_MINEIRO_BRASIL_PARA_UMA_DISCUSS%C3%83O_DAS_IMPLICA%C3%87%C3%95ES_TERRITORIAIS_DO_AGRONEG%C3%93CIO_E_DE_SEUS_NEXOS_URBANO. Acesso em: 21 nov 2023.

PEREIRA, T. T. C.; ALMEIDA, I. C. C.; OLIVEIRA, F. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PINHEIRO, L. S.; MATUK, F. A. Hydopedology of a High Tableland with Cerrado,

Brazilian Central Plateau: the Frutal Catchment Case Study. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 42, p. 1-16, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160523>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbc/a/6F6sVQFF4xfTFWxrJ5fF96M/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 01 dez 2022.

PEREIRA, T. T. C.; FIGUEIREDO, L. P. S. Veredas do Triângulo Mineiro: estudos de solos e significância socioambiental. **Rev. Geo. Acadêmica**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 138-152, 2018.

Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/5282/pdf>. Acesso em: 23 nov 2022.

PERES; G.; PREVITALI, F. S. ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACTS OF THE SUGAR-ALCOHOLE AGRIBUSINESS IN THE TRIÂNGULO MINEIRO REGION, MINAS GERAIS, BRAZIL SINCE 2000. **Germinal: marxismo e educação em debate**, Salvador, v. 13, n. 2, p. 294-315, 2021. <https://doi.org/10.9771/gmed.v13i2.45038>. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistagerminal/article/view/45038/25211>. Acesso em: 19 mai 2023.

PESSÔA, V. L. S. **Ação do Estado e as Transformações Agrárias no Cerrado das Zonas de Paracatu e Alto Paranaíba - MG, Rio Claro, SP**. 1988. 238 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo – SP. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-uberlandia/geografia-do-brasil-centro-sul/acao-do-estado-e-as-transformacoes-agrarias-no-cerrado-das-zonas-de/4546316>. Acesso em: 22 mai 2023.

RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A.; OLEJNICZACK, N. J. Peoples on the land: Changes in global population and croplands during the 20th century. **A Journal of the Human Environment**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 251-257, 2002. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-31.3.251>.

Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1579/0044-7447-31.3.251>.

Acesso em: 28 mai 2023.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma cerrado: aspectos pedológicos. Ed. EMBRAPA Cerrados: Campinas, p. 47-86, 1998.

RESENDE, M. **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ed.: Ilhéus, 2002. p. 201-218. Disponível em: http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/500_anos_uso_solo.pdf. Acesso em: 29 jan 2023.

RIBEIRO, J. M.; FREITAS, I. G.; BRITO, B. G. S.; FERNANDES, L. A.; LEITE, L. F. C.; BARBOSA, D. L. A.; SANTOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FRAZÃO, L. A. Agrosilvopastoral system as a potential model for increasing soil carbon stocks: a century model approach. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 47, p. 1-21, 2023.

<https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220136>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbc/a/KxSGXjv4G33NxnZSbZgKrLq/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 jan 2023.

ROSOLEN, V.; RESENDE, T. M.; BORGES, E. N.; FRARE, C. T.; MACHADO, H. A.

Impactos da substituição da vegetação original do Cerrado brasileiro em sistemas agrícolas:

alteração do carbono orgânico do solo e $\delta^{13}\text{C}$. **Investigaciones geográficas**, [s. l], v. 79, p. 39-47, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n79/n79a4.pdf>. Acesso em: 06 jan 2023.

SANDERMAN, J.; HENGL, T.; FISKE, G. J. Soil carbon debt of 12000 years of human land use. **Proc Natl Acad Sci.**, [s. l], v. 114, p. 1-6, 2017. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1073/pnas.1706103114>. Acesso em: 04 fev 2023.

SIQUEIRA-NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A. N.; DOUZET, J. M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, [s. l], v. 110, n. 1, p. 187-195, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198710001352>. Acesso em: 25 jun 2023.

SOUZA Jr., C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A.; RUDOR, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sens.**, [s. l], v. 12, n. 2735, p. 1-27, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.3390/rs12172735>. Acesso em: 05 set 2023.

SOUZA, L. C. E. **O agronegócio da pecuária no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: relações de poder e políticas públicas de 1990 a 2010**. Rio de Janeiro, RJ. Orientador: Sérgio Pereira Leite. 2013.104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) - Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ. 2013. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/3248>. Acesso em: 04 ago 2023.

YANG, Y.; TILMAN, D.; FUREY, G.; LEHMAN, C. Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. **Nature Communications J.**, [s. l], v.10, p.718, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08636-w>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-08636-w>. Acesso em: 10 out 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A plataforma Mapbiomas tem desempenhado um papel fundamental no fornecimento de dados abertos cruciais sobre o uso da terra no cerrado, um dos biomas mais ameaçados pela expansão da agropecuária. Desde a década de 1950, o cerrado tem sido intensamente desmatado devido à modernização da agricultura e aos projetos de integração nacional, resultando em um aumento significativo da área ocupada pela agropecuária, que saltou de 62 milhões de hectares em 1985 para 90 milhões de hectares em 2021.

Essa rápida conversão da vegetação original em sistemas agrícolas tem levado a uma perda significativa de áreas de vegetação remanescente, com apenas 53% das áreas preservadas. Além disso, apenas 5% da área total do cerrado está protegida por políticas de conservação. A conversão para sistemas de cultivo pouco sustentáveis, como a monocultura em larga escala, tem resultado em rápida perda de matéria orgânica e aumento das emissões de CO₂, posicionando o cerrado como o segundo bioma brasileiro com maiores índices de emissões líquidas de CO₂, atrás apenas da Amazônia.

A maior concentração de degradação do cerrado é observada em regiões como o Triângulo Mineiro, que, apesar de ser uma importante área produtora de grãos e biocombustíveis, enfrenta altas taxas de desmatamento. Nos últimos 35 anos, o cerrado perdeu 25% de suas áreas, com um aumento de 23% em áreas de pastagem e um aumento de 621% em áreas agrícolas. Enquanto as áreas ocupadas por atividades agrícolas e pecuárias aumentaram, os corpos hídricos e ambientes hidromórficos têm diminuído, indicando uma tendência de que o cerrado está secando. Apesar das perdas de carbono no solo associadas à conversão da vegetação nativa, sistemas como a lavoura pecuária-floresta têm o potencial de acumular carbono no solo e, em parte, reverter essas perdas.

Em suma, os dados obtidos pela plataforma Mapbiomas e tratados nesta pesquisa destacam a urgência de ações efetivas de conservação e manejo sustentável no cerrado para garantir a preservação desse importante bioma e seus serviços ecossistêmicos. Para minimizar tais efeitos negativos, podemos destacar algumas alternativas, como investir em programas de reflorestamento e restauração de áreas degradadas no cerrado, disseminar a agricultura de conservação como a rotação de culturas, plantio direto, agroflorestas e a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que podem comprovadamente, reduzir a pressão sobre áreas de

vegetação nativa, minimizar o uso de agroquímicos e melhorar a saúde do solo, contribuindo para a captura e armazenamento de carbono.

Além disso, são práticas eficiente a implementação de políticas de zoneamento ecológico-econômico que identifiquem áreas prioritárias para conservação, produção sustentável desenvolvimento econômico capazes de direcionar o uso da terra de forma mais eficiente e de proteger áreas de alto valor ambiental. Também pode-se destacar o reforço do monitoramento e a fiscalização do desmatamento ilegal no cerrado, por meio de tecnologias de sensoriamento remoto e parcerias envolvendo entidades públicas e privadas.