



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTOQUE DE CARBONO E VALORAÇÃO ECONÔMICA NO
MUNICÍPIO DE LUZIÂNIA/GO**

Karyne Rodrigues Rosa

Brasília, 20 de fevereiro de 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



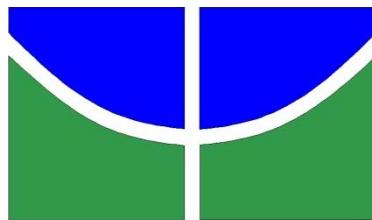
ESTOQUE DE CARBONO E VALORAÇÃO ECONÔMICA NO MUNICÍPIO DE LUZIÂNIA/GO

Karyne Rodrigues Rosa

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli
Matricardi

Brasília-DF, 20 de fevereiro de 2025



**Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Tecnologia – FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL**

ESTOQUE DE CARBONO E VALORAÇÃO ECONÔMICA NO MUNICÍPIO DE LUZIÂNIA/GO

Estudante: Karyne Rodrigues Rosa

Matrícula: 18/0124315

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar
Membro da Banca

Brasília-DF, 20 de fevereiro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

RR789ee Rosa, Karyne Rodrigues.
ESTOQUE DE CARBONO E VALORAÇÃO ECONÔMICA NO MUNICÍPIO DE
LUZIÂNIA/GO / Karyne Rodrigues Rosa;

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi. --
Brasília, 2025.
42 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia
Florestal) -- aqui Universidade de Brasília, 2025.

1. Estoque de Carbono. 2. Uso e Cobertura da Terra. 3.
Valoração Ambiental. I. Matricardi, Eraldo Aparecido
Trondoli, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSA, KARYNE RODRIGUES. (2025). **ESTOQUE DE CARBONO E VALORAÇÃO
ECONÔMICA NO MUNICÍPIO DE LUZIÂNIA/GO**. Trabalho de conclusão de curso,
Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 42 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Karyne Rodrigues Rosa

TÍTULO: *Estoque de Carbono e Valoração Econômica no Município de Luziânia/GO*.

GRAU: Engenheiro Florestal ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Karyne Rodrigues Rosa

karynerrosa@gmail.com

Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada.
Apenas dê o primeiro passo.

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre guiar meus passos e me abençoar mesmo sem eu merecer.

À minha família, pelo apoio incondicional, pela paciência diante da minha ausência e compreensão durante os momentos de estresse da vida acadêmica.

Ao meu noivo e futuro esposo, Rigson, por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis, oferecendo apoio, carinho e força quando mais precisei.

Aos colegas que conheci ao longo desses seis anos de graduação: alguns que foram companheiros passageiros de semestre, outros que já seguiram caminhos distintos, e aqueles que compartilharam comigo a alegria de alcançar a formação.

A mim mesma, por ter persistido, enfrentado desafios e superado as dificuldades, mesmo quando o desejo de desistir parecia maior.

Aos colegas de trabalho da Eletrobras Eletronorte, no qual que iniciei como estagiária em 2022, por proporcionarem um ambiente de aprendizado e por me ajudarem a entender melhor os processos ambientais, algo que contribuiu significativamente para minha formação.

Ao meu orientador, professor Dr. Eraldo Matricardi, pela ajuda e paciência. Saiba que o senhor é uma referência de profissional.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

ESTOQUE DE CARBONO E VALORAÇÃO ECONÔMICA NO MUNICÍPIO DE LUZIÂNIA/GO

No presente estudo, foi conduzida uma análise detalhada das mudanças no uso e na cobertura da terra e seus efeitos no estoque de carbono no município de Luziânia, localizado na região central do bioma Cerrado. Para a análise do uso e cobertura do solo, foram utilizados dados do MAPBIOMAS (coleção 8.0). A quantificação do estoque de carbono na biomassa acima e abaixo do solo, no carbono orgânico do solo e na matéria orgânica morta foi realizada com base nos dados do mapeamento *Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density*, da Embrapa Solos e em pesquisas na literatura. A modelagem espaço-temporal do estoque de carbono foi feita utilizando o software InVEST. A valoração do sequestro de carbono foi realizada por meio do módulo *Carbon Storage and Sequestration*, disponível no InVEST. Os resultados deste estudo indicam um aumento das áreas destinadas à agropecuária, com expansão dos plantios de soja, pastagens e silvicultura, além de uma redução acentuada das formações naturais. Como consequência da perda de vegetação nativa, houve uma diminuição no carbono armazenado nessas formações, passando de 19.931.601,53 Mg de C em 1985 para 17.482.718,43 Mg de C em 2022. Quanto à valoração econômica, os resultados apontam perdas significativas, com uma redução de 2.438.198,64 Mg de C, o que equivale a uma perda total de US\$ 17.745.102,47 no valor atual de mercado do carbono. Embora a rentabilidade dos plantios de soja seja significativamente superior ao valor econômico do carbono emitido, a redução da diversidade de serviços ecossistêmicos, incluindo o carbono, poderá impactar negativamente a produtividade agrícola a longo prazo, especialmente diante dos potenciais efeitos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Uso e Cobertura da Terra; Estoque de Carbono; Valoração Ambiental.

ABSTRACT

CARBON STOCK AND ECONOMIC VALUATION IN LUZIÂNIA MUNICIPALITY/GO

In the present study, a detailed analysis was conducted on land use and land cover changes and their effects on carbon stock in the municipality of Luziânia, located in the central region of the Cerrado biome. For the analysis of land use and land cover, data from MAPBIOMAS (collection 8.0) were used. The quantification of carbon stock in above- and below-ground biomass, soil organic carbon, and dead organic matter was carried out based on data from the *Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density mapping*, Embrapa Solos, and research from the literature. The spatiotemporal modeling of carbon stock was performed using the InVEST software. The valuation of carbon sequestration was conducted using the *Carbon Storage and Sequestration* module available in InVEST. The results of this study indicate an increase in areas allocated to agriculture and livestock, with an expansion of soybean plantations, pastures, and forestry, along with a significant reduction in natural formations. Because of native vegetation loss, there was a decrease in carbon stored in these formations, dropping from 19,931,601.53 Mg of C in 1985 to 17,482,718.43 Mg of C in 2022. Regarding economic valuation, the results indicate significant losses, with a reduction of 2,438,198.64 Mg of C, equivalent to a total loss of US\$ 17,745,102.47 at the current market value of carbon. Although the profitability of soybean plantations is significantly higher than the economic value of emitted carbon, the reduction in the diversity of ecosystem services, including carbon, may negatively impact agricultural productivity in the long term, especially considering the potential effects of climate change.

Keywords: Land Use and Cover; Carbon Stock; Environmental Valuation.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Problema e Questão de Pesquisa	13
2.	OBJETIVO	14
2.1.	Objetivo geral	14
2.2.	Objetivos específicos	14
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1.	Estoque de Carbono	14
3.2.	Uso e cobertura da Terra	15
3.3.	Mercado de Crédito de Carbono	16
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1.	Caracterização da área de estudo.....	17
4.2.	Base de dados	18
4.2.1.	Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas)	18
4.2.2.	<i>Google Earth Engine</i>	19
4.2.3.	Modelo inVEST (<i>Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs</i>)	20
4.3	Procedimentos metodológicos	21
4.3.1	<i>Toolkit – Mapbiomas (Coleção 8)</i>	21
4.3.2	Reservatórios de carbono (<i>Carbon Pools</i>)	22
4.3.3	Valoração do Sequestro de Carbono	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1	Avaliação temporal do uso e cobertura do solo	24
5.2	Análise do estoque de Carbono	27
5.3	Valoração Econômica.....	31
5.4	Comparação Econômica: Carbono e Soja.....	32
6.	CONCLUSÕES.....	32
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	33
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Luziânia na região Centro-Oeste brasileira.	18
Figura 2: Fluxograma do modelo <i>Carbon Storage and Sequestration</i> disponível no Software InVEST	21
Figura 3: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra para o município de Luziânia.....	24
Figura 4: Mudanças das classes de uso e cobertura da terra no período de estudo. Adaptado do Mapbiomas – Coleção 8.0 (2023).	26
Figura 5: Estoque de Carbono (Mg/ha) em 1985 (A) e em 2022 (B).....	28
Figura 6: Estoques de carbono nos diferentes anos e classes de uso e cobertura da terra.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativas do carbono armazenado por reservatório e classe de uso e ocupação do solo no município de Luziânia – GO	23
Tabela 2: Área ocupada pelas classes de uso e cobertura no município de Luziânia-GO	25
Tabela 3: Estoques de Carbono nos diferentes anos e uso e ocupação da terra (Mg de C).....	29
Tabela 4: Valor presente líquido em US\$ por classe de uso e cobertura da terra no município de Luziânia, Goiás	31

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é reconhecido como a Savana mais rica em biodiversidade do mundo, contando com uma variada gama de tipologias vegetais e uma flora extraordinariamente rica (IBGE, 2009; FELFILI et al., 1997). O bioma Cerrado destaca-se também como uma das maiores e últimas reservas de terra no mundo com capacidade imediata para sustentar a produção de grãos e a formação de pastagens.

Desde a década de 70, testemunhamos uma exploração intensiva, marcada pela conversão de vegetação nativa do Cerrado em atividades agropecuárias, como plantação de soja, milho, pecuária, agricultura e outros (MANTOVANI, 1998). Esse processo contínuo não apenas modifica a paisagem natural, mas desempenha um papel fundamental no aumento da concentração de carbono na atmosfera. O desmatamento e outras práticas associadas a essa transformação exercem uma influência significativa nas emissões de carbono (PAIVA et al., 2011).

Compreender de maneira aprofundada a dinâmica do carbono em ambientes florestais é crucial, principalmente no que diz respeito às variações nos estoques de carbono relacionadas às condições ambientais e às atividades humanas de manejo da terra, conforme destacado por KEITH et al. (2009). Segundo AREVALO et al. (2002), a remoção da vegetação por corte e queima, associada às intervenções no solo, promove a liberação de carbono tanto pela biomassa quanto pelo próprio solo. Esse processo altera o equilíbrio do carbono armazenado, intensifica a mineralização da matéria orgânica e libera o carbono retido nos poros do solo.

Reducir as alterações no uso do solo, estas que causam a perdas de carbono dos solos e da biomassa poderia contribuir economicamente para redução de gases com efeito estufa (KINDERMANN et al., 2008). Um estudo conduzido por SCHUMACHER et al. (2011) revelou alterações significativas nos estoques de carbono do solo subsuperficial em comparação com os horizontes superficiais, após a conversão de florestas nativas para sistemas agrícolas. Constatou-se que as florestas nativas retêm quantidades substanciais de carbono no subsolo, as quais são perdidas durante o processo de cultivo, apresentando uma diferença notável em comparação com as florestas secundárias.

Dada a vasta extensão do cerrado, a avaliação econômica do carbono florestal pode influenciar positivamente as decisões dos gestores, incentivando a adoção de práticas apropriadas para mitigar o desmatamento. Essa abordagem não apenas

favorece a conservação da biodiversidade, mas também propicia a geração de créditos de carbono, aspecto que pode despertar o interesse de agricultores focados em resultados financeiros (INÁCIO FILHO, 2022), pois o estoque de carbono no solo é uma das possibilidades para geração de créditos. (CIDIN, 2016 e BRITO et al., 2018).

No presente estudo, foi conduzida uma análise detalhada das mudanças do uso e cobertura da terra e seus efeitos no estoque de Carbono no município de Luziânia, localizado na região central do bioma Cerrado. Foi analisado ainda os impactos financeiros das alterações no estoque de Carbono nas diferentes classes de uso e cobertura da terra no município. Os resultados deste estudo são relevantes para os gestores públicos e privados no sentido de (re)orientar o manejo e conservação dos recursos naturais, possibilitando a busca de alternativas de pagamento por serviços ambientais na região de estudo.

1.1. Problema e Questão de Pesquisa

O desmatamento resulta em uma alteração drástica da paisagem com perda quase total dos estoques de Carbono da vegetação (FIORINI, 2012). O desmatamento desordenado não apenas compromete a biodiversidade, mas também desencadeia consequências ambientais de larga escala. Com a remoção das coberturas vegetais nativas, ocorre a liberação massiva de carbono armazenado no solo e na biomassa das plantas. Esse processo contribui substancialmente para a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, intensificando o problema das mudanças climáticas globais.

O município de Luziânia, localizado no bioma Cerrado, possui aproximadamente 40% de sua área territorial composta por paisagens naturais. Entretanto, a intensa expansão das atividades agropecuárias e a conversão de áreas naturais em pastagens e agricultura está ameaçando a conservação desses remanescentes naturais, incluindo o Carbono estocado nessas áreas. A busca de alternativas de renda via pagamento de serviços ambientais, como é o caso do Carbono, pode contribuir para a manutenção e recuperação dessas áreas e seus benefícios socioambientais.

Com base no exposto, este estudo foi embasado nas seguintes questões de pesquisa:

- Qual foi a dinâmica do uso e cobertura da terra na região de Luziânia/GO no período entre 1985 e 2022?
- Qual o efeito das mudanças de uso e cobertura sobre o estoque de carbono na área e período de estudo?
- Quais os impactos financeiros das mudanças no uso e cobertura no estoque de Carbono na área e período de estudo?

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

No presente trabalho, buscou-se entender os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra sobre as variações da quantidade de biomassa e carbono no município de Luziânia, estado de Goiás, entre 1985 e 2022, avaliando os impactos financeiros destas alterações.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar as alterações nas classes de uso e cobertura da terra na área de estudo entre 1985 e 2022;
- Avaliar os impactos das alterações do uso e cobertura sobre o estoque de carbono no município;
- Estimar o valor do Carbono alterado na área e período de estudo usando modelos disponíveis do sistema InVest.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Estoque de Carbono

O estoque de carbono na vegetação se dá pela absorção e fixação do dióxido de carbono da atmosfera pela biomassa, através da fotossíntese. Em seguida, uma porção da biomassa é armazenada como matéria orgânica como folhas, galhos e raízes, tanto acima quanto abaixo do solo (COSTA, 2015).

O armazenamento de carbono nos solos é o equilíbrio entre a entrada de material vegetal morto (folhas, serapilheira e resíduos em decomposição) e perdas por decomposição e mineralização de matéria orgânica (PETROKOF SKY et al., 2012).

As alterações na paisagem causam efeitos sobre os estoques de carbono (COSTA, 2015). As mudanças no uso da terra estão intimamente ligadas à dinâmica da matéria orgânica e ao ciclo biogeoquímico dos elementos, provocando alterações na capacidade produtiva desses ambientes (BROWN et al., 1994; COSTA, 2015; FRANÇA, 2023). O desmatamento influencia no teor de carbono orgânico no solo, o que influencia a qualidade e a quantidade da biomassa vegetal que é integrada ao solo (LAL, 1996).

A biomassa pode ser caracterizada como massa da matéria orgânica viva ou morta (SILVA, 2007; FAO, 2009). Estudar a biomassa em ecossistemas é essencial para avaliar a capacidade de armazenamento e emissão de carbono na atmosfera, especialmente diante de mudanças na vegetação e no uso do solo, considerando as diferentes características de biomassa e padrões de distribuição em diversas tipologias vegetais (ROQUETTE, 2018). Segundo o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) (2006), a biomassa deve ser estimada, separadamente, considerando os seguintes componentes: (1) biomassa acima do nível do solo, que inclui toda a biomassa viva, tanto elementos lenhosos como herbáceos acima do solo, incluindo caules, troncos, galhos, cascas, sementes e folhas; (2) a biomassa abaixo do solo, que é toda biomassa de raízes vivas (3) biomassa de matéria morta ou necromassa, que são todos os materiais vegetais mortos não contidos na serapilheira, sejam em pé, no chão ou no solo (4) solo (MO do solo), que inclui todo o carbono orgânico do solo em solos minerais, dado uma certa profundidade definida de acordo com o país (SIL, 2014).

3.2. Uso e cobertura da Terra

As transformações no uso e cobertura do solo são fundamentais para entender a dinâmica da vegetação ao longo do tempo (FRANÇA, 2023). Dados sobre a cobertura do solo são informações acessíveis que permitem visualizar e identificar os elementos apresentados, além de possibilitar a síntese por meio de mapas. Atualmente há várias formas de analisar a ocupação da terra através de ferramentas

de geoprocessamento que permite a detecção e distinção a diferentes formas de utilização do espaço e as mudanças que estão acontecendo (OLIVEIRA, 2018).

Desde o início da década de 1980, os ecossistemas terrestres têm sido identificados como fontes e sumidouros de carbono, destacando assim o impacto das mudanças no uso e cobertura do solo no clima global por meio do ciclo do carbono. (LAMBIN et al., 2003). A mudança no uso do solo afeta diretamente a cobertura vegetal, alterando os estoques de carbono no solo. A conversão de áreas naturais em pastagens ou cultivos agrícolas pode levar à diminuição significativa do carbono orgânico do solo, contribuindo para o aumento das emissões de gases de efeito estufa. (PRIMIERI et al., 2008)

Levantar e monitorar o uso e ocupação do solo é aplicado não apenas para avaliar alterações na paisagem como auxiliar em estudos da qualidade do solo, recursos hídricos e até sobre a emissão de gases de efeito estufa (GEE), além de permitir análises sobre o crescimento econômico e social sustentável. (MORAES, 2020).

3.3. Mercado de Crédito de Carbono

O mercado de créditos de Carbono surgiu como uma estratégia para mitigação das mudanças climáticas, incentivando a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio da precificação do Carbono (CARVALHO, 2019; VITAL et al., 2018; DIAS et al., 2020). Esse sistema foi formalizado com o protocolo de Quioto (1997), no qual foi estabelecido metas obrigatórias para países desenvolvidos e introduziu instrumentos como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e o Comércio Internacional de Emissões (UNFCCC, 1997). Posteriormente, o Acordo de Paris (2015) ampliou a participação, permitindo que todos os países estabelecessem suas próprias metas de redução e desenvolvessem mercados nacionais e regionais de carbono (STAVINS et al., 2021; LIMA, 2023).

O principal objetivo do mercado de crédito de carbono é atribuir um valor econômico ao carbono, incentivando empresas e governos a reduzirem suas emissões de forma eficiente. O sistema opera por meio de créditos gerados por projetos que capturam ou evitam emissões de GEE, como reflorestamento, energias renováveis e eficiência energética (ELLERMAN & BUCHNER, 2007). Empresas que emitem mais do que suas cotas podem comprar créditos de outras que reduziram

além do necessário, promovendo uma redistribuição eficiente dos custos ambientais (STERN, 2007).

No Brasil, a Lei nº 15.042/2024 de 11 de dezembro de 2024, foi sancionada para estabelecer o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), no qual regulariza o mercado de Carbono no país. (BRASIL, 2024). A legislação permite que as três esferas do governo atuem na gestão do sistema, o que se torna vantajoso tanto no mercado financeiro quanto no mercado de capitais. Além disso, a lei nº 15.042/2024 permite a criação de um ambiente juridicamente estruturado para a negociação de créditos de Carbono, o que beneficiará diretamente produtores e empresas que adotem práticas sustentáveis. (BRASIL. Ministério da Fazenda, 2024).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O município de Luziânia está situado a aproximadamente 60 km de Brasília (PMSB, 2022), abrange uma extensão territorial de 3.962,107 km², com 77,5 km² ocupados por áreas urbanas (IBGE, 2022).

O clima em Luziânia é classificado como tropical seco de altitude, caracterizado por uma variação média de temperatura entre 18,4 °C e 22,2 °C, além de uma precipitação acumulada anual média de 1.515 mm. Ao longo do ano, prevalece um clima morno, com temperaturas variando geralmente de 13 °C a 30 °C. Em relação à altitude, o território apresenta altitudes variando entre 720 m e 1.080 m, com uma média de 948 m, caracterizando-se por uma topografia aplainada que acompanha o perfil típico da região do Distrito Federal (PMSB, 2022).

Luziânia está inserida no bioma Cerrado, sendo que sua vegetação é predominantemente composta por diferentes fitofisionomias, incluindo cerradão, cerrado sentido restrito, campo cerrado, mata de galeria e mata ciliar. A área registra a presença de diversas classes de solo, como Cambissolo háplico alumínico, cambissolo fico, latossolo vermelho ácrico, latossolo vermelho distrófico, latossolo vermelho-amarelo distrófico e plintossolo pétrico concrecionário (PMSB, 2022).

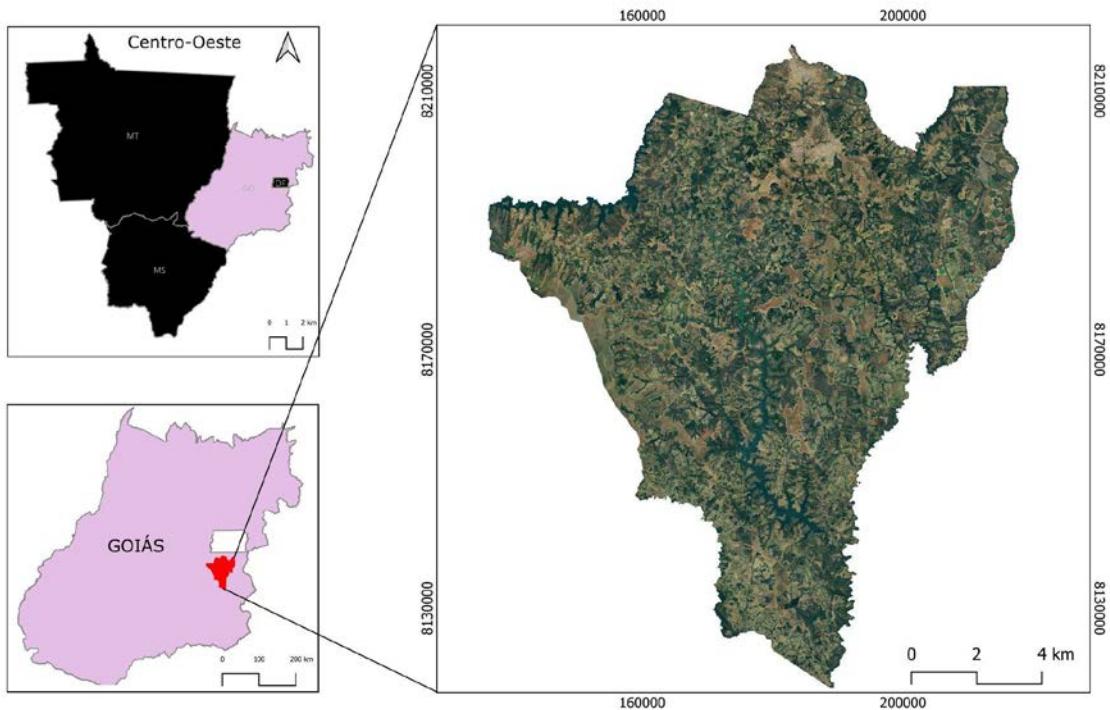


Figura 1: Localização do município de Luziânia na região Centro-Oeste brasileira.

4.2. Base de dados

4.2.1. Projeto de Mapeamento Anual de Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas)

No Brasil, a iniciativa MapBiomas foi lançada com o propósito de realizar um mapeamento sistemático e eficiente do uso e cobertura da terra em escala nacional. O objetivo principal é gerar mapas anuais abrangentes do uso e cobertura da terra em todo o território brasileiro de maneira substancialmente mais acessível, rápida e atualizada se comparada aos métodos e práticas convencionais. Além disso, busca-se a capacidade de reconstituir o histórico desses dados ao longo das últimas décadas (MAPBIOMAS, 2022).

Lançado em 2015, o banco de dados do MapBiomas tem se consolidado como uma fonte robusta de informações. Com uma abordagem colaborativa, equipes especializadas dedicadas a diferentes biomas ou tipologias específicas contribuem para a classificação estruturada e assertiva do uso e cobertura da terra no Brasil. Através dessa rede, dados, incluindo mapas e gráficos, são disponibilizados,

oferecendo uma compreensão detalhada das mudanças ocorridas ao longo do tempo. (MAPBIOMAS, 2024)

A base de dados, atualizada até a sua coleção mais recente – versão 9.0, oferece informações anuais do uso e cobertura da terra no Brasil desde o ano de 1985 até 2023 com uma resolução espacial de 30 metros. Esse extenso período de abrangência proporciona uma visão abrangente das transformações no cenário ambiental brasileiro (MAPBIOMAS, 2024). O método de mapeamento adotado pela MapBiomas utiliza séries temporais de imagens Landsat, processadas através da plataforma *Google Earth Engine*.

4.2.2. *Google Earth Engine*

A plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) é um sistema de geoprocessamento espacial em nuvem que permite a visualização e análise de imagens de satélite de todo o globo (CARDILLE et al., 2022). A plataforma permite que os usuários não dependam do armazenamento no disco local, reduzindo a necessidade de infraestrutura de alto desempenho (SANTOS, 2021).

A plataforma possui um conjunto de dados robusto, que permite coletar imagens dos satélites Sentinel e Landsat, dados climáticos e de cobertura do solo, e outras informações. O objetivo da plataforma é permitir com que os usuários executem algoritmos complexos de forma rápida e eficiente em diferentes aplicações geoespaciais, como mapeamento de terras agrícolas, detecção de mudanças na cobertura da terra, monitoramento e mapeamento de desastres naturais (HERNANDEZ et al. 2021).

Os recursos oferecidos pela plataforma GEE são acessados e gerenciados por meio de sua API (Interface de Programação de Aplicativos). A API da GEE facilita a interação dos usuários com os servidores da plataforma, permitindo a especificação de cálculos e o recebimento dos resultados sem a necessidade de gerenciar aspectos técnicos, como a distribuição de tarefas entre servidores ou a integração dos resultados, o que reduz a complexidade, tornando a ferramenta acessível. (CARDILLE et al., 2022).

4.2.3. Modelo inVEST (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*)

O InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-Offs*) desenvolvido pelo Natural Capital Project da Universidade de Stanford, EUA, é um conjunto de modelos de software de código aberto e gratuito empregado para mapear e avaliar os recursos naturais que sustentam e contribuem para a qualidade de vida humana. O software opera com base em funções de produção, delineando como as alterações na estrutura e função de um ecossistema impactam os fluxos e valores associados aos serviços ecossistêmicos (MUÑOZ, 2023).

Neste estudo, foi utilizado o modelo *Carbon Storage and Sequestration*, uma ferramenta que permite estimar tanto o armazenamento atual quanto o sequestro futuro de carbono em diferentes cenários de uso e cobertura do solo , conforme apresentado o fluxograma na figura 2. A ferramenta permite analisar e modelar o armazenamento e o sequestro de carbono em escala de paisagem (NCP, 2023).

Para dados de entrada, o modelo exige mapas de uso e cobertura do solo em formato matricial, onde cada célula é classificada conforme uma categoria de uso ou ocupação. O potencial de armazenamento de carbono para cada classe mapeada é definido em uma matriz que considera quatro principais compartimentos (SHARP et al., 2019). Os dados de entrada do modelo incluem quatro variáveis, descritas a seguir:

- Carbono na biomassa aérea (*c_above*): corresponde ao carbono acumulado na vegetação acima do solo, incluindo troncos, folhas, galhos e outras partes vivas das plantas.
- Carbono na biomassa subterrânea (*c_below*): refere-se ao carbono armazenado nas raízes e demais componentes vivos localizados no subsolo.
- Carbono presente no solo (*c_soil*): está associado à matéria orgânica incorporada no solo, incluindo resíduos vegetais e substâncias em decomposição.
- Carbono no material vegetal morto (*c_dead*): abrange o carbono contido em restos vegetais, como folhas caídas, galhos e outros detritos orgânicos na superfície do solo ainda não decompostos.

O modelo calcula o carbono armazenado somando os valores dos diversos reservatórios para cada classe em todos os pixels do mapa de uso e ocupação do

solo, resultando na estimativa de carbono presente na paisagem. Já a valoração do carbono envolve o cálculo do valor financeiro do sequestro, levando em consideração a quantidade de carbono retido, o preço monetário por unidade de carbono, a taxa percentual de desconto e as variações no valor da unidade de carbono armazenada ao longo do tempo, conforme equação 1. (SIL, 2014).

$$Valor\ sequestrado_x = V * \frac{S_x}{q - p} * \sum_{t=0}^{q-p-1} \frac{1}{(1 + \frac{r}{100})^t (1 + \frac{c}{100})^t} \quad (1)$$

Onde: V é o preço por tonelada métrica de carbono elementar; Sx é quantidade de carbono sequestrado em toneladas métricas na parcela x, q é ano futuro, p é o ano atual, r é a taxa de desconto de mercado anual para o preço do carbono e c é a taxa anual de variação no preço do carbono.

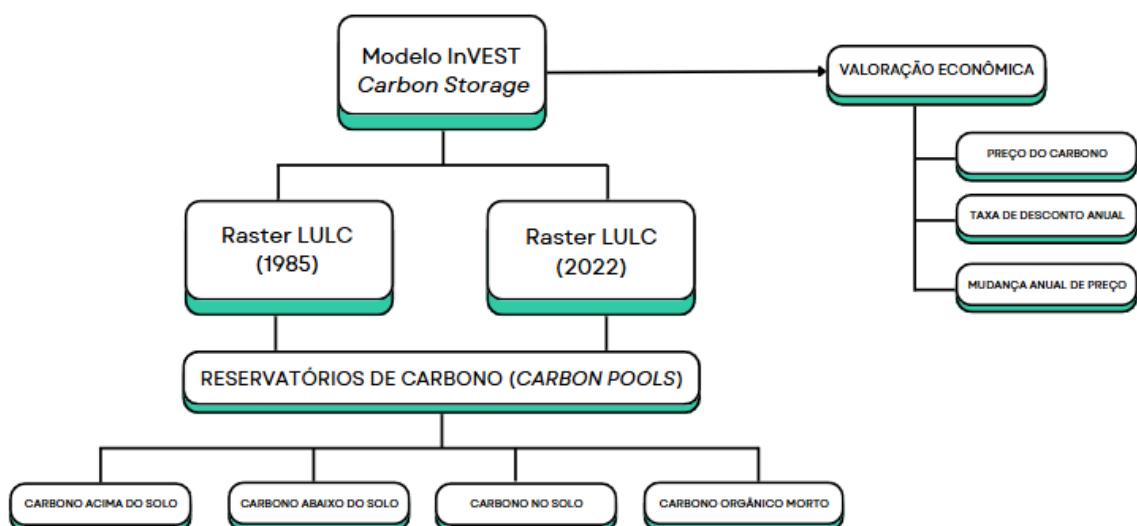


Figura 2: Fluxograma do modelo *Carbon Storage and Sequestration* disponível no Software InVEST
Elaboração: Autora

4.3 Procedimentos metodológicos

4.3.1 Toolkit – Mapbiomas (Coleção 8)

A obtenção e processamento dos dados do Projeto Mapbiomas, foi realizado através do *toolkit* da coleção 8.0. Os scripts disponibilizados são integrados ao Google Earth Engine (GEE), no qual possibilita a exportação de informações relacionadas à cobertura e ao uso da terra no Brasil. As imagens foram obtidas em formato raster com o objetivo de observar, de forma visual, as mudanças no uso e cobertura da terra

nos anos de 1985, 2005, 2015 e 2022. Cada categoria foi classificada de acordo com o código de legenda fornecido pela Coleção 8 do MapBiomas (2023).

4.3.2 Reservatórios de carbono (*Carbon Pools*)

Os dados sobre a distribuição de carbono por reservatório e classe de uso e ocupação do solo foram obtidos a partir de diversas fontes: os dados de carbono acima do solo (*c_above*) e carbono abaixo do solo (*c_below*) foram extraídos por meio de um código em Javascript no Google Earth Engine, disponibilizada pela NASA/ORNL/DAAC denominado *Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density*. Os dados de carbono no solo (*c_soil*) foram obtidos a partir do GEOINFO da Embrapa Solos, com informações referentes ao ano de 2021. Já os dados de carbono morto (*c_dead*) foram extraídos com base em revisão de literatura.

As informações relacionadas às categorias “Formação Florestal”, “Formação Savânica”, “Campo Alagado e Área Pantanosa” e “Formação Campestre” foram extraídas dos dados do inventário nacional (MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2014). Já os dados referentes à categoria “Pastagem” foram obtidos a partir do trabalho de PULROLNIK et al. (2009).

Para as demais classes de uso e ocupação do solo não abordadas pelas fontes acima, foi adotada uma abordagem conservadora, optando-se por atribuir valor zero ao conteúdo de carbono. Essa decisão baseou-se na ausência de dados confiáveis ou específicos para essas categorias, evitando a introdução de estimativas imprecisas ou não fundamentadas que poderiam comprometer a qualidade e a consistência das análises realizadas. (Tabela 1)

Tabela 1: Estimativas do carbono armazenado por reservatório e classe de uso e ocupação do solo no município de Luziânia – GO.

Código	Classe de uso e ocupação da terra	Reservatórios de Carbono (Mg/ha ⁻¹)			
		C_above	C_below	C_soil	C_dead
0	Outros	0	0	0	0
3	Formação florestal	35,55	21,55	20,64	5,79
4	Formação savânica	17,2	19,7	19,82	3,37
9	Silvicultura	32,7	12,61	20,57	0
11	Alagados	11,52	10,23	22,59	01,03
12	Formação campestre	4,93	6,89	19,54	0,38
15	Pastagens	6,42	3,93	20,18	1,1
21	Mosaico de usos	14,78	12,88	20,55	0
24	Área urbana	2,4	2,33	22,4	0
	Solo exposto áreas não vegetadas	5,32	4,46	20,67	0
25	Rios e lagos	7,62	9,56	21,88	0
33	Soja	3,11	0,87	22,4	0
39	Lavouras temporárias	5,78	02,03	21,1	0
41	Café	39,12	10,1	21,31	0
46	Citrus	25,75	37,7	23,49	0
48	Outras lavouras perenes	45	11,35	21,7	0
62	Algodão	2,6	01,01	24,88	0

4.3.3 Valoração do Sequestro de Carbono

A valoração do sequestro de carbono realizada através do módulo *Carbon Storage and Sequestration* da plataforma InVEST, contemplou o período entre 1985 e 2022. Para isso, o software requer três parâmetros essenciais:

- Preço do carbono
- Taxa anual de desconto do mercado
- Mudança anual do preço do carbono.

O preço do carbono foi baseado na plataforma *Ecosystem Marketplace* (2024), indicou que, em 2022, o preço de uma tonelada de carbono no mercado voluntário foi de US\$ 7,37. Para a taxa de desconto anual, métrica que reflete a preferência da sociedade em relação aos benefícios imediatos e aos benefícios futuros, o governo dos Estados Unidos adota uma taxa de 7% para a avaliação do custo-benefício de projetos ambientais (OMB, 1992). Assim, foi adotada uma taxa de 0.07 para este estudo. Os dados relativos à variação anual do projeto de carbono indicaram um valor de 0, o que implica que o valor social do carbono sequestrado no futuro é igual ao

valor do carbono sequestrado no presente. Os resultados obtidos correspondem ao total do carbono sequestrado e emitido em relação a variação acumulada entre o período estudado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação temporal do uso e cobertura do solo

A análise temporal do uso e cobertura da terra permitiu entender as mudanças ocorridas ao longo do período analisado, destacando os padrões espaciais que evidenciam a influência antrópica no município. A evolução do uso e cobertura da terra em Luziânia nos anos de 1985, 2005, 2015 e 2022 está ilustrada na Figura 3.

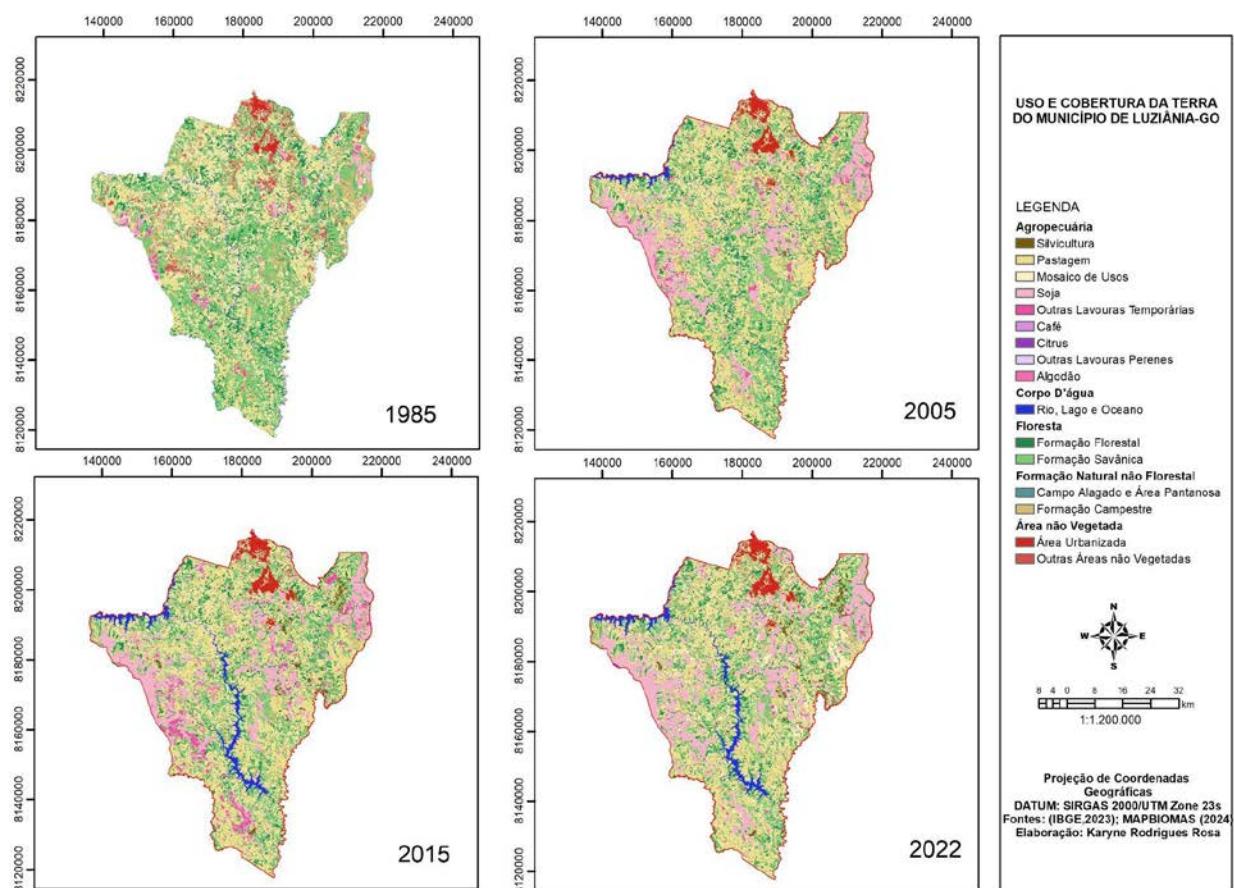


Figura 3: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra para o município de Luziânia.

Os resultados obtidos a partir da análise dos mapas de uso e ocupação do solo mostram mudanças significativas nas classes analisadas, refletindo a intensificação das atividades humanas ao longo do período estudado. As principais alterações incluem o aumento das áreas destinadas à agropecuária, especialmente agricultura e pastagem, e a redução acentuada das formações naturais, como a Formação Florestal, a Formação Savânica e as Formações Campestres (Tabela 2).

A Formação Florestal apresentou uma diminuição expressiva, passando de 48.715 hectares em 1985 para 43.274 hectares em 2022, representando uma perda de 11,18% no período (Tabela 2). Isso indica a contínua pressão antrópica sobre as áreas florestadas, essenciais para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

A Formação Savânica, que era predominante em 1985 com 118.271 hectares, sofreu uma redução ainda mais marcante, alcançando apenas 62.706 hectares em 2022, o que corresponde a uma perda de cerca de 46,98% no período analisado. Essa mudança demonstra a substituição dessas áreas naturais por usos mais intensivos, como lavouras temporárias e pastagens.

As Formações Campestras apresentaram uma redução expressiva ao longo do período analisado, passando de 34.243 hectares em 1985 para apenas 14.071 hectares em 2022. Em contrapartida, houve um aumento significativo nas áreas destinadas à agricultura, que expandiram de 10.181 hectares em 1985 para 71.103 hectares em 2022.

Tabela 2: Área ocupada pelas classes de uso e cobertura no município de Luziânia-GO

Classe de uso e ocupação do solo	Área (ha)			
	1985	2005	2015	2022
Formação Florestal	48,715	47,333	41,050	43,274
Formação Savânica	118,271	78,956	68,884	62,706
Formação Natural não Florestal	36,213	19,814	17,413	16,054
Campo Alagado e Área Pantanosa	1,971	1,348	1,382	1,983
Formação Campestre	34,243	18,467	16,031	14,071
Pastagem	64,376	122,798	117,907	107,183
Agricultura	10,181	55,088	65,657	71,103
Lavoura Temporária	10,175	55,071	65,577	70,959
Soja	5,796	46,429	47,902	67,573
Algodão (beta)	-	-	-	9
Outras Lavouras Temporárias	4,379	8,643	17,675	3,378
Lavoura Perene	6,0	17,0	80,0	144,0
Café	2	2	36	9
Citrus	-	14	44	118
Outras Lavouras Perenes	3,000	0	0	17,000
Silvicultura	4,000	153,000	3,710	3,781
Mosaico de Usos	94,753	56,283	58,514	67,420
Área não vegetada	21,567	10,948	11,540	12,840
Área Urbanizada	3,265	7,365	8,025	8,274
Outras Áreas não vegetadas	18,301	3,583	3,515	4,566
Rio, Lago e Oceano	2,134	4,840	11,538	11,853

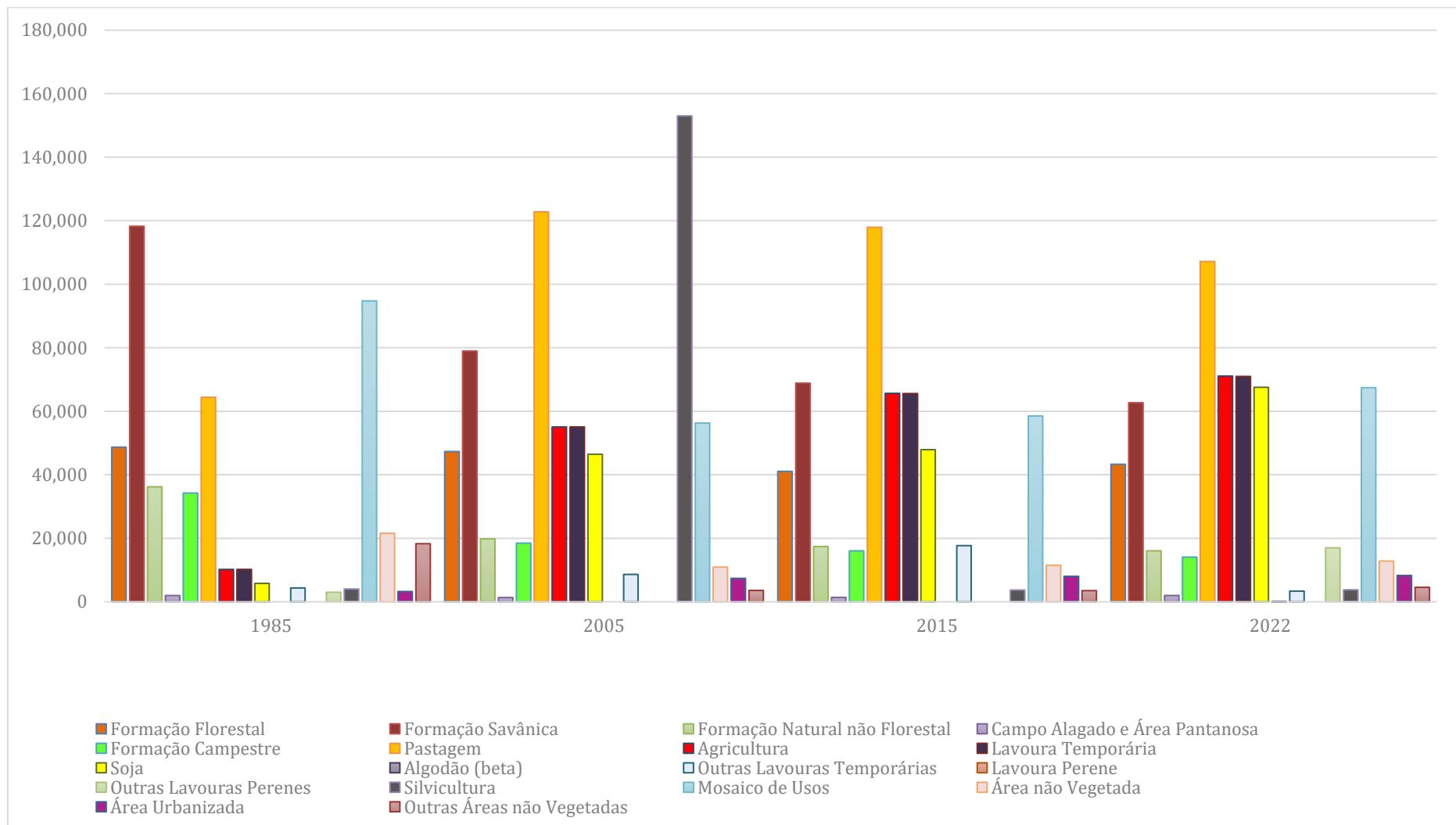


Figura 4: Mudanças das classes de uso e cobertura da terra (em km²) no período de estudo. Adaptado do Mapbiomas – Coleção 8.0 (2023).

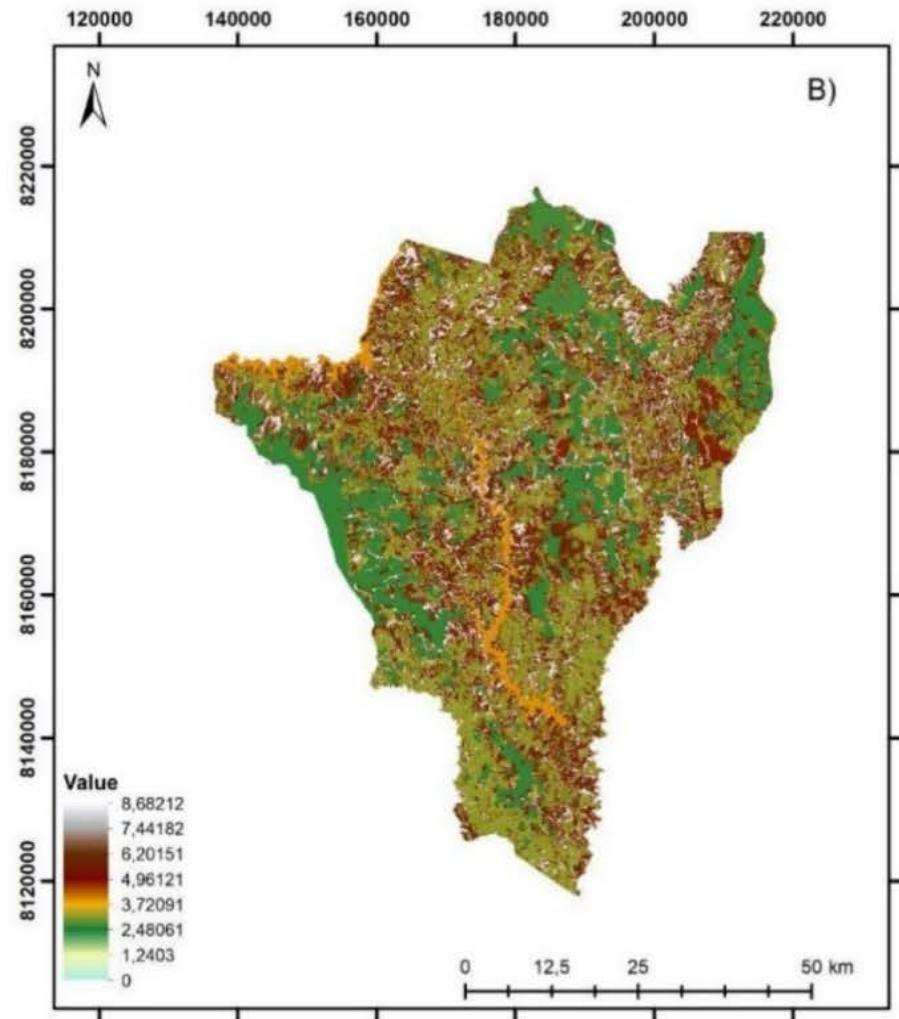
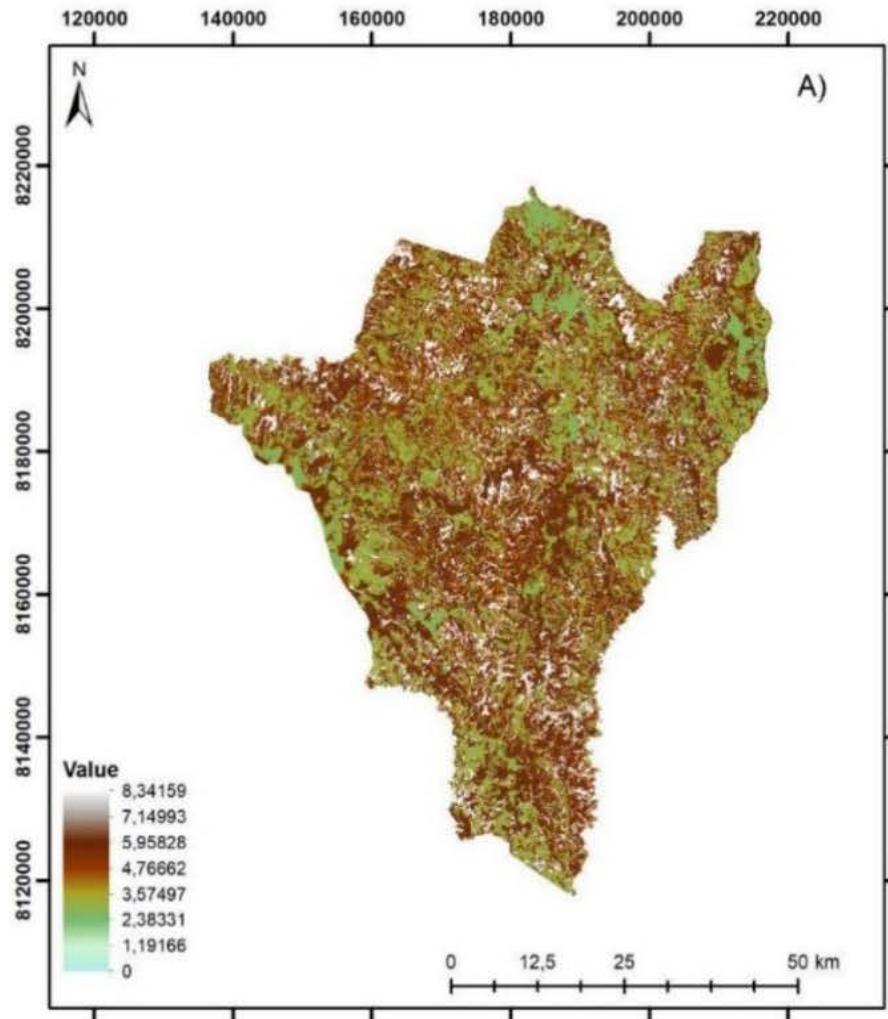
5.2 Análise do estoque de Carbono

A modelagem espaço-temporal do estoque de carbono em Luziânia é ilustrada na Figura 5, indicando a quantidade de carbono armazenada na área de estudo, incluindo todos os reservatórios de carbono. Os estoques de carbono associados aos diferentes usos e ocupações do solo nos anos de 1985 e 2022 estão apresentados na Tabela 3.

Observou-se a redução do Carbono nas classes de formação florestal, formação savânica e formação campestre. Em 1985, a formação savânica era a classe com maior estoque de carbono, totalizando 7.103.741,91 Mg de C. Em 2022, esse valor reduziu para 3.763.305,81 Mg de C, resultando em uma perda de 3.340.436,10 Mg de C. A redução da quantidade de Carbono observada está diretamente relacionada ao aumento do desmatamento e expansão das atividades agropecuárias (LIMA, 2023), que transformaram extensas áreas de vegetação nativa e reduziram sua capacidade de estocagem de carbono.

Por outro lado, as classes relacionadas à agropecuária, como silvicultura, pastagem e soja, apresentaram aumento nos estoques de carbono. No caso da silvicultura, o estoque de carbono passou de 236,84 Mg de C em 1985 para 249.462,50 Mg de C em 2022, o que sugere uma grande expansão da área florestal, provavelmente devido ao aumento da produção de madeira. Para a classe de pastagem, houve um crescimento de carbono de 2.034.729,23 Mg de C para 3.388.990,67 Mg de C, esse aumento pode ser atribuído à capacidade das gramíneas de enriquecer o solo com carbono orgânico (PAULINO et al., 2008).

Em relação à soja, o estoque de carbono saltou de 152.905,60 Mg de C em 1985 para 1.783.641,41 Mg de C em 2022. O aumento de carbono associado às áreas de soja é mais complexo: apesar de ser registrado um aumento aparente no estoque, estudos indicam que em áreas agrícolas onde a soja é a cultura predominante, os solos tendem a liberar carbono para a atmosfera. Esse comportamento ocorre de forma consistente, independentemente do tipo de solo, das condições climáticas ou das práticas de manejo aplicadas (adaptado de CARVALHO, 2010).



Projeção de Coordenadas Geográficas
DATUM: Srgas 2000/ UTM Zone 23s

Figura 5: Estoque de Carbono (Mg/ha) em 1985 (A) e em 2022 (B).

Tabela 3: Estoques de Carbono nos diferentes anos e uso e ocupação da terra (Mg de C).

Uso e cobertura	1985	2022
Formação florestal	4.056.497,57	3.601.380,53
Formação savânica	7.103.741,91	3.763.305,81
Silvicultura	236,84	249.462,50
Alagados	86.932,49	88.115,03
Formação campestre	1.086.278,61	446.840,17
Pastagens	2.034.729,26	3.388.990,67
Mosaico de usos	4.558.551,54	3.244.837,70
Área urbana	88.686,01	224.451,41
Solo exposto áreas não vegetadas	558.009,33	138.993,75
Rios e lagos	78.021,07	452.792,93
Soja	152905,60	1.783.641,41
Lavouras temporárias	126.620,26	97.879,67
Café	133,82	655,03
Outras lavouras perenes	257,21	1.371,80
Total	19.931.601,53	17.482.718,43

A análise das alterações do uso e cobertura da terra na área de estudo (Figura 4), apresenta a relação entre os diferentes usos do solo e as mudanças nos estoques de carbono nos dois períodos analisados. Destacam-se as variações significativas nas classes de formações savânicas e florestais e nas áreas de pastagem e soja.

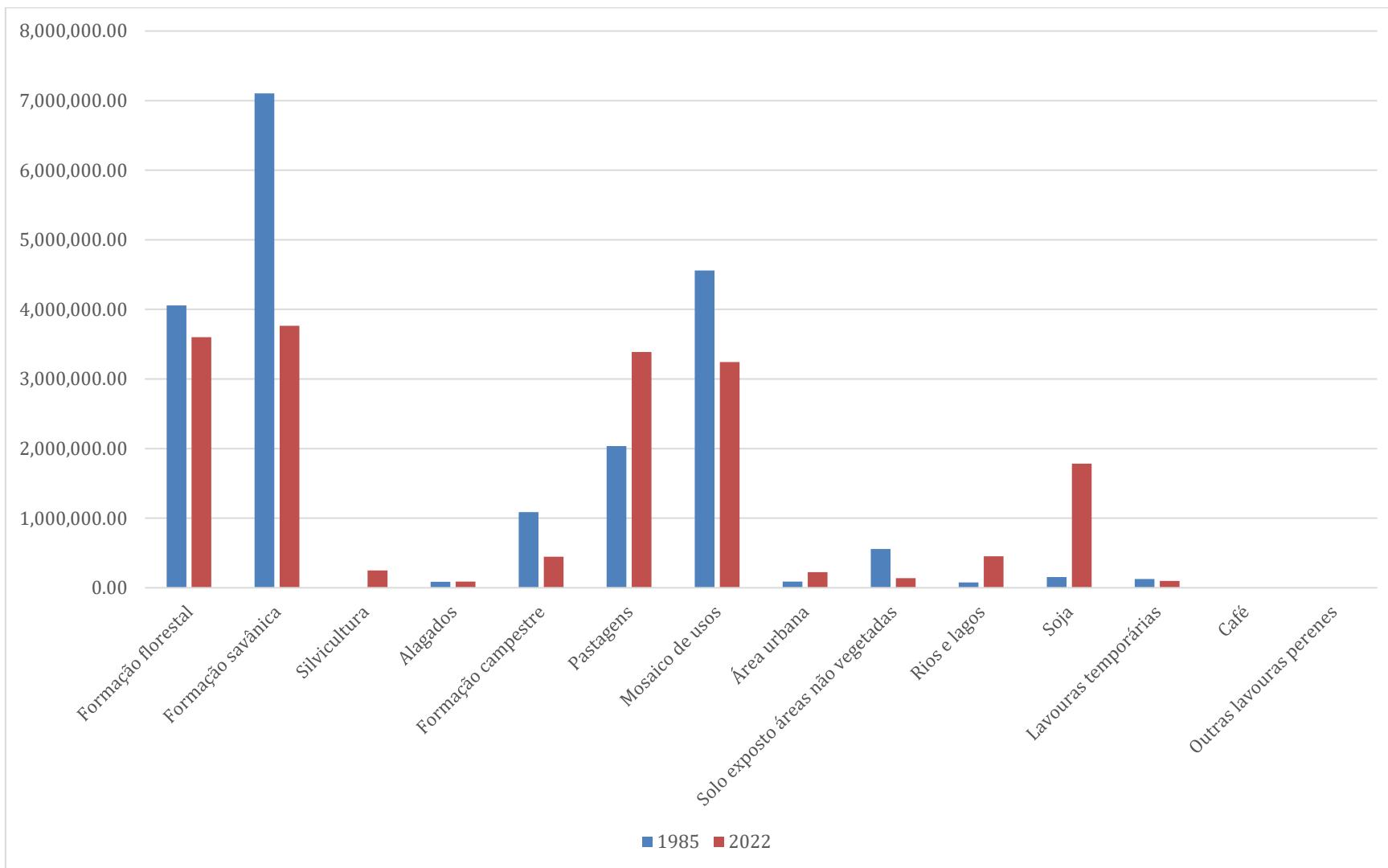


Figura 6: Estoques de carbono (Mg de C) nos diferentes anos e classes de uso e cobertura da terra.

5.3 Valoração Econômica

A tabela 4 apresenta os valores do VPL (Valor Presente Líquido), expresso em US\$ dólar, para diferentes classes de uso e cobertura do solo. Os valores refletem as perdas potenciais relacionadas às emissões de carbono, quanto os benefícios econômicos gerados associados ao sequestro de carbono.

Para as classes Formação Florestal e Formação Savânica, registraram-se perdas econômicas significativas, com valores de US\$ 6.638.720,90 e US\$ 10.977.612,66, respectivamente. Esses valores refletem o impacto negativo das emissões de carbono associadas à degradação ou conversão dessas áreas, evidenciando o alto custo ambiental e econômico da redução de seus estoques de carbono. A formação florestal, caracterizada por sua alta capacidade de estocagem de carbono, sofreu perdas consideráveis devido ao desmatamento e à pressão para outros usos do solo, como agropecuária e expansão urbana. De maneira semelhante, a formação savânica também apresenta grande relevância para o armazenamento de carbono, sendo impactada pelo desmatamento.

Por outro lado, as classes relacionadas às atividades agrícolas, como Soja e Pastagem, apresentaram aumento no estoque de carbono, com ganhos de US\$ 48.395,34 e US\$ 2.310.465,16 respectivamente. Entretanto, mesmo com os incrementos registrados nas classes agrícolas, os ganhos de carbono não foram suficientes para compensar as perdas nas formações naturais.

O reservatório de carbono teve uma redução de -2.438,198,64 Mg de C, o que equivale ao total de US\$ 17.745.102,47 milhões de dólares se fossem comercializados no mercado de carbono.

Tabela 4: Valor presente líquido em US\$ por classe de uso e cobertura da terra no município de Luziânia, Goiás

Uso e cobertura	VPL
Formação florestal	-6.638.720,90
Formação savânica	-10.977.612,66
Silvicultura	-763,5919762
Alagados	9223,18
Formação campestre	434.707,94
Pastagens	2.310.465,16
Mosaico de usos	-3.280.402,90
Área urbana	217.7642214
Solo exposto áreas não vegetadas	290.712,51
Rios e lagos	84.321,80

Soja	48.395,34
Lavouras temporárias	-24.322,31
Café	-84,53
Outras lavouras perenes	-1239,28
Total	-17.745.102,47

5.4 Comparação Econômica: Carbono e Soja

A produtividade da soja no ano de 2022 no estado de Goiás foi de 3.900 kg/ha (CONAB, 2024). Considerando a área de 67.573 hectares, destinada à plantação de soja no ano de 2022, a produção total estimada foi de 263.534,70 kg, equivalente a 4.392.245 sacas de soja. Essa produção resultou em um lucro aproximado de R\$ 562.383.049,86, correspondente a US\$ 97.466.733,07, com base no preço atual da soja de R\$ 128,04 por saca e na taxa de câmbio de US\$ 1,00 = R\$ 5,77.

Levando em conta o Valor Presente Líquido (VPL) da soja, verifica-se que a comercialização do Carbono não é competitiva financeiramente com a soja. A rentabilidade da produção de soja supera o VPL do estoque de Carbono e excede as perdas econômicas decorrentes do desmatamento. No entanto, a análise não deve se restringir apenas aos aspectos financeiros, pois o desmatamento está diretamente relacionado com a perda de vários outros serviços ecossistêmicos fundamentais para a sustentabilidade regional e do planeta, como a regulação climática, a manutenção da qualidade da água e a conservação da biodiversidade, que são fundamentais para sustentabilidade agrícola e a vida humana (BULLER et al., 2015).

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo revelaram mudanças significativas na paisagem do município de Luziânia, estado de Goiás. Essas mudanças foram impulsionadas principalmente pela expansão das atividades agropecuárias, com destaque para o aumento das áreas destinadas à pastagem e ao cultivo de soja. As alterações na cobertura vegetal resultaram em impactos diretos nos estoques de carbono, evidenciando a relação intrínseca entre o uso do solo, o desmatamento e o sequestro de carbono.

As perdas de carbono na área de estudo resultaram em um prejuízo estimado em US\$ 17.745.102,47, caso fossem comercializadas no mercado de carbono. A rentabilidade financeira da soja é significativamente superior à perda econômica do

carbono. No entanto, a escolha do uso da terra não deve se basear apenas em aspectos financeiros de curto prazo, pois a degradação ambiental compromete a manutenção dos serviços ecossistêmicos essenciais, podendo afetar negativamente a produção de soja no médio e longo prazo, especialmente diante dos efeitos das mudanças climáticas globais.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desmatamento foi um dos principais responsáveis pelas emissões de carbono no município, reduzindo os estoques de carbono em formações florestais e savânicas. As perdas econômicas associadas a essas emissões foram estimadas em US\$ 17.745.102,47. O Valor Presente Líquido (VPL) para as classes naturais apresentou resultados significativamente negativos, como -US\$ 6.638.720,90 para a Formação Florestal e -US\$ 10.977.612,66 para a Formação Savânica. Esses dados refletem não apenas os impactos do desmatamento, mas também o custo econômico das emissões de carbono em um cenário de mudanças no uso do solo.

Por outro lado, observou-se que o sequestro de carbono, responsável pela remoção de CO₂ da atmosfera e seu armazenamento no solo, em florestas e em outras estruturas vegetais, foi mais expressivo em áreas manejadas de pastagem e soja. Nessas classes, registrou-se um aumento no estoque de carbono de 1.354.261,41 Mg de C para a pastagem e 1.630.735,81 Mg de C para a soja, resultando em um ganho de US\$ 2.310.465,16 e US\$ 48.395,34, respectivamente. Apesar disso, esses ganhos foram insuficientes para compensar as perdas nas formações naturais, que estão diretamente relacionadas à perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos. Isso evidencia que o potencial de sequestro de carbono em sistemas agropecuários não compensa as perdas gerais decorrentes da degradação das áreas nativas.

O estudo reforça que os estoques e o sequestro de carbono estão intimamente ligados às dinâmicas de uso e cobertura do solo. As formações naturais, como florestas e savanas, desempenham um papel insubstituível no equilíbrio climático, armazenando carbono em folhas, troncos, raízes e no solo. Por outro lado, a conversão dessas áreas para atividades agrícolas, embora contribua parcialmente para o sequestro de carbono, também intensifica as emissões de CO₂ devido ao desmatamento e à perda de matéria orgânica no solo.

O uso do software InVEST foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho, possibilitando uma análise detalhada dos estoques de carbono para cada uso e ocupação do solo na área estudada. Além disso, os resultados da valoração econômica mostraram-se fundamentais, pois oferecem suporte à elaboração de políticas públicas mais eficientes e à tomada de decisões que promovam a integração entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREVALO, Luis Alberto; ALEGRE, Julio Cesar; VILCAHUAMAN, Luciano Javier Montoya. **Metodología para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra.** 2002.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. **Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE).** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Sancionada a lei que estabelece as bases para um mercado regulado de carbono no Brasil: Com a legislação, país avança em mais um programa do Novo Brasil - Plano de Transformação Ecológica.** [S.L]: Ministério da Fazenda, 12 dez. 2024. Atualizado em 13 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2024/dezembro/Sancionada-a-lei-que-estabelece-as-bases-para-um-mercado-regulado-de-carbono-no-Brasil#:~:text=A%20Lei%20n%C2%BA%2015.042%20de,regulado%20de%20carbono%20no%20Brasil>. Acesso em: 07 jan. 2025

BRITO, Mateus Rodrigues et al. **Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado.** Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 5, n. Especial, p. 114-124, 2018.

BROWN, S. et al. **Soil biological processes in tropical ecosystems.** In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Eds.) **The biological management of tropical soil fertility.** Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p. 15-46.

BULLER, Luz Selene et al. **Systemic behavior of a Brazilian municipality whose economy is based on agricultural commodities.** BIWAES 2015, p. 142, 2015.

CALDERÓN MUÑOZ, Juan Sebastián et al. **Aproximación a la valoración económica ambiental por la disminución en la captura de carbono asociada a la perdida de coberturas de bosque reflejada en cicatrices de quema producida por actividades ganaderas y de cultivos ilícitos en áreas del PNN Tinigua.** 2023.

CARDILLE, J. A.; CROWLEY, M. A.; SAAH, D.; CLINTON, N. E. (eds.). **Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and Applications.** Berlin: Springer, 2022.

CARVALHO, J. L. N. Dinâmica do carbono e fluxo de gases do efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado. 2010. 141 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARVALHO, R. S. S. Mercados de carbono e o potencial dos resíduos agrícolas/agroindustriais: uma revisão bibliográfica. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 11., 2019, São Cristóvão, SE. Anais [...]. São Cristóvão, SE, 2019. p. 127-136.

CIDIN, A. C. M. Estoque de carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente). Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

CONAB. BOLETIM DA SAFRA DE GRÃOS: 3º levantamento de avaliação da safra 2023/24. Publicado em 07 dez. 2023. Brasília. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10> Acesso em: 11 jan. 2025.

COSTA, Karine Machado. O estoque de carbono na vegetação e no solo de fragmentos florestais em paisagens tropicais. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DIAS, Guilherme Vieira; NEFFA, Elza; TOSTES, José Glauco Ribeiro. Pagamentos por Serviços Ambientais, **Mercado de Crédito de Carbono e as trocas desiguais**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 14, n. 2, p. 235-254, 2020. DOI: 10.19180/2177-4560.v14n22020p235-254. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/15488..> Acesso em: 11 fev. 2025.

DON, A., SCHUMACHER, J. and FREIBAUER, A. (2011), **Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis**. Global Change Biology, 17: 1658-1670, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>

MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Projeto MapBiomas – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/>>. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>> Acesso em: 27 dez. 2023

ECOSYSTEM MARKETPLACE. **State of the Voluntary Carbon Market.** Disponível em: <<https://data.ecosystemmarketplace.com/>>. Acesso em: 01 dez. 2024.

ELLERMAN, A. Denny; BUCHNER, Barbara K. **The European Union emissions trading scheme: origins, allocation, and early results.** 2007.

FAO (2009). ECV 12 - Biomass: assessment report on available methodological standards and guides. Global Terrestrial Observing System. Rome.

FELFILI, J. M. et al. **Comparação florística e fitossociológica do cerrado nas Chapada Pratinha e dos Veadeiros.** Brasília: Universidade de Brasília, 1997.

FIORINI, Ana Carolina Oliveira. **A IMPORTÂNCIA DA MADEIRA MORTA PARA ESTIMAR ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS DEGRADADAS: IMPLICAÇÕES PARA AÇÕES DE REDUÇÃO DE EMISSÃO POR DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FORESTAL.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FRANÇA, Aina de Carvalho. **Impactos da dinâmica de uso e cobertura da terra no estoque de carbono da vegetação na região do ecótono Cerrado-Amazônia (1985-2020).** 2023.

HERNÁNDEZ, Julio Víctor Sánchez et al. **Mapeo de inundaciones utilizando imágenes satelitales SAR en Google Earth Engine.** Res. Comput. Sci., v. 150, n. 4, p. 83-95, 2021.

IBGE, 2022. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/luziania/panorama> (Acesso: 01 dez. 2023)

Inácio Filho, J. C. (2022). **Créditos de carbono da agricultura brasileira.** Revista De Estudos Interdisciplinares Do Vale Do Araguaia - REIVA, 5(02), 4. Recuperado de <https://reiva.unifaj.edu.br/reiva/article/view/242>

IPCC (2006). Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe K. (Eds) 2006 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japan.

KEITH, Heather; MACKEY, Brendan G.; LINDENMAYER, David B. **Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 106, n. 28, p. 11635-11640, 2009.

KINDERMANN, G. et al. **A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics.** Silva Fennica, v. 42, n. 3, p. 387-396, 2008.

LAL, R. **Land use and soil management effects on soil organic matter dynamics on Alfisols in Western Nigeria.** In: LAL, R. et al. Soil processes and the carbon cycle. Advances in soil science, 1996. p. 109-126.

Lambin, E. F., Geist, H. J., Lepers, E. **Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions.** Annual Review of Environment and Resources, v. 28, n. 1, p. 205-241, 2003.

Lima, Marcos Túlio Dourado. **Valorização de serviços ambientais na Sub-bacia do Rio Vermelho/MT: uma ferramenta de combate às mudanças climáticas e seus impactos.** 2023.

MANTOVANI, José Eduardo; PEREIRA, Alfredo. **Estimativa da integridade da cobertura vegetal de Cerrado através de dados TM/Landsat.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 9, p. 11-18, 1998.

MapBiomas Brasil. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>>. Acesso em 27 dez. 2024

MAPBIOMAS. MapBiomas. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Projeto MapBiomas – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: relatórios de referência setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas.** [s.l.] MCTI, 2014.

MORAES, Rafael Adighieri. **Análise das mudanças do uso e da cobertura da terra em municípios com áreas de mineração na microrregião de Itabira, a partir de dados do MAPBIOMAS entre 1987 e 2017.** Revista Engenharia de Interesse Social, v. 5, n. 6, p. 77-96, 2020.

NATURAL CAPITAL PROJECT - NCP. **InVEST 3.14.0: User's Guide.** Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences, 2023.

OLIVEIRA, Viviane da Silva. **Geoprocessamento como ferramenta para o monitoramento ambiental de unidades de conservação: o caso do Parque Estadual dos Pirineus e da APA dos Pirineus.** 2018.

PAIVA, Artur Orelli; REZENDE, Alba Valéria; PEREIRA, Reginaldo Sergio. **Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal.** Revista Árvore, v. 35, p. 527-538, 2011.

PAULINO, V. T.; BRAGA, G. J.; LUCENA, M. A. C.; GERDES, L. COLOZZA, M. T. **Sustentabilidade de pastagens consorciadas – ênfase em leguminosas forrageiras.** II Encontro técnico sobre leguminosas forrageiras, Instituto de Zootecnia, Nova Odesa, SP, 55 p. 2008. Disponível em <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/SUSTENTABILIDADEPASTAGENSCONSORCIADAS.pdf>. Acesso em 21 dez. 2024

PETROKOFSKY, Gillian et al. **Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol.** Environmental Evidence, v. 1, p. 1-21, 2012.

PIRES, LARISSA DO CARMO. **AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE ESTOQUE E SEQUESTRO DE CARBONO NO PANTANAL DE AQUIDAUANA-MS.** 2024.

PMSB. (2022) Plano de saneamento básico de Luziânia/GO. Luziânia: Prefeitura Municipal de Luziânia. Disponível em: <https://www.luziania.go.gov.br/wp-content/uploads/2023/03/ANEXO-PLANO-MUNICIPAL-DE-SANEAMENTO-BASICO-PMSB-LUZIANIA_VF-DECRETO-075.pdf>. Acesso em: 01 de dezembro de 2023

Primieri, Silmar & Westphal Muniz, Aleksander & Lisboa, Henrique & Duarte, Alisson. **IMPACTO DA MUDANÇA NO USO DA TERRA SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO (IMPACT OF LAND-USE CHANGE ON CARBON STOCKS IN THE SOI).** 2008

PULROLNIK, K. et al. **Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG.** Revista brasileira de ciencia do solo, v. 33, n. 5, p. 1125–1136, 2009.

ROQUETTE, José Guilherme. **Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono.** Ciência Florestal, v. 28, p. 1350-1363, 2018.

SANTOS, Maria João Gonçalves dos. **Classificação de culturas agrícolas de inverno com recurso à plataforma Google Earth Engine e imagens dos satélites**

Sentinel-1 e Sentinel-2. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2021.

SHARP, R. et al. InVEST 3. 2019. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/investuserguide/latest/index.html#invest-models>. Acesso em: 20 de setembro de 2024.

SIL, Ângelo Filipe. Alterações da paisagem e serviços de ecossistema: Quantificação e valoração do sequestro de carbono na bacia superior do Rio Sabor. 2014. Tese de Doutorado.

SILVA, Roseana Pereira da. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). 2007.

STAVINS, Robert N. The future of US carbon-pricing policy. Environmental and energy policy and the economy, v. 1, n. 1, p. 8-64, 2020.

STERN, Nicholas. The economics of climate change. American Economic Review, v. 98, n. 2, p. 1-37, 2007.

USOMB (US Office of Management and Budget). 1992. **Diretrizes e taxas de desconto para análise de custo-benefício de programas federais Circular nº A-94 (revisada).** Memorando de transmissão nº 64. Washington DC: US Office of Management and Budget.

VASQUES, G. M. et al. Soil Organic Carbon Stock Maps for Brazil at 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60 100 and 100-200 cm Depth Intervals with 90 m Spatial Resolution. Rio de Janeiro, Brazil: Embrapa Solos, 2021.

Anexo 1 – Resultado Invest

arg id	arg value
calc_sequestration	True
carbon_pools_path	C:\Karyne\reservatorios.csv
discount_rate	0.07
do_redd	False
do_valuation	True
lulc_cur_path	C:\Karyne\LULC\Uso_1985_clip.tif
lulc_cur_year	1985
lulc_fut_path	C:\Karyne\LULC\Uso_2022_clip.tif
lulc_fut_year	2022
lulc_redd_path	
n_workers	-1
price_per_metric_ton_of_c	7.37
rate_change	0
results_suffix	
workspace_dir	C:\Karyne\InVEST

Aggregate Results

Description	Value	Units	Raw File
Total cur	19931601.53	Mg of C	C:\Karyne\InVEST\tot_c_cur.tif
Total fut	17493402.89	Mg of C	C:\Karyne\InVEST\tot_c_fut.tif
Change in C for fut	-2438198.64	Mg of C	C:\Karyne\InVEST\delta_c_fut.tif
Net present value from cur to fut	-17745102.47	currency units	C:\Karyne\InVEST\npv_fut.tif