



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM CIÊNCIAS DA
TERRA E DO AMBIENTE**

VALDINÉIA GUSMÃO SILVA

**Dinâmica do fluxo de CO₂ associada ao uso e cobertura da
terra no município de Morro do Chapéu-BA**

**Feira de Santana-BA
Junho de 2023**

VALDINÉIA GUSMÃO SILVA

**Dinâmica do fluxo de CO₂ associada ao uso e cobertura da
terra no município de Morro do Chapéu-BA**

Orientação: Dr^a. Jocimara Souza Britto Lobão

Co-orientação: Dr^a. Deorgia Tayane Mendes
de Souza

**Feira de Santana-BA
Junho de 2023**

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó – SISBI UEFS

S584 Silva, Valdinéia Gusmão

Dinâmica do fluxo de CO₂ associada ao uso e cobertura da terra no município de Morro do Chapéu-BA / Valdinéia Gusmão Silva. – 2023. 73 f.: il.

Orientadora: Jocimara Souza Britto Lobão.

Coorientadora: Deorgia Tayane Mendes de Souza.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2023.

1. Dióxido de carbono (CO₂). 2. Uso e cobertura da terra. 3. Morro do Chapéu, Bahia. 4. Dinâmica do carbono. 5. Gases do efeito estufa (GEE).

I. Título. II. Lobão, Jocimara Souza Britto, orient. III. Souza, Deorgia Tayane Mendes de, coorient. IV. Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente. V. Departamento de Ciências Exatas. VI. Universidade Estadual de Feira de Santana.

CDU 631.417.1(814.22)

VALDINÉIA GUSMÃO SILVA

**“DINÂMICA DO FLUXO DE CO₂ ASSOCIADA AO USO E
COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU-BA”**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Modelagem em
Ciências da Terra e do Ambiente da
Universidade Estadual de Feira de
Santana..

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Jocimara Souza
Britto Lobão.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e
Geotecnologias.

Data de aprovação: 20 de junho de 2023

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
JOCIMARA SOUZA BRITTO LOBAO
Data: 25/02/2026 16:16:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Jocimara Souza Britto Lobão - Orientadora
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS



Documento assinado digitalmente
DEORGIA TAYANE MENDES DE SOUZA
Data: 25/02/2026 16:56:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Deorgia Tayane Mendes de Souza – Coorientadora
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS



Documento assinado digitalmente
CLAUDINEI OLIVEIRA DOS SANTOS
Data: 25/02/2026 12:37:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Claudinei Oliveira dos Santos
Universidade Federal de Goiás – UFG



Documento assinado digitalmente
RODRIGO NOGUEIRA DE VASCONCELOS
Data: 25/02/2026 14:24:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS

Dedicatória

*A minha mãe, que mesmo não estando presente fisicamente, sempre será o meu porto
seguro e a responsável por eu nunca desistir.*

*Ao meu pai, por compreender todos os momentos de ausência e sempre me apoiar
incondicionalmente.*

A Deus, meu refúgio e tranquilidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM) e a todos que o integram, secretária, coordenação, docentes e funcionários, obrigada pela dedicação e momentos enriquecedores compartilhados.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Profissional de Nível Superior (CAPES), por financiarem a minha pesquisa.

A minha família e amigos por compreenderem todas as minhas ausências e me apoiarem nos momentos mais difíceis dessa caminhada, em especial ao grupo “terapia coletiva” por compartilhar todas as aflições e delícias (são raras, mas existem) da vida adulta.

Ao grupo LABESPECTRO, por serem essa grande família, que desde 2017 tornam a minha caminhada acadêmica mais leve e divertida, vocês são muito especiais.

A minha querida turma XV, onde pude conhecer pessoas maravilhosas como Adeid, Paulo, e especial Raiânnata com quem pude contar em vários momentos de aflição.

A minha amiga e fiel escudeira Bruna, com quem desde a graduação compartilho os momentos mais felizes e angustiantes dessa jornada acadêmica, obrigada por sempre se fazer presente.

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Jocimara Lobão, pela confiança e apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Washington Rocha, pelos momentos de conhecimentos e orientações compartilhados.

E um agradecimento especial, à minha Co-orientadora, Prof^a. Dr^a. Deorgia Souza e ao Prof. Dr. Rodrigo Vasconcelos, por todos os ensinamentos, dedicação e cumplicidade depositados durante essa etapa e por acreditarem sempre no meu crescimento.

RESUMO

O aumento na emissão dos gases que intensificam o fenômeno “efeito estufa”, os quais são chamados de Gases do Efeito Estufa (GEEs), está o dióxido de carbono (CO_2), um dos principais responsáveis pelo aumento do aquecimento global. De acordo com a ONU, foram liberados cerca de 4,2 bilhões de toneladas de CO_2 na atmosfera em 2018, o aumento da liberação dos GEEs é decorrente do uso de combustíveis fósseis, do desmatamento, das queimadas e do uso inadequado do solo na agricultura. No Brasil, as maiores emissões dos GEEs estão atreladas às mudanças de uso da terra e à conversão da vegetação natural em uso agrícola, correspondendo a mais de 70% das emissões. Diante disto, existe dentro da comunidade científica a busca por métodos e técnicas capazes de diagnosticar e monitorar as transformações e mudanças climáticas visando conter o avanço do desequilíbrio ambiental. Desse modo, neste trabalho, foram desenvolvidos dois artigos científicos. O primeiro artigo teve por objetivo avaliar a produção científica ao que tange aos métodos e técnicas aplicadas na identificação da dinâmica do Carbono atmosférico em diferentes usos e cobertura. Neste foram construídas redes de dados bibliográficos, além de gráficos e tabelas. Os resultados alcançados foram: identificação da evolução no número de publicações, sendo a década de 2010 a mais expressiva; as principais tendências de publicações estão voltadas ao entendimento do carbono no solo e como os diferentes tipos de uso e cobertura da terra influência/interage com o mesmo, apoiando-se em técnicas do sensoriamento remoto; o maior número de publicações foram desenvolvidas em regiões com grande presença da vegetação, úmidas a subúmidas, não sendo identificado nenhum trabalho desenvolvido em região semiárida brasileira. A análise bibliométrica possibilitou reconhecer padrões nas publicações, bem como evidenciou que as áreas de características semiáridas ou áridas ainda são pouco estudadas em relação a dinâmica do carbono, assim como o uso de técnicas que possibilitam trabalhar com uma robusta quantidade de dados, a exemplo do Google Earth Engine. O segundo artigo discutiu a dinâmica do carbono atmosférico nos diferentes tipos de uso e cobertura da terra no município de Morro do Chapéu – BA. Para isso foram observados a dinâmica espacial dos tipos de uso e cobertura da terra no município por meio das métricas da paisagem considerando as transições ocorridas entre as classes, assim como a dinâmica do fluxo de CO_2 utilizando os índices espectrais de vegetação NDVI, PRI e CO_2Flux . Em seguida foi realizada a correlação de Pearson entre estas variáveis afim de se compreender a relação existente entre as mesmas. Como resultados foram gerados mapas de transição de usos e cobertura da terra, fluxo de CO_2 e correlação. Observou-se que: Morro do Chapéu não passou por grandes transformações em sua estrutura da paisagem; notou-se que as áreas onde não ocorreram processo de alteração da paisagem ou exibiram o processo de regeneração da vegetação foram as que demonstraram a maior capacidade de absorção do CO_2 ; as áreas com baixa ou nenhuma presença da vegetação consideradas como desmatamento, exibiram os valores de CO_2Flux mais baixos. O desenvolvimento de novos trabalhos deve ser estimulado, buscando se compreender a dinâmica do carbono de forma mais complexa, incluindo assim outras variáveis, a exemplo da precipitação pluviométrica, principalmente em ambientes áridos ou semiáridos.

Palavras-chave: Dióxido de carbono; Uso e cobertura da terra; Morro do Chapéu, Bahia; Dinâmica do carbono; Gases do Efeito Estufa.

ABSTRACT

The increase in the emission of gases that intensify the "greenhouse effect" phenomenon, which are called Greenhouse Gases (GHGs), is carbon dioxide (CO₂), one of the main responsible for the increase in global warming. According to the UN, about 4.2 billion tons of CO₂ were released into the atmosphere in 2018, the increased release of GHGs is due to the use of fossil fuels, deforestation, burning, and improper land use in agriculture. In Brazil, the largest GHG emissions are linked to land use change and the conversion of natural vegetation to agricultural use, accounting for more than 70% of emissions. In view of this, the scientific community is searching for methods and techniques capable of diagnosing and monitoring the transformations and climate changes in order to contain the advance of environmental imbalance. Thus, in this work, two scientific articles were developed. The first article aimed to evaluate the scientific production regarding methods and techniques applied to the identification of atmospheric carbon dynamics in different uses and coverage. In this article bibliographic data networks were built, as well as graphs and tables. The results achieved were: identification of the evolution in the number of publications, being the decade of 2010 the most expressive; the main trends of publications are focused on understanding the carbon in the soil and how the different types of land use and land cover influence/interact with it, relying on remote sensing techniques; the largest number of publications were developed in regions with a large presence of vegetation, humid to sub-humid, not being identified any work developed in the Brazilian semiarid region. The bibliometric analysis made it possible to recognize patterns in the publications, and also showed that semi-arid or arid areas are still poorly studied in relation to carbon dynamics, as well as the use of techniques that make it possible to work with a robust amount of data, such as Google Earth Engine. The second article discussed the dynamics of atmospheric carbon in different types of land use and land cover in the municipality of Morro do Chapéu - BA. For this, the spatial dynamics of the types of land use and land cover in the municipality were observed through the landscape metrics considering the transitions between classes, as well as the dynamics of CO₂flux using the spectral indices of vegetation NDVI, PRI and CO₂Flux. Pearson correlation was then performed between these variables in order to understand the relationship between them. As results we generated maps of land use and land cover transition, CO₂flux and correlation. It was observed that: Morro do Chapéu has not undergone major transformations in its landscape structure; it was noted that the areas where no process of landscape alteration occurred or exhibited the process of vegetation regeneration were the ones that showed the highest capacity to absorb CO₂; the areas with low or no presence of vegetation considered as deforestation, exhibited the lowest values of CO₂Flux. The development of new studies should be encouraged, seeking to understand the dynamics of carbon in a more complex way, including other variables such as rainfall, especially in arid or semiarid environments.

Keywords: Carbon Dioxide; Land Use and Land Cover; Morro do Chapéu, Bahia; Carbon Dynamics; Greenhouse Gases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Fluxograma metodológico do artigo I	21
Figura 02: Gráfico de tendência anual de publicações	24
Figura 03: Rede de co-autoria entre países. Os círculos representam cada país e seu tamanho é correspondente ao número de publicações. As arestas que ligam cada círculo correspondem a intensidade com que ocorre a relação de cooperação entre esses países. As cores apontam a evolução no número de publicações de cada país ao longo dos anos.....	26
Figura 04: Rede de palavras-chave década de 1990.....	29
Figura 05: Rede de palavras-chave para década de 2000.....	29
Figura 06: Rede de palavras-chave para década de 2010..	30
Figura 07: Rede de palavras-chave para todo período (1995-2020)	31
Figura 08: Rede de palavras-chave para todo período (1995-2020) ao longo do tempo.....	32
Figura 09: Sensores mais utilizados nos estudos realizados.....	33
Figura 10: Foco de estudo dos artigos mais citados	34
Figura 01: Mapa de localização da área de pesquisa: Morro do Chapéu - BA	53
Figura 02: Fluxograma metodológico artigo II.	55
Figura 03: Gráfico de métricas da paisagem: LPI (Maior índice de mancha), NP (Número de fragmentos), PLAND (Porcentagem da área da classe) e TA (Área total) ao longo da série temporal (1995 a 2021) para cada classe de uso e cobertura da terra. Agricultura (AGRI); Área não vegetada (N_VEG); Vegetação natural (V_NAT)	60
Figura 04: Gráfico de transições de uso e cobertura da terra ao longo da série temporal (1995 a 2021).....	62
Figura 05: Mapa das classes de transição de 1995 para 2021.....	63
Figura 06: Mapa de fluxo de CO ₂ para o município de Morro do Chapéu- BA ao longo da série temporal (1995 a 2021).....	64
Figura 07: Mapa de correlação espacial entre os dados de transição de uso e cobertura da terra e CO ₂ <i>Flux</i> ao longo da série temporal de 1995 a 2021 para o município de Morro do Chapéu – BA.....	65

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01: Relação entre as questões, o tipo de análise e os dados coletados.....	20
Quadro 01 Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra com base na coleção 7 do MAPBIOMAS.....	56
Tabela 01: Periódicos com maior número de publicações indexadas na base de dados da SCOPUS	25
Tabela 02: 10 institutos e organizações que mais publicaram no período de estudo.	27
Tabela 03 (a): Relação dos 10 autores que mais publicaram.....	27
Tabela 03 (b): Os 10 que mais foram citados.....	27
Tabela 04: Métricas da paisagem utilizadas para quantificar as classes de uso e cobertura da terra.....	56

Sumário

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
REFERÊNCIAS	16
CAPÍTULO II: METODOLOGIAS E TÉCNICAS APLICADAS AO ESTUDO DA DINÂMICA DO CO ₂ E USO E COBERTURA DA TERRA	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
2 MATERIAIS E MÉTODO.....	19
2.1 Critérios de pesquisa e procedimentos de triagem.....	21
2.2 Elaboração e análise das redes.....	22
3 RESULTADOS	24
3.1 Tendência de publicação.....	24
3.2 Análises dos termos de pesquisa.....	28
3.3 Tecnologias mais aplicadas ao estudo de carbono.....	32
4 DISCUSSÃO	35
5 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE A	44
CAPÍTULO III: DINÂMICA DO FLUXO DE CO ₂ NOS DIFERENTES TIPOS DE USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU - BA	50
1 INTRODUÇÃO.....	51
2 MATERIAL E MÉTODO	53
2.1 Área de Estudo.....	53
2.2 Aquisição dos dados	54
2.2.1 Dados de uso e cobertura	55
2.2.2 Métricas da paisagem.....	56
2.2.3 Dados de transição de uso e cobertura da terra	57
2.2.4 Dados de CO ₂ Flux.....	57
2.3 Análise dos dados	59
3 RESULTADOS	60
3.1 Uso e cobertura da terra em Morro do Chapéu: métricas da paisagem	60
3.2 Dados de transição	61
3.3 Fluxo de CO ₂ em Morro do Chapéu -BA.....	63

3.4 Correlação transições LULC e fluxo de CO ₂ Flux	65
4 DISCUSSÕES	66
4.1 Uso e cobertura da terra em Morro do Chapéu- BA.....	66
4.2 Transição do uso e cobertura da terra e o fluxo de CO ₂	67
4.3 Correlação: transição do uso e cobertura da terra e o fluxo de CO ₂	68
5 CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS	70

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

Dentre os principais compartimentos de concentração de carbono na Terra estão a atmosfera, solos, oceanos e rochas (Machado, 2005). Nas rochas o carbono é oriundo da decomposição de organismos, fossilização e minerais, ou seja, a ocorrência do carbono tem origem biótica e abiótica. Diante dos ecossistemas terrestres, os solos possuem o maior reservatório de carbono, tendo como principal fonte o processo de decomposição da matéria orgânica associada à atividade biológica, temperatura/umidade (Machado, 2005; Silva, 2014).

Em escala global, os solos estocam duas vezes mais carbono do que a atmosfera. Desta forma, as alterações no estoque de carbono do solo têm grande relevância nas variações interanuais e até mesmo por décadas no ciclo global do carbono (Trumbore; Camargo, 2009).

Considerando o aumento da emissão dos gases que intensificam o fenômeno “efeito estufa”, os quais são chamados de Gases do Efeito Estufa (GEEs), está o dióxido de carbono (CO₂), um dos principais responsáveis pelo aumento do aquecimento global (Carvalho *et. al.*, 2010).

De acordo com a ONU, foram liberados cerca de 4,2 bilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera em 2018 (Olhoff; Christensen, 2018). Segundo pesquisadores, o aumento da liberação dos GEEs é decorrente do uso de combustíveis fósseis, do desmatamento, das queimadas e do uso inadequado do solo na agricultura.

No relatório brasileiro de Análise das Emissões de Gases de Efeito Estufa lançado em 2020, as mudanças de uso da terra são apontadas como as principais fontes emissoras dos GEEs para o ano de 2019, no Brasil. O documento aponta que estas mudanças corresponderam a 44% do total de emissões, ligadas principalmente ao desmatamento, seguidas pelo setor agropecuário, que correspondeu a 28% e o setor de energias, com 19% do total. Segundo o levantamento feito pela Carbon Brief, o Brasil ocupa a 4ª posição entre os países que historicamente mais emitem CO₂ no mundo, o que corresponde a 5% do total global (Evans, 2021).

Existem diversos estudos direcionados à compreensão da dinâmica do fluxo e sequestro de carbono, porém estes se concentram em maior parte nas áreas compostas pelas florestas tropicais úmidas (Santos, 2017; Chang, 2002). Entretanto, áreas como o

bioma Caatinga, que apresentam estrutura vegetal diferente das florestas tropicais, desempenham importante papel no sequestro de carbono, visto a alta atividade fotossintética da vegetação quando há disponibilidade de água (Santos, 2017). O bioma Caatinga que sofre com alterações em suas estruturas ambientais desde o processo de colonização do Brasil, mas especificamente na região nordeste, vêm demonstrando um acentuado processo de degradação do solo, este decorrente dos tipos de uso e cobertura da terra que estão diretamente relacionados com as intensas atividades antrópicas da região (Caetano, *et al.*, 2022).

A composição vegetal da Caatinga é acometida pelos fatores edafoclimáticos, como a escassez hídrica e pedogênese, elementos que influenciam a variação da composição vegetal e o seu desenvolvimento (Caetano, *et al.*, 2022), tal arranjo configura a Caatinga como um cenário ambiental único dentre os demais biomas brasileiros. Desta forma, a compreensão da dinâmica ambiental dentro do bioma Caatinga se torna extremamente relevante, uma vez que, está entre os biomas menos protegidos e estudados do Brasil (Barbosa *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019)

A região da Caatinga, onde está inserido Morro do Chapéu, município que vem se destacando no estado da Bahia pelo seu processo de agricultura, desenvolvimento de energia eólica e turismo, possui uma carência de informações em aspectos como a quantidade de tempo necessário para que ocorra a regeneração ou recuperação em uma área afetada pela atividade antrópica, visto que, a recuperação está atrelada a variáveis, como ao grau de antropização, degradação e a dinâmica do clima, associado a fluxos de carbono e outros elementos microclimáticos (Santos, 2017).

Quanto ao fluxo, este é entendido como a quantidade de carbono transferida de um reservatório para outro por unidade de tempo, devido a processos físico-bio-geo-químicos (Pacheco, Helene, 1990). O fluxo de CO₂ ocorre por meio da fotossíntese, onde as plantas absorvem o gás carbônico e usando luz solar (que regula a abertura dos estômatos) e água o convertem em tecido vivo, liberando o oxigênio (O₂) para atmosfera (Brady, 1989; Cerqueira, Franca-Rocha, 2007; Silva, 2022). A quantidade de carbono capturada e que será fixada varia conforme a densidade populacional e composição florística da vegetação (Fleischer *et al.*, 2016; Cerqueira, Franca-Rocha, 2007; Aguiar *et al.*, 2006; Rahman *et al.*, 2001).

Dessa maneira, é essencial que haja medidas de mitigação do aumento do dióxido de carbono na atmosfera, por meio do sequestro de Carbono pela biomassa vegetal a partir da fotossíntese, e posterior incorporação e estoque no solo. Para que isso ocorra, é

imprescindível a preservação e conservação das áreas com presença da vegetação, assim como o manejo apropriado do solo (Dôres; 2020). A importância da adoção de ações como estas são reforçadas pela Agenda 2030, a qual compreende os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que buscam reduzir os desequilíbrios ambientais, sociais e econômicos, além de preservar o ambiente e por consequência, o ciclo do carbono. Diante da importância da vegetação para esse cenário de pesquisa, torna-se relevante a elaboração de estudos que busquem compreender a dinâmica do CO₂ que é absorvido pela vegetação (Silva, 2022).

Dentre as possibilidades de técnicas a serem utilizadas, está o sensoriamento remoto, em consonância com os índices espectrais de vegetação, que possibilita estimar para um determinado recorte espacial e em um dado período as taxas de absorção, além de analisar demais variáveis que possam influenciar no fluxo do CO₂. A integração dos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), com o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI), como proposto por Rahman e colaboradores (2000) permite determinar a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação durante a atividade fotossintética isso por meio de um terceiro índice, o Índice de Sequestro Florestal de Carbono (CO₂Flux).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Avaliar a dinâmica do fluxo de CO₂ a partir da aplicação de indicadores que favoreçam a compreensão da relação entre as transições de usos e cobertura da terra e fluxo de CO₂.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a produção científica ao que tange aos métodos e técnicas aplicadas na identificação da dinâmica do Carbono atmosférico em diferentes usos e cobertura.
- Correlacionar a dinâmica do fluxo de CO₂ com o uso e cobertura da terra;

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. G.; *et al.*. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p.248-257, 2006.
- CAETANO, R. *et al.* Uso de índices espectrais na caracterização vegetal em região de Caatinga do semiárido baiano. **Revista de Geociências do Nordeste**. v.8, nº2, p. 28 – 43. 2022.
- CARVALHO, J. L. N.; *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 277-290, abr. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QKJZTHq3WhVSXHgVMyskHCL/?lang=pt> . Acesso em: 10 out. 2022.
- CERQUEIRA, D. B.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - BA. In: XIII SBSR, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 2413-2419, 2007.
- CHANG, M. Sequestro de Carbono Florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**. Curitiba, n. 102, p. 85-101, 2002.
- DÔRES, Leticia de Alcântara. **Armazenamento de carbono e produtividade de Lameiros no Nordeste de Portugal**. 2020. 61p. Dissertação (Mestrado). Instituto Politécnico de Bragança, 2020.
- EVANS, Simon. Historical responsibility for climate change is at the heart of debates over climate justice. **Carbon Brief**, 2021. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/> . Acesso em: 09 de Junho de 2023.
- FLEISCHER, E.; KHASHIMOV, I.; HÖLZEL, N.; KLEMM, O. Carbon exchange fluxes over peatlands on Western Siberia; Possible feedback between land-use change and climate change. **Science of the Total Environment**. v. 545, p. 424-433, 2016.
- MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**. v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.
- OLHOFF, A.; CHRISTENSEN, J. - **Emissions Gap Report 2018**. Disponível em: <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm%0Ahttps://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018> . 2018.
- PACHECO, M. R. P.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos Avançados**. v. 4, n.9. p. 204 – 220, 1990.
- SANTOS, C. V. B dos. **Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO₂ em áreas de caatinga preservada e em regeneração**. 2017. 75p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana, 2017.
- SILVA, B. H. R. **Uso de índices espectrais para avaliação da estimativa de absorção de CO₂ pela vegetação para o município de Uberlândia – MG: 2006 – 2020**. 2022. 64p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia.
- SILVA, C. P. d. **Modelagem espectral para a concentração e fluxo de CO₂ em paisagens naturais e antrópicas na região amazônica**. 2014. 173p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2014.
- TRUMBORE, Susan; CAMARGO, Plínio Barbosa de. Soil carbon dynamics. IN: KELLER, Michael; *et al.* **Amazon and Global Change**. Washington: American Geophysical Union, 2009. p. 451-462.

CAPÍTULO II: METODOLOGIAS E TÉCNICAS APLICADAS AO ESTUDO DINÂMICA DO CO₂ E USO E COBERTURA DA TERRA

RESUMO

A importância dos estudos ligados ao entendimento do carbono no solo é algo extremamente relevante, visto o papel que este assume diante da conservação e fertilidade do solo. Desse modo, o presente trabalho realizou uma análise bibliométrica sobre a dinâmica do carbono e a relação do mesmo com os diferentes tipos de uso e cobertura da terra. Nesse sentido, utilizou-se a base de dados da SCOPUS para extração dos artigos científicos e posteriormente ferramentas bibliométricas para construção de redes e gráficos que possibilitaram a identificação de padrões e informações relevantes para esta pesquisa. Os resultados encontrados demonstraram que os estudos ligados à dinâmica do carbono e os diferentes tipos de uso e cobertura da terra evoluíram nas últimas décadas, apresentando um aumento de 72% nas publicações, estando relacionado com a crescente preocupação mundial em relação à necessidade de se estabelecer meios sustentáveis para o seu desenvolvimento. As técnicas e metodologias mais utilizadas estão associadas aos índices de vegetação (NDVI, EVI, LAI) e aos modelos de simulação (CENTURY e CASA) porém, foi identificada uma lacuna quanto a definição de uma metodologia que permitisse trabalhar com um grande número de dados de forma mais eficiente, a exemplo da aplicação de técnicas como o Google Earth Engine. Lacunas também foram apontadas no que se refere às áreas de estudo, os recortes mais explorados são as regiões úmidas a subúmidas, com grande presença da vegetação florestal, o que permite destacar a necessidade de maior exploração de área com características fisiográficas como a Caatinga, para que a compreensão dessas dinâmicas ocorra em todos os possíveis cenários.

Palavras-chave: Análise bibliométrica; Carbono no solo; Google Earth Engine.

ABSTRACT

The importance of studies related to the understanding of carbon in the soil is extremely relevant, given the role it plays in soil conservation and fertility. Thus, the present work carried out a bibliometric analysis on the dynamics of carbon and its relationship with different types of land use and land cover. In this sense, the SCOPUS database was used for the extraction of scientific articles and, later, bibliometric tools were used for the construction of networks and graphs that enabled the identification of patterns and information relevant to this research. The results found showed that the studies linked to carbon dynamics and the different types of land use and land cover have evolved in the last decades, presenting a 72% increase in publications, being related to the growing worldwide concern regarding the need to establish sustainable means for its development. The most used techniques and methodologies are associated with vegetation indices (NDVI, EVI, LAI) and simulation models (CENTURY and CASA). However, a gap was identified regarding the definition of a methodology that would allow working with a large number of data in a more efficient way, such as the application of techniques like Google Earth Engine. The most explored areas are the humid to sub-humid regions, with a large presence of forest vegetation, which highlights the need for further exploration of areas with physiographic characteristics such as the Caatinga, so that the understanding of these dynamics occurs in all possible scenarios

Keywords: Bibliometric analysis; Soil carbon; Google Earth Engine.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a relevância do carbono orgânico do solo já é globalmente difundida, este desempenha um importante papel na regulação das mudanças climáticas, seja por meio da liberação do Carbono (C) ou enquanto sumidouro do mesmo (Trumbore; Camargo, 2009). Os solos são fornecedores de importantes serviços ecossistêmicos como a produção de alimentos e disponibilidade de água, porém com aumento das demandas da população surge também uma constante e crescente pressão sobre ele (Silva, 2020; Milne *et al.*, 2014).

O carbono orgânico do solo é um importante indicador de fertilidade (Wang *et al.*, 2018) e corresponde a 58% da matéria orgânica (MO) presente no solo, estando diretamente relacionado aos tipos de manejo, uso e cobertura da terra que atuam fortemente na modificação das taxas de concentração da MO.

O reconhecimento da necessidade de implantação de práticas que maximizam o aumento do armazenamento de C nos solos é algo posto e compreendido como um caminho crucial para amenizar os crescentes níveis de emissão de CO₂ para a atmosfera e assim auxiliar na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas ocasionadas pela interferência do homem (Lal *et al.*, 2007; Smith, 2012; IPCC, 2022).

Por meio das técnicas de mapeamento com Sensoriamento Remoto (SR), é possível estabelecer cronologias espaciais da vegetação, gerar modelos de quantificação de biomassa ou ainda detecção de alterações na vegetação, possibilitando uma análise da degradação vegetal e dos impactos ambientais gerados (Lima Júnior *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2019).

As técnicas do Sensoriamento Remoto surgem então como um importante arcabouço para os estudos voltados à compreensão de padrões espaciais de fluxo de carbono, o que torna possível a mensuração do sequestro de carbono em compartimentos, como o solo, de forma a auxiliar no desenvolvimento de práticas eficazes na mitigação do CO₂ da atmosfera.

O Protocolo de Kyoto, acordo firmado entre os países integrantes da Organização das Nações Unidas, estabeleceu algumas medidas que precisam ser adotadas tendo como meta a redução da emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE), como: a proteção e aumento de sumidouros e reservatórios de GEE sobre o meio ambiente e promoção de pesquisas e tecnologias ligadas ao sequestro de dióxido carbono. Visando o cumprimento das metas estabelecidas entre os países, eles passaram a investir em estudos voltados à diminuição e mitigação do CO₂.

Embora as técnicas de SR sejam amplamente utilizadas nos estudos voltados à compreensão da dinâmica do gás carbônico desde a década de 1990 (Sellers *et al.*, 1995; Feng

et al., 2017; Gomes *et al.*, 2019; Grinanda *et al.*, 2017), a realização de uma análise dos estudos já desenvolvidos é relevante, uma vez que está possibilita compreender padrões e lacunas de desenvolvimento desta área de pesquisa. Além disso, é possível identificar tendências temáticas, metodológicas e conceituais, considerando a sua variação no tempo, de forma a contribuir em áreas da ciência ainda em desenvolvimento ou já consolidados (Zhang *et al.*, 2017).

Os pesquisadores vêm utilizando a bibliometria, que tem por base a utilização de ferramentas matemáticas e estatísticas para analisar publicações, citações e periódicos em diferentes campos de estudo (Vasconcelos *et al.*, 2020). A realização de uma bibliometria consiste na aplicação de uma análise estatística para conhecer determinadas características de uso e construção de documentos científicos, tendo um caráter quantitativo e qualitativo (SPINAK, 1996), o que segundo Cobo *et al.* (2011), combina ferramentas de análise de desempenho e mapeamento de ciências para análise do campo de pesquisa. Portanto, a abordagem bibliométrica é uma ferramenta que permite analisar a evolução das pesquisas científicas com base na estrutura conceitual, intelectual e social (Cater; Zupic, 2015).

O estudo da relação do carbono no solo está diretamente relacionado com os tipos de uso e cobertura da terra. Isso têm ganhado ênfase nas últimas décadas na comunidade científica, tendo em vista a necessidade de compreender metodologias e técnicas que identifiquem dinâmica do Carbono atmosférico e o seu processo em diferentes níveis nos sistemas naturais, tais como, solo e biomassa.

Diante deste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a produção científica ao que tange aos métodos e técnicas aplicadas na identificação da dinâmica do Carbono atmosférico em diferentes usos e cobertura. Para alcançar o objetivo pretendido, algumas questões foram levantadas: quais as tendências de publicações? Quais os países e revistas mais relevantes? Quais os autores e trabalhos mais citados? Qual o foco de pesquisa em diferentes períodos? Quais os sensores e metodologias mais utilizadas? Quais são as áreas onde estes estudos são desenvolvidos?

2 MATERIAIS E MÉTODO

Para elencar os caminhos desta pesquisa, o quadro apresenta as questões levantadas e os dados que foram utilizados para respondê-las.

Descrição da relação entre as questões levantadas, o tipo de análise e os dados		
Questões	Tipo de análise	Dados utilizados
Quais as tendências de publicações?	Estatísticas gerais; Rede de coocorrência de palavras-chave; Rede de co-autoria	Todos os artigos
Quais os países que mais contribuíram nessa área de pesquisa?	Rede de co-autoria entre países; Estatísticas gerais	Todos os artigos
Quais as publicações mais citadas?	Rede de coocorrência; Estatísticas gerais	Artigos mais citados
Quais as revistas mais relevantes nessa área de pesquisa?	Estatísticas gerais	Todos os artigos
Quais foram os autores que mais contribuíram com as pesquisas nessa área?	Rede de co-autoria; Estatísticas gerais	Todos os artigos
Qual o foco de pesquisa em diferentes períodos?	Rede de coocorrência de palavras-chave por década	Todos os artigos
Quais os sensores utilizados?	Leitura dos artigos	Artigos mais citados
Quais as metodologias utilizadas?	Leitura dos artigos	Artigos mais citados
Qual a área de estudo?	Leitura dos artigos	Artigos mais citados

Quadro 01: Relação entre as questões, o tipo de análise e os dados coletados

Elaboração: SILVA, 2022.

Para respondermos tais questões utilizou-se os artigos de referência extraídos da base da SCOPUS, para a elaboração de gráficos, quadros, redes de dados bibliográficos e redes de co-ocorrência de termos. A abordagem utilizada está dividida em três etapas, a primeira fase consiste na identificação dos termos e conectores mais relevantes, além da definição dos filtros aplicados na base de busca. Na segunda fase, foi realizada a leitura de todos os títulos e resumos dos artigos selecionados, de maneira a identificar e excluir os artigos que não tratavam da temática. Destes, selecionou-se os 30% mais citados. Os procedimentos metodológicos adotados podem ser observados na figura 01.

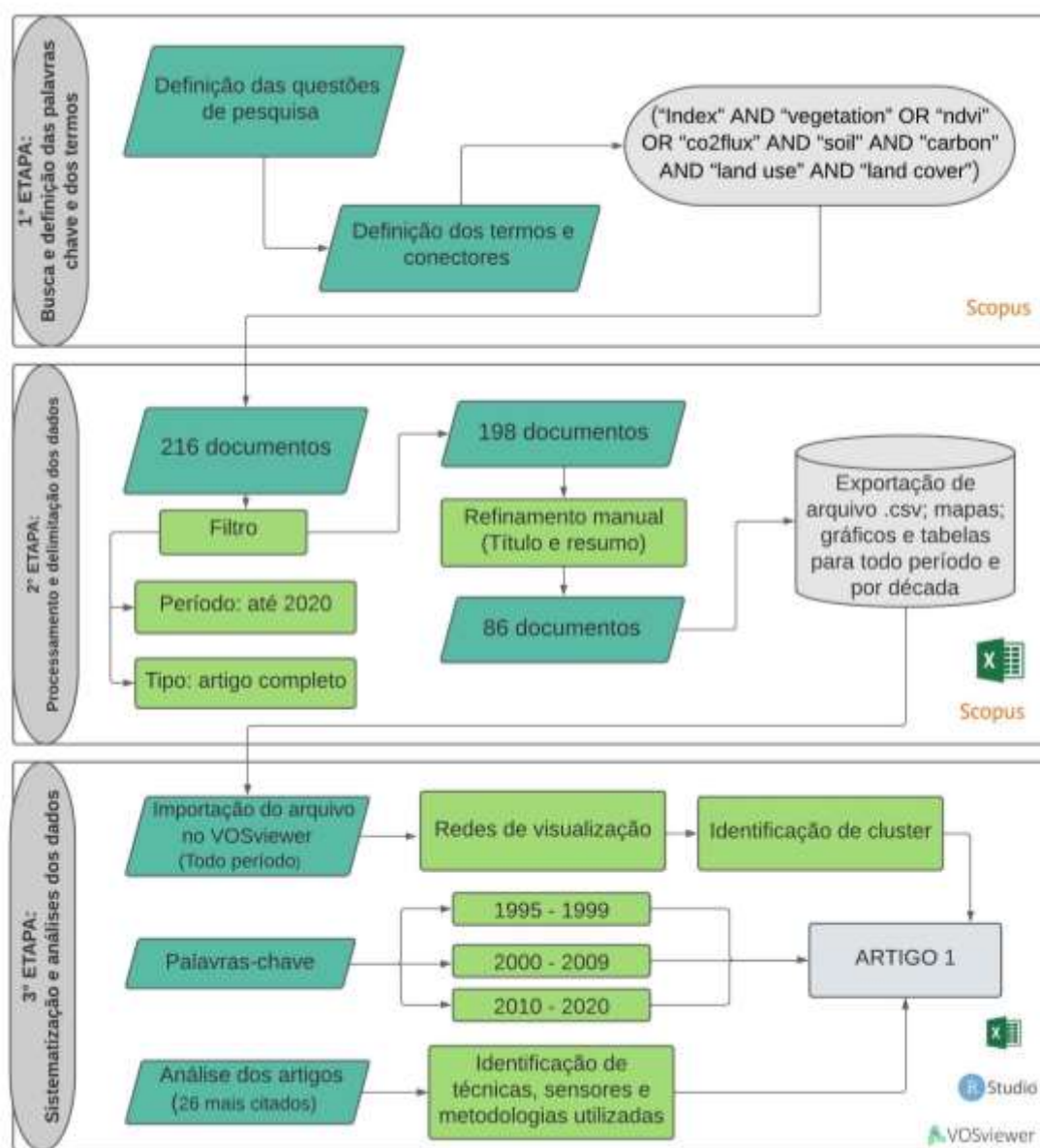


Figura 01: Fluxograma metodológico do artigo I.
Elaboração: SILVA, V.G. 2022

2.1 Critérios de pesquisa e procedimentos de triagem

A base de dados selecionada foi a SCOPUS, considerada o maior banco de dados de caráter multidisciplinar, contabilizando mais de 24.000 periódicos revisados por pares e mais de 5.000 editores e citações de diferentes países (ELSEVIER, 2021). Além disso, a base da SCOPUS possui uma gama de ferramentas que operam de forma eficaz para recuperar, agregar e exportar informações de dados em vários formatos, de maneira a possibilitar uma visão mais abrangente das pesquisas produzidas no mundo nas áreas da ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades (Vasconcelos *et al.*, 2020).

Com o objetivo de identificar os artigos que abordam a temática aqui discutida, realizou-se algumas buscas preliminares na base da SCOPUS, por meio da combinação de diferentes termos e conectores para então, encontrarmos aqueles que se mostraram mais relevantes para a presente pesquisa: *(index AND vegetation OR ndvi OR co2flux) AND (soil AND carbon) AND (land AND USE) AND (land AND cover)*.

A busca realizada foi feita por meio dos títulos, resumos e palavras-chave, limitou-se apenas a publicações de periódicos, reduzindo a possibilidade de inclusão de trabalhos duplicados, de forma a evitar a consideração de resultados falso-positivos. Foram considerados os trabalhos indexados a qualquer momento até o ano de 2020, do tipo artigo e de língua portuguesa, inglesa ou espanhola. Além disso, os trabalhos publicados em e/ou referentes a críticas, anais de congressos, livros e capítulos de livros foram descartados, uma vez que, estes podem conter estudos publicados em mais de um meio de divulgação.

O conjunto de artigos obtidos, um total de 198 documentos, passou por um processo de triagem, onde realizou-se a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave com o objetivo de identificar a ambivalência de palavras, o que resultou na delimitação de 86 artigos. Após esta etapa, selecionou-se uma amostra de 30% do conjunto de artigos mais citados, um total de 26 artigos. A partir dessa amostragem, foi realizada uma análise sistemática por meio da leitura desses documentos, buscando identificar quais foram as áreas de estudos, sensores, metodologias e técnicas utilizadas.

2.2 Elaboração e análise das redes

Com a base de dados selecionada elaboramos as redes para os dados bibliográficos. Foi utilizado o software *VosViewer*, que foi desenvolvido para análises bibliométricas das produções científicas. O *software* utiliza o método de mapeamento VOS (*Visualization of Similarities*), que possibilita localizar e calcular os tópicos presentes em um mapa bidimensional de maneira que a distância entre dois ou mais itens representassem à similaridade entre os mesmos, podendo ser conectados por coautoria, co-ocorrência, citação, acoplamento bibliográfico ou links de cocitação. (Waltman; Van Eck; Noyons, 2010; Van Eck; Waltman, 2010). A elaboração dos gráficos foi realizada a partir do pacote bibliometrix do programa R e do *software* Excel.

Na análise de co-ocorrência das palavras-chave foi aplicado um filtro manual para eliminar palavras irrelevantes, assim como a junção de termos que representam sinônimos ou abreviações, o *thesaurus* (Van Eck; Waltman, 2010), o mesmo procedimento foi utilizado para

as análises de autores, organizações e países, a fim de evitar duplicação ou inclusão de resultados falsos.

Para isso foi empregue o método de contagem binária, onde as repetições dos termos dentro dos documentos não são levadas em consideração, isto significa que mesmo que o termo apareça mais de uma vez no resumo, título ou palavras-chave, ele será contabilizado apenas uma vez (Waltman; Van Eck; Noyons, 2010).

Já nas análises dos autores e países considerou-se o número de artigos produzidos por autor ou país, onde estabeleceu-se um mínimo de três produções. O número de ocorrência de palavras-chave foi definido em sete vezes para título, resumo e palavras-chave, evitando nós com baixa frequência e conexões. Em relação às décadas que abrangem todo o período de estudo (1995-2020), a frequência de palavras foi definida em duas vezes para a década de 1990, quatro vezes para a década de 2000 e seis vezes para década seguinte, o ano de 2020 foi incluso na década de 2010 por possuir um único ano em sua década, o que não seria suficiente para representação.

As redes são representadas por um conjunto de nós e arestas, onde os nós representam os objetos de estudo, como as palavras-chave e países, e as arestas a conexão ou relação entre os objetos. A distância entre nós indica a proximidade da relação existente entre os termos, enquanto o tamanho dos nós é definido pelo peso que o termo representa em uma rede (Waltman; Van Eck; Noyons, 2010; Van Eck; Waltman, 2010).

3 RESULTADOS

3.1 Tendência de publicação

Os 86 artigos recuperados foram publicados entre os anos de 1995 e 2020, tendo uma média de 3,3 documentos por ano. Verificamos que entre esse período, a partir da curva de distribuição cumulativa da série temporal, houve um crescimento exponencial na produção dos artigos por ano, alcançando uma taxa de 7,97% de aumento.

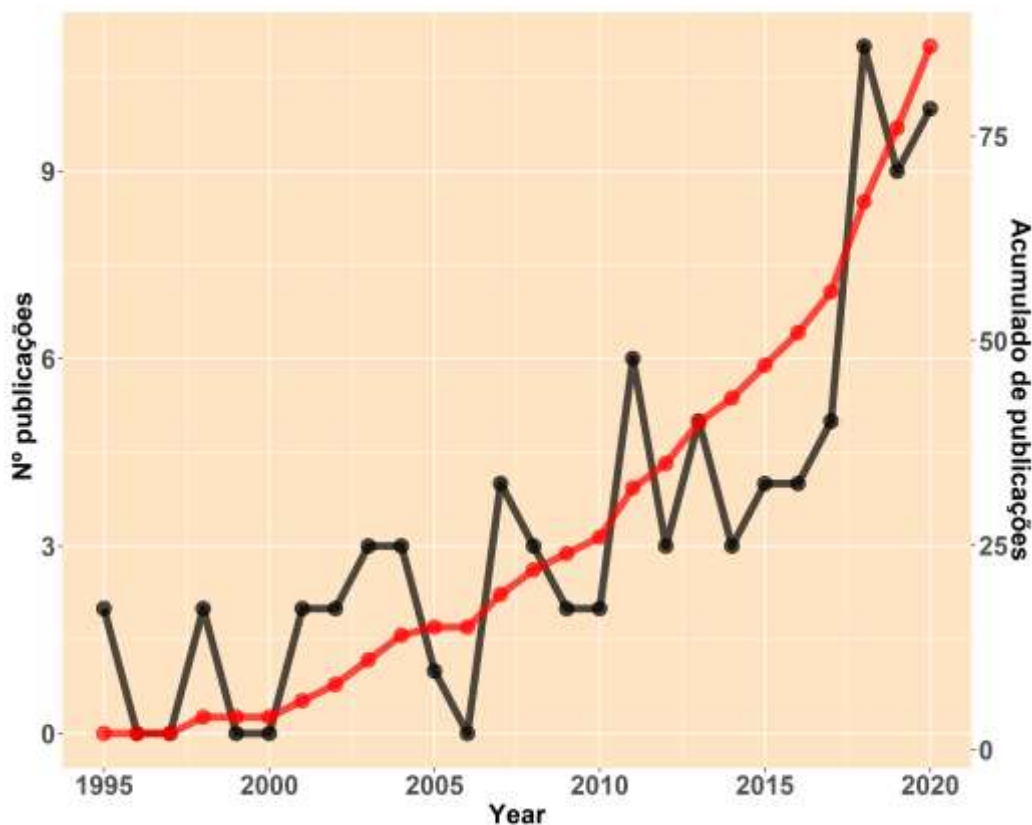


Figura 02: Gráfico de tendência anual de publicações

Fonte: SCOPUS; **Elaboração:** Autora, 2023.

Observa-se no gráfico de tendência, figura 2, o primeiro pico de publicações, corresponde a década de 2000, no ano de 2003, com três artigos, o mesmo se apresentou para o ano de 2004. Houve um outro pico de produtividade, este já na década de 2010, em que foram publicados um total de seis artigos no ano de 2011, mas foi no ano de 2018 que as publicações ganharam maior destaque, abrangendo um total de onze artigos publicados.

Ao analisarmos a tendência de publicações por década, nota-se que no período de 1990, o número de trabalhos corresponde a 2,2% do total, tornando-se mais expressivo na década seguinte, com 22% dos artigos publicados, mas somente a partir da década de 2010, que inicia em 2010 até 2020, as publicações ganham mais notoriedade, o que representa um total de 72% das publicações.

De acordo com os dados da base da SCOPUS, as áreas de pesquisa mais relevantes para o tema da dinâmica do carbono e a relação com os tipos de uso e cobertura da terra são as Ciências da Terra e Planetária (28,8%), Ciências Agrárias e Biológicas (26,7%), Ciências Ambientais (24%) e as Ciências Sociais (4,1%) em menor proporção.

Já em relação às fontes de publicação, foram identificados 55 periódicos, porém apenas cinco deles tinham três ou mais publicações. Com os dados obtidos, foi possível constatar que ao longo do tempo os periódicos Catena e Geoderma foram os mais representativos, pois ambos possuem o maior número de publicações, sete artigos cada. A tabela 01 demonstra os 10 periódicos de maior destaque em relação ao número de publicações.

Periódico	Nº de publicações
Catena	7
Geoderma	7
Journal of Geophysical Research Atmospheres	4
Remote Sensing of Environment	4
Remote Sensing	3
Biogeosciences	2
Chinese Geographical Science	2
Ecological Indicators	2
Ecological Modelling	2
Geoscientific	2

Tabela 01: Periódicos com maior número de publicações indexadas na base de dados da SCOPUS

Fonte: SCOPUS, 2020.; **Elaboração:** Autora, 2021.

A partir da busca realizada foram identificados um total de 39 países que cooperaram entre si em pelo menos uma publicação, o que pode ser observado na rede de relação de publicações entre os países (Figura 03). Nota-se ainda uma grande disparidade entre o número de publicações de cada país, onde a China e os Estados Unidos ganham destaque em comparação aos demais, com 24 (18,18%) e 21 (15,9%) publicações respectivamente, o que é representado pelo tamanho dos nós que identificam estes países (Figura 03).

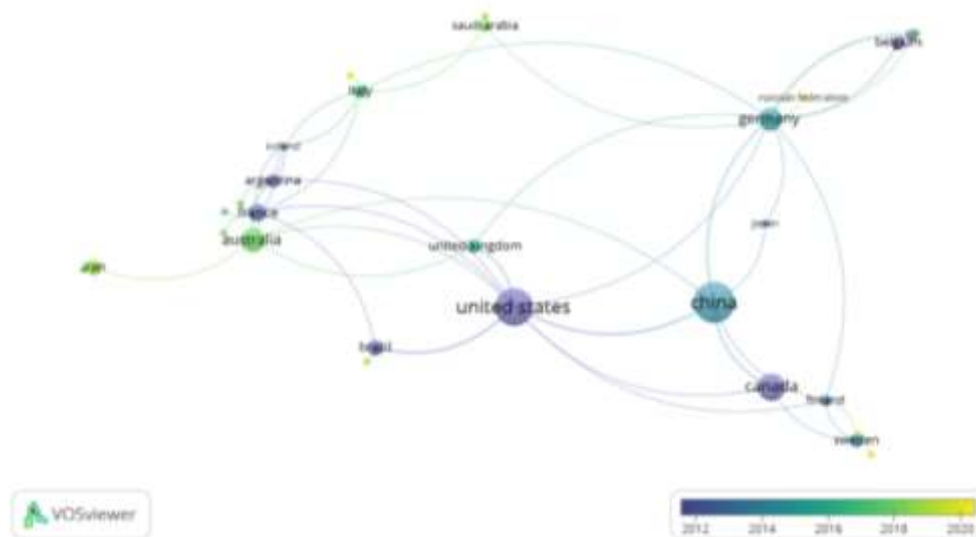


Figura 03: Rede de co-autoria entre países. Os círculos representam cada país e seu tamanho é correspondente ao número de publicações. As arestas que ligam cada círculo correspondem à intensidade com que ocorre a relação de cooperação entre esses países. As cores apontam a evolução no número de publicações de cada país ao longo dos anos.

Em relação às tendências, a partir da rede de relações de publicações entre os países (Figura 03), verificou-se que no início da década de 2010, período com maior número de publicações, os Estados Unidos, Canadá, França e Brasil aparecem como destaque na produção de trabalho com a temática aqui levantada. Porém, no decorrer da década, principalmente depois do ano de 2014 países como China, Austrália e Alemanha assumem um lugar de centralidade para as publicações. Entretanto, as primeiras publicações concentraram-se em países como Estados Unidos e Canadá, em maior escala, e Argentina, Brasil, França e Bélgica em menores proporções. Cabe salientar que mesmo com o avanço de publicações por parte de países como a China, que vem se destacando como grande produtora do conhecimento no mundo, ainda é notória a relevância dos Estados Unidos enquanto potência produtora do conhecimento mundial.

Uma outra questão bastante relevante a ser considerada é a rede de colaboração entre os países, onde a Alemanha estabelece o maior número de relações com os demais países, acompanhado pela China e os Estados Unidos que destacam-se apresentando também uma rede de colaboração ativa.

Afiliação das publicações	Nº de publicações	País
Chinese Academy of Sciences	13	China
University of Toronto	6	Canadá
University of Chinese Academy of Sciences	5	China
Ministry of Education China	4	China
NASA Goddard Space Flight Center	4	USA
The University of Sydney	4	Austrália
NASA Ames Research Center	3	USA
United States Geological Survey	3	USA
University of Maryland, College Park	3	USA
Carnegie Institution of Washington	3	USA

Tabela 02: 10 institutos e organizações que mais publicaram no período de estudo.

Fonte: SCOPUS, 2020.; **Elaboração:** Autora, 2021.

No que se refere às afiliações dos autores, identificou-se a partir dos dados 160 organizações, sendo que apenas seis possuíam quatro ou mais publicações (Tabela 02). O país com maior número de institutos classificados entre os dez que mais se destacam em relação ao número de publicações é o Estados Unidos, com cinco das dez organizações, seguido da China com três instituições, Austrália e Canadá apresentam apenas uma instituição. A Chinese Academy of Sciences, considerada a maior organização de pesquisa do mundo, que debruça seus estudos ao desenvolvimento da alta tecnologia ligada às Ciências naturais foi a que mais publicou dentro do período de estudo (treze publicações), tendo uma considerável diferença em comparação com a segunda instituição, University of Toronto (seis publicações) e a terceira University of Chinese Academy of Sciences (cinco publicações).

Ranking	Autores	Documentos	Citações
1º	Chen j.m	6	524
2º	Liu g.	6	370
3º	Freng x.	2	171
4º	Liu j.	2	305
5º	Klooster s.	2	69
6º	Potter c.	2	69
7º	Daughtry c.s.t	2	210
8º	Gunther k.p.	2	32
9º	Huang s.	2	13
10º	Hunt jr.e.r.	2	210

Tabela 03 (a): Relação dos 10 autores que mais publicaram

Fonte: SCOPUS, 2020. **Elaboração:** Autora, 2021.

Ranking	Autores	Citações	Documentos
1º	Chen j.m.	524	6
2º	Hall f.g.	450	2
3º	Vesala t.	431	2
4º	Liu s.	427	2
5º	Liu g.	370	6
6º	Field c.b.	341	2
7º	Liu j.	305	2
8º	Daughtry c.s.t	210	2
9º	Hunt jr.e.r.	210	2
10º	Feng x.	171	2

Tabela 03 (b): Os 10 que mais foram citados

Observa-se ainda que os autores que mais publicaram foram Chen. J. M e Liu. G, ambos com seis publicações, estes autores possuem filiação com as instituições mais representativas em relação ao número de trabalhos publicados (University of Toronto e Chinese Academy of Sciences, respectivamente) (Tabela 03). As linhas de pesquisa dos dois autores são voltadas para a aplicação do sensoriamento remoto e do Sistema de Informação Geográfica (SIG), porém Chen. J. M (destaque no clusters verde) tem seu interesse mais centralizado nos estudos ligados a modelagem dos ciclos biogeoquímicos e das mudanças climáticas, enquanto Liu. G (destaque no clusters azul) debruça-se mais precisamente ao entendimento e monitoramento das mudanças do uso e cobertura da terra e degradação da mesma.

Nos dados apresentados na Tabela 03 (a e b), nota-se que os dez autores com maior número de publicações e também aqueles com maior número de citações são em grande maioria chineses, é possível constatar que os autores com maior número de citações (Chen j.m.; Hall f.g.; Vesala t.; Liu s.; Liu g.), exceto o primeiro denotado na Tabela 04 b, não são os que mais publicaram (Chen j.m.; Liu g.; Freng x.; Liu j.; Klooster s.), o que indica que as publicações mais relevantes (mais citadas/discutidas) não são necessariamente dos autores que mais produziram acerca do tema.

3.2 Análises dos termos de pesquisa

As figuras 04, 05 e 06 exibem as redes de termos elaboradas a partir das décadas que o período de estudo abrange (1990, 2000 e 2010). Nos anos 90 (Figura 04), foram retornados sete termos com duas ou mais ocorrências, o que denota uma rede pobre em relação a frequência de termos, eles foram divididos em dois *clusters*, onde o verde abrange as palavras referentes às técnicas do sensoriamento remoto empregadas nos estudos que envolviam a produção primária líquida e os ciclos biogeoquímicos, sendo estes os termos que compõem o *clusters* vermelho.

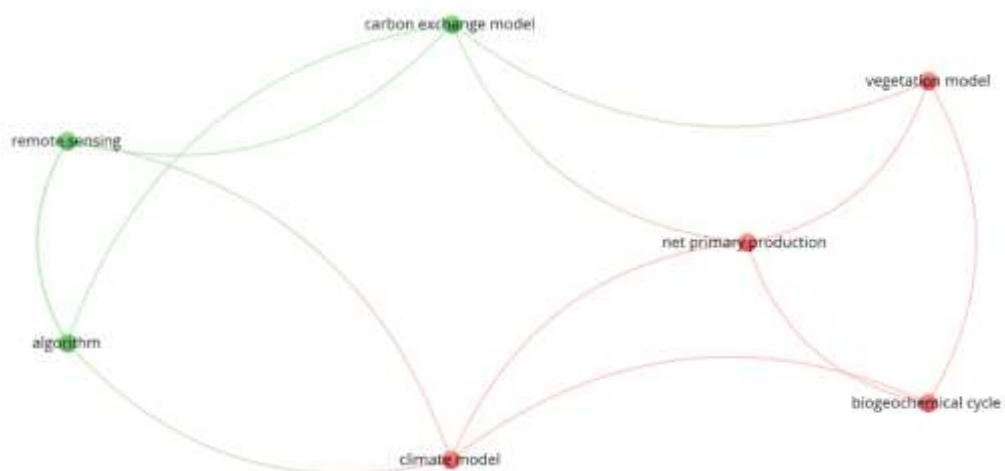


Figura 04: Rede de palavras-chave da década de 1990

Já na década seguinte (Figura 05), em que foram consideradas as palavras-chave que ocorreram quatro vezes ou mais, observa-se um aumento discreto dos termos (onze termos), que estão relacionados principalmente às técnicas Sensoriamento Remoto e que estabelecem uma relação entre os termos “land cover” e “NDVI” com “organic carbon”, “soil carbon” e “land degradation” evidenciando que os estudos desta época começam a debruçar-se mais acerca do entendimento da dinâmica do carbono no que tange os tipos de cobertura da terra, podemos inferir que isso se deve ao fato das emissões de carbono estarem cada vez mais alarmante durante esse período, o que foi comprovado pelo IPCC (2022), que apontou o período correspondente a década de 2010 como o de maior emissão da história da humanidade estando relacionadas principalmente às atividades industriais e as modificações dos tipos uso e cobertura.

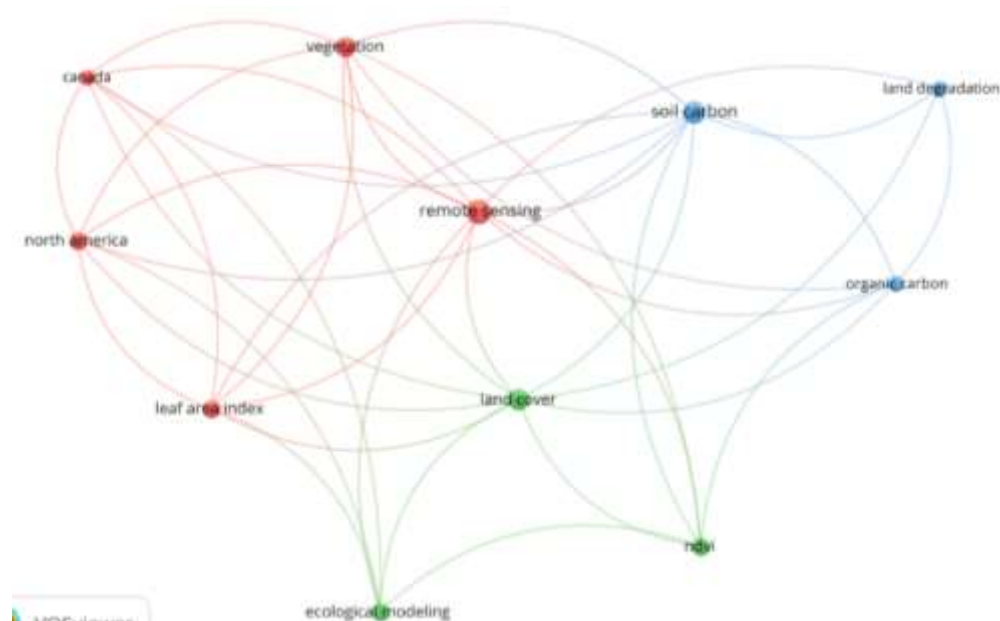


Figura 05: Rede de palavras-chave da década de 2000.

Na rede gerada para a década de 2010 (Figura 06), há um enriquecimento dos termos com a inclusão de tópicos como sequestro de carbono e carbono orgânico, além do termo China, que representa um dos países mais relevantes na publicação de artigos científicos. Ainda, nessa década, observa-se que os estudos ligados ao carbono passam a relacionar com diferentes tipos de uso e cobertura da terra como floresta, agricultura, pastagem e mais discretamente uma ligação com a região semiárida.

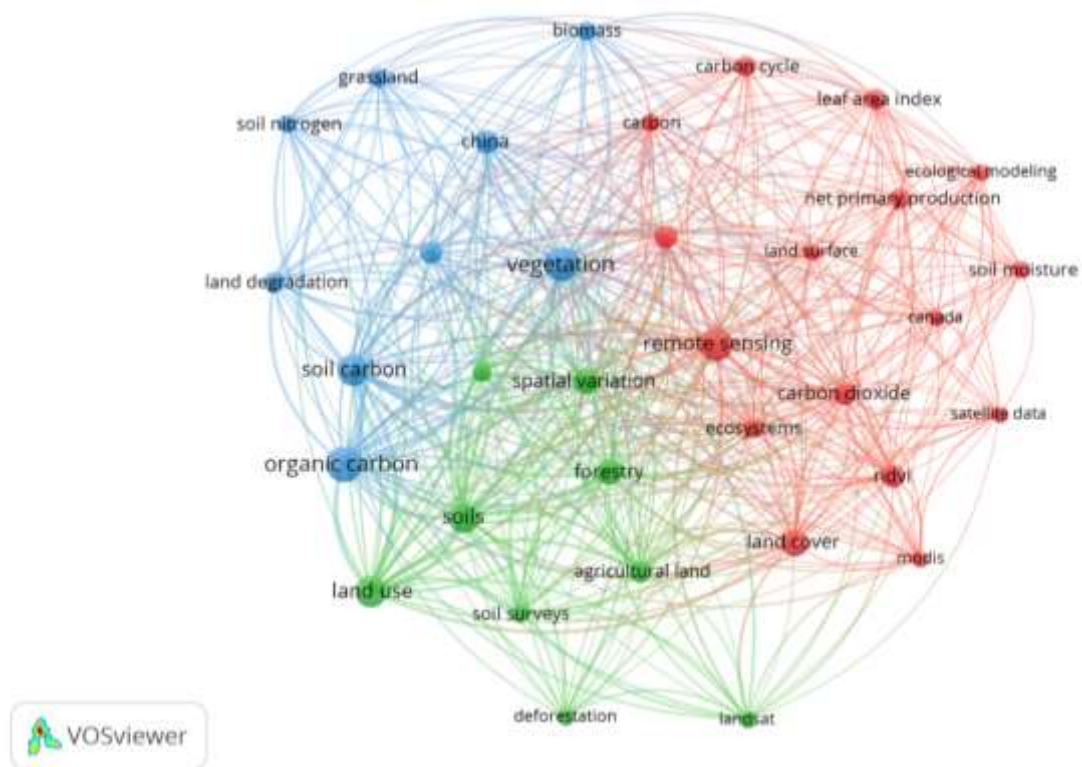


Figura 06 : Rede de palavras-chave para década de 2010

A rede de termos que abrange todo o período, apresenta uma variedade de abordagens de pesquisa e possibilidades de aplicações a partir do Sensoriamento Remoto. Como retorno, a rede indicou 34 palavras, que ocorreram pelo menos sete vezes, em um grupo que englobou 1000 termos, sendo que os mais frequentes foram carbono orgânico (87 ocorrências), vegetação (31 ocorrências), Sensoriamento Remoto (28 ocorrências) e uso da terra (25 ocorrências) (Figura 07).

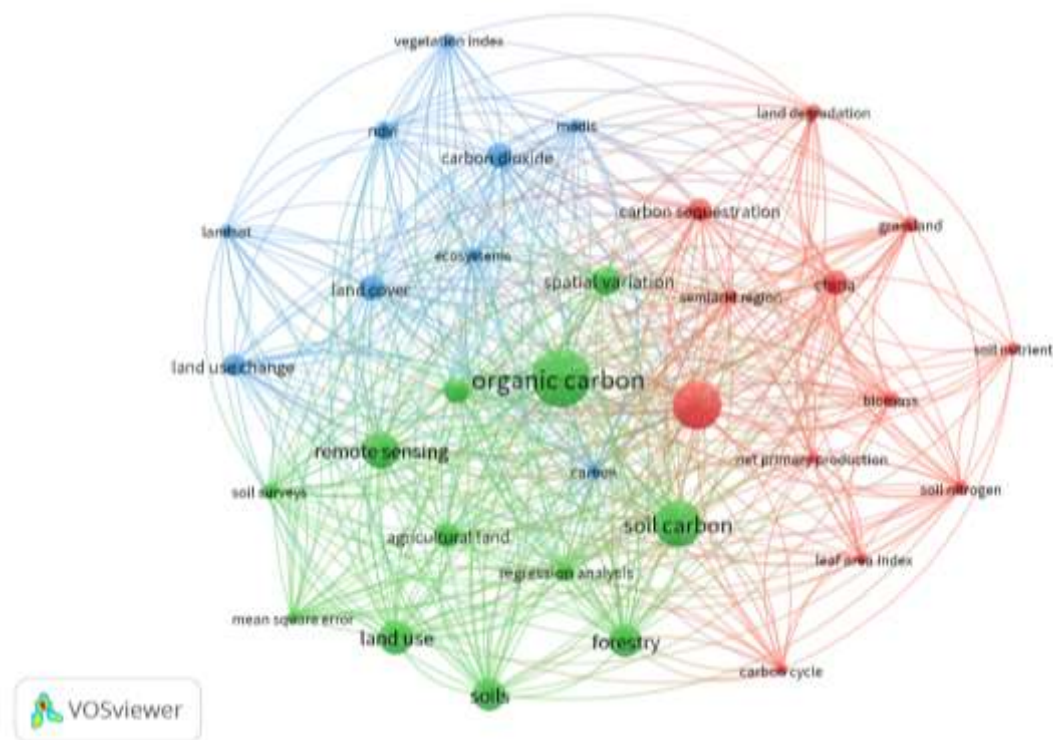


Figura 07: Rede de palavras-chave para todo período (1995-2020)

A rede é dividida em três clusters, na cor vermelha estão os termos que associam-se as metodologias aplicadas ao estudo da Produção Primária Líquida e ao ciclo do carbono como por exemplo, Índice de Área Foliar (que aparece em 11 publicações) e o NDVI (com 14 ocorrências), assim como os dados de satélites e uma de suas fonte de dados, o sensor MODIS (7 ocorrências). Em verde, aparecem as palavras relacionadas aos diferentes tipos de uso e cobertura da terra (agricultural land; forestry), bem como o termo “deforestation” e “spatial variation” que indicam um processo mudança no uso e cobertura da terra, neste clusters foi observado a predominância da aplicação do sensor LANDSAT. Já na cor azul, denota-se os termos mais abrangentes, ligados a estudos pedológicos, ao estoque de carbono, onde destacam-se os temas carbono orgânico, degradação do solo e vegetação. Destaca-se também o termo China, como uma relevante unidade espacial de investigação nos artigos.

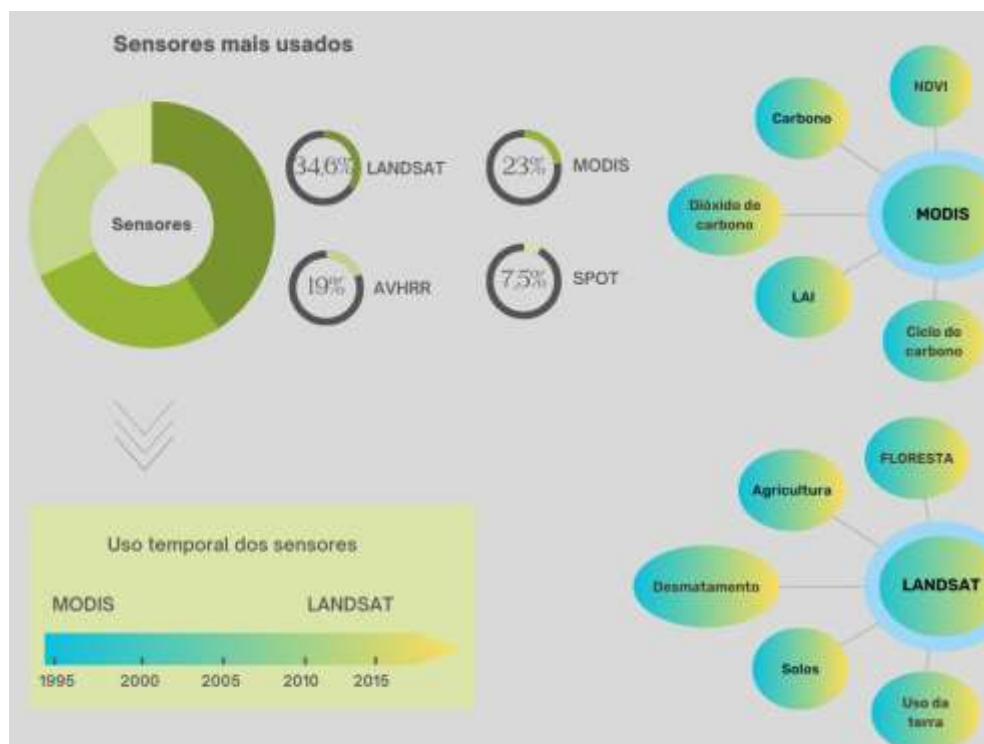


Figura 09: Sensores mais utilizados e estudos relacionados.

De modo geral, os sensores mais explorados foram os da série LANDSAT, presente em nove dos 26 trabalhos, seguido pelo MODIS usado em seis publicações, AVHRR em cinco e o SPOT em dois artigos (Figura 09). Em dois, dos 26 trabalhos, utilizou-se sensores ativos, como o espectrorradiômetro Fieldspec Pro. Um recurso explorado, mesmo que em uma pequena escala dentro dos artigos aqui discutidos, foi o sensoriamento remoto aerotransportado. Outra importante observação é a não existência de estudos em região do semiárido brasileiro com o uso do sensor LANDSAT.

Os sensores LANDSAT e MODIS se destacam desde a publicação dos primeiros trabalhos observados, sendo o primeiro com aplicações mais recentes. Ambos possuem temáticas que perpassam pelo uso do sensoriamento remoto e dinâmica do carbono (Figura 10), entretanto com enfoques diferentes, o termo MODIS está associado as discussões voltadas ao uso das técnicas, a exemplos dos índices espectrais, enquanto o LANDSAT, está atrelado ao entendimento da dinâmica do carbono em diferentes cenários, o que também pode ser observado na Figura 09.



Figura 10: Foco de estudo dos artigos mais citados.

Dez artigos tiveram como foco principal de estudo o estoque de carbono no solo (38,4%), oito buscavam compreender a relação dos tipos de cobertura da terra com a dinâmica da relação terra-atmosfera (30,7%), três artigos discutiam o ciclo do carbono (11,5%) e cinco acerca da produção primária líquida (19,2%) (Figura 12). Porém, cabe salientar que mesmo com foco de trabalho diferentes, todos os artigos discorrem sobre a mesma linha de pesquisa uma vez que, todos buscam de forma geral discutir a dinâmica do carbono a partir de algum fator que atua como regulador do mesmo.

As principais abordagens metodológicas aplicadas foi o modelo que visa analisar a Eficiência do Uso da Luz (LUE), os índices espectrais (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI, *Leaf Area Index* - LAI e *Enhanced Vegetation Index* EVI) e os modelos de simulação, como o Modelo de simulação de matéria orgânica do solo CENTURY e CASA (NASA) para estimar o carbono no solo, além do uso dos algoritmos de classificação para elaboração de mapas de uso e cobertura (*Random Forest*; *Cubista*) e também análises bibliográficas (Apêndice A). Porém, foi identificada uma lacuna quanto a definição de uma metodologia que permitisse trabalhar com um grande número de dados de forma mais eficiente, a exemplo da aplicação de técnicas como o Google Earth Engine.

Em relação às áreas de estudo, mais precisamente as características biofísicas destas, apenas quatro estudos foram realizados em ambientes áridos ou semiáridos, entretanto nenhum em território brasileiro, tais estudos desenvolveram-se no sudeste da Espanha, norte da China, leste da Austrália e ocidente da África, outros dois trabalhos foram desenvolvidos na região da Amazônia brasileira, e as demais pesquisas em áreas costeiras, desérticas ou subtropicais da China, República da Coreia, Canadá e Sudeste de Madagascar.

4 DISCUSSÃO

Ao longo dos anos, observou-se um aumento nos números de publicações ligadas ao estudo da dinâmica do carbono. A partir da década de 2000 as publicações começam a ganhar força e passam a ocorrer de forma mais expressiva na década seguinte, saindo de três publicações por ano para onze dentro da perspectiva de estudo e temática aqui apresentada. A análise realizada é que o aumento expressivo em 22% na década de 2000 e de 72% na década de 2010 está atrelado a criação do Protocolo de Kyoto em 1997, mas que só em 2005 começou de fato a vigorar, visando a adoção de medidas que auxiliassem na redução da emissão dos gases do efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono, o que acarretou um maior número de publicações voltadas para este estudo (Silva, 2020; FAO, 2021; MMA, 2021). Outro fato que pode estar associado é o avanço tecnológico que oferece base e ferramentas para o desenvolvimento desses estudos.

Em relação às áreas de pesquisa, com base na busca realizada na base de dados da Scopus, as Ciências ambientais, Ciências da Terra e Planetária e as Ciências Agrárias e Biológicas são as que mais se destacam em relação ao número de publicações, o que pode ser constatado pelo número de artigos que cada área apresentou, 24%; 28,8% e 26,7% respectivamente. Além disso, podemos verificar que os temas de pesquisa relacionados ao carbono são bastante relevantes visto o crescente número de estudos (Gray *et al*, 2016; Wang *et al*, 2018). Os dez periódicos que se mostraram mais influentes em relação aos números de publicações, estão altamente relacionados com a divulgação de trabalhos que utilizaram o conhecimento do sensoriamento remoto para seu desenvolvimento, demonstrando a importância desta ciência para o estudo do carbono.

A partir dos resultados alcançados, constatou-se um grande número de publicações da China, superando os Estados Unidos que antes assumia a liderança, o que pode ser atrelado ao alto investimento por parte da China em estudos voltados para compreensão das dinâmicas ambientais, após considerável aumento de desastres e consequências ambientais decorrentes do seu grande avanço econômico, passando então a buscar meios de mitigação para reduzir os efeitos colaterais do seu crescimento, tendo como uma das principais ações um intenso processo de reflorestamento para se alcançar este objetivo (Silva, 2020; Barbosa, 2018). É importante destacar que essa expansão no número de estudos da China, também, está associada à grande pressão externa que o país enfrentou por parte dos demais países e organizações mundiais, visto que as questões globais geradas em decorrência do seu desenvolvimento possuem consequências climáticas mundiais (Ferreira *et al.*, 2013; Ferreira, Barbi, 2012; Zhang, 2011)

A rede de palavras-chave da década de 1990 é bastante simples e demonstra que os estudos iniciais estavam centralizados na compreensão das técnicas existentes que pudessem ser utilizadas para o entendimento da produção primária líquida a partir de certos tipos de cobertura da terra (Potter *et al.*, 1998; Sellers *et al.*, 1995; Hall *et al.*, 1995). Já na década seguinte, a rede passa a englobar estudos focados no entendimento sobre a dinâmica do carbono no solo, período em que o Protocolo de Kyoto começa a entrar em vigor e busca-se medidas de mitigação do CO₂. Além disso, a rede demonstra o uso dos primeiros índices espectrais aplicados às imagens de satélite como auxílio para o estudo do solo (Weimin; Jing, 2005; Serbin, 2009).

Na década de 2010, a rede ganha mais complexidade apresentando um maior número de termos em relação às redes das décadas anteriores, apontando assim uma evolução dos estudos principalmente em temáticas voltadas ao sequestro e espacialização do carbono, qualidade e degradação do solo, assim como as preocupações em relação às mudanças climáticas decorrentes destas questões, salientando que em sua grande maioria, os estudos estão quase sempre correlacionados aos tipos de uso e cobertura da terra e em como estes influenciam na dinâmica do carbono (Sheng *et al.*, 2010; Ey *et al.*, 2011; Baea; Ryua, 2014; Xin *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2019).

As principais abordagens metodológicas e áreas de estudo puderam ser identificadas por meio da análise dos artigos mais citados e das redes de palavras-chave, observa-se que os algoritmos de classificação e os índices espectrais são bastantes explorados nas pesquisas relacionadas ao carbono, tendo o NDVI grande recorrência entre os estudos analisados, o que pode inferir uma boa eficiência do mesmo quando empregado em trabalhos desta temática, e que também pode ser identificado nas redes de co-ocorrência de palavras-chave, onde o termo NDVI estabelece ligações com termos, como *carbon sequestration* e *soil carbon* (Sellers *et al.*, 1995; Hall *et al.*, 1995; Potter *et al.*, 2001).

Os modelos de simulação também são destaque nas abordagens utilizadas, tais como CASA e CENTURY, a dificuldade de acesso aos dados necessário para o estudo da dinâmica do carbono é apontada como uma das principais motivações para a utilização de abordagens como essas (Sellers *et al.*, 1995).

A ocorrência dos termos *MODIS* e *LANDSAT* mostraram a relevância destes sensores para aplicação de estudos ligados à temática, ambos aparecem em um único clusters (Figura 7: 1995 - 2020), demonstrando que suas aplicações são de temáticas bastante semelhantes. Porém os sensores da série *LANDSAT* estabelecem ligações com os estudos voltados à qualidade do

solo, carbono no solo e sequestro do carbono. O crescente uso de dados LANDSAT e MODIS pode ser atrelado a maior acessibilidade aos dados por parte dos usuários, visto que estes tornaram-se de fácil acesso, por meio das plataformas online e de forma gratuita, permitindo inferir que as projeções futuras serão de larga expansão das pesquisas que utilizam dados de tais sensores.

Uma importante observação foi o inexplorado uso de novas tecnologias como o Google Earth Engine (GEE), que consiste em uma plataforma de análise de dados geoespacial operacionalizado em nuvem, o que permite aos usuários o acesso a uma enorme gama de imagens de satélite globais (LANDSAT, MODIS, SENTINEL, etc.) para os últimos 32 anos (Google Earth Engine, 2022). Visto a potencialidade do GEE, que possui uma infinidade de dados geoespaciais atualizados constantemente e estão atrelados a robustos recursos computacionais, esperava-se encontrar artigos que fizessem sua aplicação em estudos desta natureza.

Segundo Carvalho *et al.* (2021), com GEE é possível trabalhar com uma variedade de dados socioambientais de alto impacto, como por exemplo, desmatamento, secas, desastres, doenças, gestão de água, monitoramento do clima e proteção ambiental, o que já foi comprovado em trabalhos desenvolvidos por Azevedo; Barbosa, (2020); Vale, (2019); Rodrigues (2018); Carvalho *et al.*, (2021). Desta forma, o uso dos dados fornecidos pelo GEE mostra-se um importante instrumento de auxílio para as análises ambientais, visto seu vasto campo de exploração.

Dos trabalhos mais citados, um dos artigos, dos autores Wang; Waters *et al* (2018), utiliza as imagens LANDSAT 8 e a aplicação de diferentes índices de vegetação (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, NDMI, NBR e NBR2) para estimar o estoque de carbono orgânico em ambiente semiárido, apontando ainda que as variáveis, solo exposto e precipitação são elementos importantes para explicar a variabilidade no estoque do carbono. No entanto, mesmo identificando pesquisas direcionadas ao entendimento da dinâmica do carbono relacionado aos diferentes tipos de uso e cobertura em ambientes áridos ou semiáridos (Planalto Loess, China; Sahel da África Ocidental; Sudoeste da Espanha) (Zhang *et al.*, 2011; Seaquist *et al.*, 2003), a maior concentração das pesquisas está direcionada às regiões úmidas e subúmidas, a exemplo da Amazônia.

Desta forma, como apontado por Rey *et al.*, (2011), o desenvolvimento de mais trabalhos voltados à compreensão da dinâmica do carbono em ambientes áridos ou semiáridos, a exemplo do bioma brasileiro da Caatinga, é de suma importância, visto que estes estudos são

pouco explorados e/ou divulgados, a exemplo disto, são os trabalhos existentes no banco de dados de dissertações do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM) que discutem a relação do carbono com os diferentes tipos de uso e cobertura da terra, mas que não foram encontrados na busca realizada na base da SCOPUS.

5 CONCLUSÃO

Constatou-se um crescimento no número de publicações ao longo do tempo, sendo a década de 2010 a mais expressiva, apontando a construção de um importante interesse social quanto aos estudos que buscam a identificação de meios que permitam que o desenvolvimento ocorra de maneira sustentável, sem grandes ônus para o ambiente, ligando-se também aos interesses regionais ou locais, que se inclinam aos estudos voltados à conservação dos solos e na execução do manejo mais adequado.

A partir da revisão sistemática da análise bibliométrica, constatou-se que as principais tendências estão voltadas ao entendimento do carbono no solo e como os diferentes tipos de uso e cobertura da terra influência/interage com o mesmo, apoiando-se em técnicas do sensoriamento remoto para o seu desenvolvimento. A evolução dos estudos voltados a essa temática pode ser atrelada à preocupação, cada vez mais crescente, do aumento da degradação do solo e consequente aumento da emissão dos Gases do Efeito Estufa. Além disso, o maior investimento, em pesquisas que busquem compreender e encontrar soluções de mitigação de tais efeitos, por parte de grandes potências mundiais como China e Estados Unidos, demonstram que esta é uma preocupação que vem ocupando cada vez mais espaços.

Em relação às áreas de estudo e as metodologias, grande parte das pesquisas foram em regiões com grande presença da vegetação, úmidas a subúmidas, não sendo identificado nenhum trabalho desenvolvido em região semiárida brasileira, o que reforça a necessidade da realização de estudos voltados a temática buscando compreender essa dinâmica em biomas como a Caatinga, onde os ambientes são áridos ou semiárido e mostram escassa presença da vegetação, visto que estes possuem papel importante dentro do cenário da mitigação das dinâmicas atmosféricas. Além disso, não há trabalhos realizados com o sensor LANDSAT nessas áreas.

Portanto, o presente trabalho evidenciou a necessidade da realização e publicação de pesquisas a respeito da dinâmica do CO₂ e a relação que ele possui com os diferentes tipos de uso e cobertura da terra em áreas áridas ou semiáridas, como por exemplo a Caatinga. Além disso, os resultados apontaram que recursos como o Google Earth Engine foi praticamente

inexplorado em estudo dessa natureza, havendo então um enorme campo de pesquisa a ser explorado.

REFERÊNCIAS

- _____. Algumas questões sobre as preocupações ambientais no Brasil e na China (Justiça social e sociedades em transição). In: FERREIRA, L. da C.; ALBUQUERQUE, J. A. G. (org.). **CHINA & BRASIL: desafios e possibilidades**. São Paulo: Annablume; Campinas: CEA, Unicamp, 2013.
- AZEVEDO, L. S.; BARBOSA, L. C. Estudo do índice de vegetação e temperatura da superfície terrestre na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (PA) utilizando Google Earth Engine. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, Rio Grande do Norte, v. 6, n. 2, p. 244-256, julho-dezembro 2020.
- BARBOSA, V. Florestas na China são aliadas no combate às emissões de CO₂, Estudo avaliou potencial de recursos ambientais do país para sequestrar carbono. **Exame**., Publicado em: 18 abr 2018, 15h06. Disponível em: <https://exame.com.br/mundo/florestas-na-china-sao-aliadas-no-combate-as-emissoes-de-co2/>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- BAE, J., & RYU, Y. Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. **Landscape and Urban Planning**, [s. l.], v.136, p. 57–67, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.015>
- CARVALHO, W. S.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; SANTOS, T. L.. Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine(GEE): Estudo de caso em uma unidade de conservação. In: **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.7, n.2, p.15280-15300. feb. 2021. ISSN: 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv7n2-243.
- COBO, M.J.; LÓPEZ-HERRERA, A.G.; HERRERA-VIDEIRA, E.; HERRERA, F. Science Mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the american society for information science and technology**, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.
- FAO, Food and Agriculture Organization, **notícia**: Activar el Protocolo de Kyoto disponível em: <https://www.fao.org/Noticias/2001/011110-s.htm> . Acesso em 20 jan. 2022.
- FENG, X.; *et al.* Net primary productivity of China's terrestrial ecosystems from a process model. **Journal of Environmental Management**. v 85. p 563 - 573. 2007
- FERREIRA, L. da C.; BARBI, F. Questões Ambientais e prioridades políticas na China. Trad. Germana Barata. **Com Ciência**, Campinas, n. 137, p. 1-7, abr. 2012.
- GRAY, J. M.; BISHOP, T. F. A.; WILSON, B. R.. Factors Controlling Soil Organic Carbon Stocks with Depth in Eastern Australia. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v.79, n.6, p.1741–1751, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.06.0224>
- GRINAND, C.; *et al.* Estimating temporal changes in soil carbon stocks at ecoregional scale in Madagascar using remote-sensing. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 54. p. 1 – 14. 2017.
- GOMES, D.S. *et al.* Cinética de liberação de CO₂ e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development**. v.10, n.1, pag: 1 - 14. 2019.
- HALL, F. G.; TOWNSHEND, J. R., ENGMAN, E. T. Status of Remote Sensing Algorithms for Estimation of Land Surface State Parameters. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.51, n.1, p.138 – 156, 1995. DOI: 10.1016/0034-4257(94)00071-T .

IPCC. 2022. Agriculture, forestry and other land use AFOLU In: Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth **Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Chap. 7. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. DOI: 10.1017/9781009157926.009

LAL, R.; FOLLETT, F.; STEWART, B.A., KIMBLE, J.M. Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. **Soil Sci**, [s. I.], v.172, p.943 – 956, 2007. DOI:10.1097/ss.0b013e31815cc498.

LIMA JÚNIOR, C; ACCIOLY, L.J.O.; GIONGO V.; LIMA, R.L.F.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Forestalis**, [s. I.], v.42, n.102, p.289-298, 2014.

LIU, T.D.J.; SHANGA, J. M.B.Q.B.; KOVACS, J.M.; WALTERSB, D.; JIAO, X.; GENGA, X.; SHIA, Y. Assessment of red-edge vegetation indices for crop leaf area index estimation. **Remote Sensing of Environment**. [S. I.], v.222, p.133–143, 2019. DOI: <http://doi:10.3390/rs11091073>

MILNE, E.; BANWART, S.A.; NOELLE-MEYER, E. Soil carbon, multiple benefits. **Environmental Development**, [S. I.], v.13, p.33-38, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2014.11.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464514000864> . Acesso em: 10 jan. 2022.

MMA. Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto> . Acesso em: 20 de jan. 2022.

POTTER, Christopher, S.; DAVIDSON, Eric, A.; *et al.* Regional application of an ecosystem production model for studies of biogeochemistry in Brazilian Amazonia. **Global Change Biology**, [s. I.], v.4, n.3 p.315-333, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1998.00154.x> . Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2486.1998.00154.x> . Acesso em: 15 jan. 2022.

POTTER, C.; KLOOSTER, S.; *et al.* Modeling seasonal and interannual variability in ecosystem carbon cycling for the Brazilian Amazon region. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, [s. I.], v.106, n.D10, p.10423–10446, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JD900563>

RODRIGUES, T. DA S. **Deteção de desmatamentos no Oeste da Bahia com dados de radar (sentinel-1a) utilizando a plataforma Google Earth Engine**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/34810/1/2018_ThaisedaSilvaRodrigues.pdf . Acesso em : 11 jul. 2022.

REY, A.; PEGORARO, E.; OYONARTE, C.; *et al.* Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semiárid ecosystem in the SE of Spain. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. I.], v.43, n.2, p.393-403, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.007>

SERBIN, G.; DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT, E. R.; BROWN, D. J.; MCCARTY, G. W. Effect of Soil Spectral Properties on Remote Sensing of Crop Residue Cover. **Soil Science Society of America Journal**, [s. I.], v.73, n.5, p.1545–1558, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0311>

SELLERS, P. J.; MEESON, B. W.; HALL, F. G.; *et al.* Remote Sensing of the Land Surface for Studies of Global Change: Models Algorithms Experiments. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v.51, n.1, p.3-26, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00061-Q](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00061-Q)

SHENG, H.; YANG, Y.; YANG, Z.; CHEN, G.; XIE, J.; GUO, J.; ZOU, S. The dynamic response of soil respiration to land-use changes in subtropical China. *Global Change Biology*, [s. l.], v.16, n.3, p.1107–1121, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01988.x>

SILVA, Luciana da Luz. **Modelagem do carbono orgânico no solo por espectrorradiometria de reflectância em Morro do Chapéu – Ba.** 2020. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1wksw8DVWkE1qOKRjKDxfbM8NqhlutzKY/view> . Acesso: 6 jan. 2022.

SMITH, P. Soils and climate change. **Current opinion in environmental sustainability**, [s. l.], v.4, n.5, p.539–544, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.06.005>.

SPINAK, E. **Diccionario enciclopédico de bibliometría, cienciometria e informetria.** Montevideo, 1996. 245 p.

TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. de. Dinâmica do Carbono do Solo. Amazonia and Global Change Geophysical Monograph Series 186 Copyright by the American Geophysical. 2009. disponível em: <https://10.1029/2008GM000741> . Acessado 11 Jun 2023.

VALE, J.R.B. **Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas do Estado do Pará por meio da Plataforma Google Earth Engine.** 2019. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019. Disponível em

VASCONCELOS, R. N.; LIMA, A. T. C.; LENTINI, C. A. D.; *et al.* Oil spill detection and mapping: A 50-year bibliometric analysis. **Remote Sensing**, v.12, n.21, p.1–18. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12213647>

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L.; NOYONS, E.C.M.; BUTER, R.K. Automatic term identification for bibliometric mapping. **Scientometrics**, [s. l.], v.82, p.581-596, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0173-0> . Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/11192/82/3/article-p581.xml> . Acesso em: 15 jan. 2022.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, [s. l.], v.84, p.523–538, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3> . Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/11192/84/2/article-p523.xml> . Acesso: 15 jan. 2022.

XIN, Z.; QIN, Y.; YU, X. Spatial variability in soil organic carbon and its influencing factors in a hilly watershed of the Loess Plateau, China. **Catena**, [s. l.], v.137, p.660–669, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.028>

WALTMAN, Ludo; VAN ECK, Nees Jan; NOYONS, Ed C.M. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 629–635, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2010.07.002>

WANG, B.; WATERS, C. *et al.* Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia. **Ecological**

Indicators, [s. I.], v.88, p.425–438, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.049>

WEIMIN, J.; JING, C. J. M. (2005). Distribution of soil carbon stocks in Canada's forests and wetlands simulated based on drainage class, topography and remotely sensed vegetation parameters. **Hydrological Processes**, [s. I.], v.19, n.1, p.77–94, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.5775>

ZHANG, Z. X. Energy and Environmental Policy in China. Towards a Low-carbon Economy. New horizons in environmental economics. **Cheltenham**, UK / Northampton, MA: Edward Elgar, 2011.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, [s. I.], v.161, n.3, p.115–125, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.003>

ZHANG, Hongyue *et al.* Bibliometric Analysis of Global Remote Sensing Research during 2010–2015. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 11, p. 332, 2017. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2220-9964/6/11/332> . Acesso em: 20 jan. 2022.

ZUPIC, Ivan; ČATER, Tomaž. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015.

APÊNDICE A

Ranking	Título	Autores	Periódico	Sensor	Abordagens metodológicas	Ano	Área de estudo	Nº de citações
1º	Deriving a light use efficiency model from eddy covariance flux data for predicting daily gross primary production across biomes	Yuan, W.; Liu, S.; Zhou, G.; Tieszen, L.L.; Baldocchi, D.; Bernhofer, C.; Gholz, H.; Goldstein, A.H.; Goulden, M.L.; Hollinger, D.Y.; Hu, Y.	Agricultural and Forest Meteorology	MODIS – NDVI	Modelo LUE (Eficiência do uso da luz); Covariância de Foucault; Fluxo de C (AmeriFlux); Análise estatística	2007	_____	397
2º	Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models - algorithms – experiments	Sallers, P.J.; Meeson, B.W.; Hall, F.G.; Asrar, G.; Murphy, R.E.; Schiffer, R.A.; Bretherton, F.P.; Dickinson, R.E.; Ellingson, R.G.; Field, C.B.; Huemmrich, K.F.; Justice, C.O.	Remote Sensing of Environment	_____	Análise bibliográfica	1995	_____	245
3º	Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters	Hall, F.G.; Townshend, J.R.; Engman, E.T.	Remote Sensing of Environment	_____	Análise bibliográfica	1995	_____	202
4º	The dynamic response of soil respiration to land-use changes in subtropical China	Shen, H.; Yang, Z.; Chen, G.; Xie, J.; Guo, J.; Zou, S.	Global Change Biology	_____	Coleta de campo; análises em laboratório; Análise estatística – SPSS	2010	China subtropical	169
5º	Net primary productivity of China's terrestrial ecosystems from a process model	Feng, X.; Liu, G.; Chen, J.M.; Chen, M.; Liu, J.; Ju, W.M.; Sun, R.; Zhou, W.	Journal of Environmental Management	MODIS (LAI-NDVI); LANDSAT	Modelo BEPS;	2007	China	167

Ranking	Título	Autores	Periódico	Sensor	Abordagens metodológicas	Ano	Área de estudo	Nº de citações
	driven by remote sensing							
6º	Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (Stipa tenacissima L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain	Rey, A.; Pegoraro, E.; Oyonarte, C.; Were, A.; Escribano, P.; Raimundo, J.	Soil Biology and Biochemistry	MODIS (EVI)	Área de estudo controlada; Coleta de dados em campo; Modelo empírico; Análise das amostras – Método de Klute (1986)	2011	Sudoeste da Espanha (Semiárido de estepe)	141
7º	Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance	Daughtry, C.S.T.; Hunt Jr., E.R.; McMurtrey III, J.E.	Remote Sensing of Environment	_____	Coleta de dados espectrais – FildSpec PRO	2004	Beltsville, USA;	133
8º	Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China	Zhang, C., Liu, G., Xue, S., Song, Z.	Geoderma	_____	Área de estudo controlada; MO – Método de Walkley-Black; Elaboração de um índice microbiano do solo; Estatística: ANOVA, DUNCAN	2011	Bacia hidrográfica de Dunshan Planalto Loess, China (Semiárido)	124
9º	A remote sensing-based primary production model for grassland biomes	Seaquist, J.W., Olsson, L., Ardö, J.	Ecological Modelling	AVHRR (NOAA) - NDVI	Modelo LUE (Eficiência do uso da luz); Simulação utilizando o Monte Carlo simulations; Modelo CENTURY	2003	Sahel da África Ocidental (Árido e semiárido);	112
10º	Land surface phenology from optical satellite measurement and CO ₂ eddy covariance technique	Gonsamo, A.; Chen, J.M.; David, T. Price.; Kurz, W.A.; Wu, C.	Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	MODIS (SWIR, NIR); Torres florestais (Fluxo de CO ₂)	Elaboração de um novo índice – Índice fenológico (PI); Análise estatística	2012	Canadá	91
11º	Environmental control of leaf area production:	Cowling, S.A.; Field, C.B.	Global Biogeochemical Cycles	_____	Análise bibliográfica	2003	_____	89

Ranking	Título	Autores	Periódico	Sensor	Abordagens metodológicas	Ano	Área de estudo	Nº de citações
	Implications for vegetation and land-surface modeling							
12°	Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park	Bae, J.; Ryu, Y.	Landscape and Urban Planning	MODIS (NDVI); LANDSAT 7; LANDSAT 8	Coleta de campo; Análise estatística – SigmaPlot 12.0; Elemental Carbon Analyzer (quantificação do carbono)	2014	Parque Florestal de Seul, República da Coréia (Clima temperado de monção)	84
13°	Modelling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model	Yu, D., Shi, P., Shao, H., Zhu, W., Pan, Y.	International Journal of Remote Sensing	AVHRR (NOAA) - NDVI; SPOT-Cobertura da Terra	Modelo CASA(NASA) aprimorado	2009	Ásia Oriental – China	84
14°	Spatial variability in soil organic carbon and its influencing factors in a hilly watershed of the Loess Plateau, China	Xin, Z., Qin, Y., Yu, X.	Catena	SPOT - Uso do solo; LANDSAT - NDVI	Interpolação de dados (Ambiente SIG); Análise estatística SPSS (Correlação de Pearson, ANOVA, Regressão múltipla)	2016	Bacia hidrográfica de Luoyugou (Planalto de Loess, China)	83
15°	Regional application of an ecosystem production model for studies of biogeochemistry in Brazilian Amazonia	Potter, C.S.; Davidson, E.A.; Klooster, S.A.; Nepstad, D.C.; De Negreiros, G.H.; Brooks, V.;	Global Change Biology	AVHRR (NOAA) - NDVI	Modelo CASA (NASA); Método Thrnthaite (1948)	1998	Amazônia brasileira	83
16°	Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil	Gomes, L.C.; Faria, R.M.; de Souza, E.; Veloso, G.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Filho, E.I.F.	Geoderma	MODIS - NDVI	Algoritmos de classificação – RandamFlorest, Cubista Modelo Linear Generalizado Reforço e Suporte de Máquinas	2019	Brasil	81

Ranking	Título	Autores	Periódico	Sensor	Abordagens metodológicas	Ano	Área de estudo	Nº de citações
					Vetoriais; Recursive Feature Elimination (algoritmo de seleção retroativo)			
17º	Desertification in Central Argentina: Changes in ecosystem carbon and nitrogen from imaging spectroscopy	Asner, G.P.; Borghi, C.E.; Ojeda, R.A.	Ecological Applications	AVIRIS – coleta de imagens por sobrevôo;	Medidas de campo; Dados de sobrevoo; Mistura espectral; Assinaturas espectrais	2003	Bioma Monte Desert – Argentina	81
18º	Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia	Wang, B.; Waters, C.; Orgill, S.; Cowie, A.; Clark, A.; Li, Liu D.; Simpson, M.; McGowen, I.; Sides, T.	Ecological Indicators	LANDSAT 8 (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, NDML, NBR e NBR2);	Algoritmo Genético (GA); Coleta de campo; Classificação - Algoritmo RandomForest; Ambiente SIG;	2018	Serras semiáridas – Leste da Austrália	70
19º	Effect of soil spectral properties on remote sensing of crop residue cover	Serbin, G.; Daughtry, C.S.T.; Hunt Jr, E.R.; Brown, D.J.; McCarty, G.W.	Soil Science Society of America Journal	LANDSAT	Coleta de campo; Dados hiperespectrais (ASD Fieldspec Pro FR); Análises estatísticas	2009	Área de recursos terrestres – Sudoeste dos EUA	69
20º	Reconstructed historical land cover and biophysical parameters for studies of land-atmosphere interactions within the eastern United States	Steyaert, L.T.; Knox, R.G.	Journal of Geophysical Research Atmospheres	LANDSAT - Uso do solo MODIS - Albedo	Reconstrução de mapas de parâmetros biofísicos em ambiente SIG;	2008	Leste dos Estados Unidos	65
21º	Modeling seasonal and interannual variability in ecosystem carbon cycling for the	Potter, C.; Klooster, S.; de Carvalho, C.R.; Brooks, G.V.; Torregrosa,	Journal of Geophysical Research Atmospheres	AVHRR (NOAA) - NDVI	Modelo CASA (NASA); Interpolação de dados em ambiente SIG;	2001	Amazônia brasileira	58

Ranking	Título	Autores	Periódico	Sensor	Abordagens metodológicas	Ano	Área de estudo	Nº de citações
	Brazilian Amazon region	A.; Dungan, J.; Bobo, M.; Coughlan, J.						
22°	Factors controlling soil organic carbon stocks with depth in Eastern Australia	Gray, J.M., Bishop, T.F.A., Wilson, B.R.	Soil Science Society of America Journal	_____	Coleta de campo; Modelo de regressão linear múltipla; Modelos cubistas de árvores de decisão lineares;	2015	Estados orientais da Austrália	56
23°	Distribution of soil carbon stocks in Canada's forests and wetlands simulated based on drainage class, topography and remotely sensed vegetation parameters	Ju, W.; Chen, J.M.	Hydrological Processes	_____	Dados de campo; Modelo Century; InTEC (v3 0)	2005	Florestas e áreas úmidas do Canadá	53
24°	Role of environmental variables in the spatial distribution of soil carbon (C), nitrogen (N), and C:N ratio from the northeastern coastal agroecosystems in China	Wang, S.; Adhikari, K.; Wang, Q.; Jin, X.; Li, H.	Ecological Indicators	LANDSAT 5	Coleta de campo; Interpolação de dados; Modelo BRT;	2018	Ambiente costeiro do nordeste da China (clima temperado quente de monção continental)	52
25°	Estimating temporal changes in soil carbon stocks at ecoregional scale in Madagascar using remote-sensing	Grinand, C.; Maire, G.L.; Vieilledent, G.; Razakamanarivo, H.; Razafimbelo, T.; Bernoux, M.	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	LANDSAT	Algoritmo de classificação Random florest; Coleta de campo; Método de Wakley Black; Pacotes estatísticos	2017	Sudeste de Madagascar (climas úmidos e secos);	47
26°	Carbon Stock Assessment Using Remote Sensing and Forest Inventory Data	Vicharnakorn, P., Shrestha, R.P., Nagai, M., Salam, A.P., Kiratiprayoon, S.	Remote Sensing	LANDSAT	Coleta de dados de campo; Método de classificação híbrida (supervisionada e não	2014	Savannakhet, Laod (Ásia)	46

Ranking	Título	Autores	Periódico	Sensor	Abordagens metodológicas	Ano	Área de estudo	Nº de citações
	in Savannakhet, Lao PDR				supervisionada); Modelo Analizador NC Sumigraph-NC 90A			

CAPÍTULO III: DINÂMICA DO FLUXO DE CO₂ NOS DIFERENTES TIPOS DE USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE MORRO DO CHAPÉU - BA

RESUMO

As modificações nos padrões da paisagem constituem uma das principais causas da intensificação do processo de emissão de um dos principais gases do efeito estufa, o dióxido de carbono. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo compreender a dinâmica do fluxo de CO₂ nos diferentes tipos de uso e cobertura da terra no município de Morro do Chapéu – BA. A metodologia adotada consistiu na obtenção de dados em ambiente de *code editor* na plataforma do Google Earth Engine, onde o Índice de Sequestro Florestal de Carbono (CO₂Flux) foi modelado a partir da integração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI). Os dados de reclassificação e elaboração dos mapas foram alcançados no *software* QGis 3.16, assim como as métricas da paisagem mediante o plugin Lecos. Os dados de correlação foram obtidos por meio da correlação de Pearson, no *software* RStudio. Os resultados mostraram que, a configuração da paisagem no município ao longo da série temporal (1995 - 2021) não passou por grandes alterações, entretanto as classes de agricultura e áreas urbanas e de solo exposto, classificadas como outros usos demonstraram uma maior fragmentação, ao passo que classe de vegetação natural expressou uma união dos seus fragmentos. As áreas ocupadas pelas transições que resultaram no desmatamento foram as que exibiram menor capacidade de sequestro de carbono, são regiões com a predominância da prática agrícola ou de outros usos.

Palavras-chave: Dinâmica do carbono; Caatinga; *Google Earth Engine*.

ABSTRACT

The modifications in the landscape patterns are one of the main causes of the intensification of the emission process of one of the main greenhouse gases, carbon dioxide. Thus, this work aimed to understand the dynamics of CO₂ flux in different types of land use and land cover in the municipality of Morro do Chapéu - BA. The methodology adopted consisted in obtaining data in code editor environment in Google Earth Engine platform, where the Forest Carbon Sequestration Index (CO₂Flux) was modeled from the integration of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with the Photochemical Reflectance Index (PRI). Reclassification and mapping data was achieved in QGis 3.16 software, as were the landscape metrics using the Lecos plugin. Correlation data were obtained using Pearson's correlation in RStudio software. The results showed that the configuration of the landscape in the municipality over the time series (1995 - 2021) did not undergo major changes, however the classes of agriculture and urban areas and exposed soil, classified as other uses showed greater fragmentation, while the class of natural vegetation expressed a union of its fragments. The areas occupied by the transitions that resulted in deforestation were those that exhibited the least capacity for carbon sequestration, they are regions with the predominance of agricultural practice or other uses.

Keywords: Carbon Dynamics; Caatinga; *Google Earth Engine*.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno natural do efeito estufa acontece há milhares de anos (Santos, 2019; Pinto *et. al.*, 2010), tal ocorrência faz-se necessária à manutenção da vida na Terra, uma vez que, ele é responsável pela conservação da temperatura do planeta sem que ocorram grandes variações (Grilo, 2012; Vasconcelos *et. al.*, 2018). Entretanto, nas últimas décadas, as consequências do aumento de emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEEs) para atmosfera vem ocasionando mudanças climáticas significativas (Almeida e Rocha, 2011).

Dentre os principais GEEs estão o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄), o vapor d'água (H₂O) e os clorofluorcarbonetos (Nunnenkamp e Corte, 2017; IPCC, 2014). O efeito estufa tem sido fortemente afetado pelas atividades antrópicas, ocasionando um aumento na emissão destes gases. E apesar de não possuir o maior potencial de aquecimento, o CO₂ denota a maior contribuição para o agravamento do fenômeno, em decorrência da grande quantidade emitida para a atmosfera (Carvalho, *et. al.*, 2010).

De acordo com a ONU, foram liberadas cerca de 4,2 bilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera no ano 2018 (Olhoff; Christensen, 2018). O aumento na liberação dos GEEs é decorrente do uso de combustíveis fósseis, do desmatamento, das queimadas e do manejo inadequado na agricultura.

Estudos ligados ao Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018) apontam que as atividades antrópicas corresponderam a cerca de 1,0°C de aquecimento global no último século, o que pode ser ampliado a 1,5°C entre os anos de 2030 e 2052, caso as emissões de CO₂ continuem na mesma escala de produção.

As atividades industriais e a queima de combustíveis fósseis são as ações que mais contribuem para o aumento do efeito estufa, quando consideramos as nações mais industrializadas, ao passo que no Brasil, as maiores emissões dos GEEs estão atreladas às mudanças de uso da terra e à conversão da vegetação natural em uso agrícola, correspondendo a mais de 70% das emissões (Albuquerque, *et. al.*, 2020; BRASIL, 2010).

A prática de atividades que implicam no uso da terra a exemplo do corte e queima da vegetação natural, não só provocam um aumento na emissão dos GEEs, como acarretam a eliminação da proteção natural do solo, ocasionando a exposição da matéria orgânica (MOS) a agentes responsáveis pela degradação de compostos que são mais sensíveis aos processos de degradação/mineralização (Vasconcelos, *et. al.*, 2018).

Tais modificações ambientais ocorrem no Brasil, desde o processo de colonização, principalmente na região nordeste, sendo o bioma Caatinga um dos mais afetados por esse processo, em decorrência dos tipos de uso e cobertura da terra, ligados, principalmente, às intensas atividades antrópicas, conduzindo a região a um processo de degradação (Caetano, *et. al.*, 2022). A Caatinga possui uma configuração ambiental única dentre os biomas brasileiros, sua biodiversidade na fauna e flora e seu alto nível de endemismo merecem destaque. (Caetano, *et. al.*, 2022).

A dinâmica vegetal da Caatinga é afetada pelos fatores edafoclimáticos, como a escassez hídrica e pedogênese, ambos possuem influência direta no desenvolvimento da vegetação e na variação das características fenológicas, configurando assim, um ambiente a ser investigado e analisado cientificamente em diferentes contextos, principalmente por compreender um dos biomas menos protegidos e estudados do Brasil (Barbosa *et. al.*, 2017; Barbosa *et. al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019).

As regiões áridas e semiáridas, como a Caatinga, são as que mais sofreram com os impactos negativos provocados pelo desequilíbrio na emissão dos GEEs (Silva, 2022; IPCC, 2007). A redução na produtividade, qualidade dos alimentos, alteração dos ciclos produtivos, entre outras consequências, afetam especialmente o setor da agricultura, devido à irregularidade no regime das chuvas, deficiência hídrica e no baixo desenvolvimento econômico da região (IPCC, 2007).

A adoção de medidas transformadoras que visam conter o avanço do desequilíbrio ambiental e preservar o meio ambiente se tornam mais que necessárias. Existem formas pelas quais o manejo adequado da terra pode resultar em significativa redução no aumento dos GEEs, dentre elas estão a agricultura conservacionista, por meio do plantio direto, o que garante o maior estoque de carbono (Machado; 2005).

Ao analisar o papel crucial que a vegetação assume na mitigação do CO₂, torna-se relevante o desenvolvimento de estudos que busquem compreender a dinâmica do CO₂ presente na atmosfera, bem como sua relação com os diferentes tipos de uso e cobertura da terra.

Uma maneira de realizar estudos desta natureza é por meio da utilização das técnicas do Sensoriamento Remoto (SR), mais especificamente dos índices espectrais de vegetação, que possibilitam a mensuração de parâmetros físicos, a exemplo da biomassa, desenvolvimento vegetal, avaliação da vegetação, entre outras (Ponzoni *et. al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2020; Silva Junior *et al.*, 2021). A determinação da eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação durante a atividade fotossintética é possível de

Dado exposto, considerando-se a relevância da discussão em torno das questões climáticas globais e da importância do bioma Caatinga para o contexto nacional, a presente pesquisa tem por objetivo compreender a dinâmica do fluxo de CO₂ nos diferentes tipos de uso e cobertura da terra no município de Morro do Chapéu – BA.

2.1 Área de Estudo

The figure consists of three maps. The top-left map shows the location of Morro do Chapéu within Brazil, highlighted by a red square. The bottom-left map shows the location of Morro do Chapéu within the state of Bahia. The main map on the right is a detailed view of Morro do Chapéu and its surroundings. The map shows the urban area of Morro do Chapéu in yellow, the municipality limits in grey, and the surrounding municipalities in white. The legend indicates that red lines represent roads, the yellow area represents the urban area, the grey area represents Morro do Chapéu, and the white area represents the limits of the municipalities. The map also includes a scale bar (0-60 km), a north arrow, and coordinates (41°0'0"W, 15°0'0"S). The source of the data is cited as IBGE, 2020; Fonte: SIG Bahia, 2003. The datum is WGS-84. The map was elaborated by SILVA, V. G. in 2023.

Morro do Chapéu está inserido no bioma Caatinga, região semiárida do Estado da Bahia, ao norte da Chapada Diamantina (Figura 01). Devido a sua variação de altitude, que chega a mais de 1.000m em determinadas regiões, é possível encontrar diferentes

classificações climáticas que segundo KOPPEN, THORNTHWAITE e MATHE no variam entre subúmido, semiárido e com predominância o Cwb - Clima Tropical de Altitude, no inverno a temperatura média é de 18°C e no verão superior a 22°C (CPRM, 1995; SEI, 1999).

A formação vegetal do município é marcada por uma grande complexidade, devido a diversidade físico-ambiental da área, apresentando formação florestal, caatinga, cerrado, complexos rupestres e áreas de ecótono (Milan; Moro, 2016). O relevo é marcado por formas tabulares, dispostas em patamares, que variam de 480m a 1.293m de altitude. Morro do Chapéu agrupa três sub-bacias: Rio Verde, Rio Jacaré e Rio Salitre, afluentes do Rio São Francisco, Rio Utinga e Rio Jacuípe, ambos afluentes do Rio Paraguaçu (CPRM, 1995; INCRA, 2015).

Os solos do município em geral são rasos, em virtude da dinâmica pluvial típica do semiárido e sua intensa ação erosiva, porém a região possui uma elevada fertilidade natural (CPRM, 1995). Os tipos de solos predominantes são: Neossolos Litólicos Eutróficos, Neossolos Flúvicos, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Neossolos Litólicos Distróficos, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolos Litólicos, Quartzarênico e Cambissolo Háptico (CPRM, 1995; Lobão *et. al.*, 2011).

2.2 Aquisição dos dados

Os dados obtidos para a realização do presente trabalho foram adquiridos por meio da plataforma *Google Earth Engine*, operacionalizada em nuvem e que dispõe de quase todas as imagens globais de satélites produzidas, além de uma série de ferramentas computacionais que permitem detectar mudanças e tendências na superfície terrestre, na atmosfera e nos oceanos (Gorelick *et. al.*, 2017) (Figura 02, página 55).

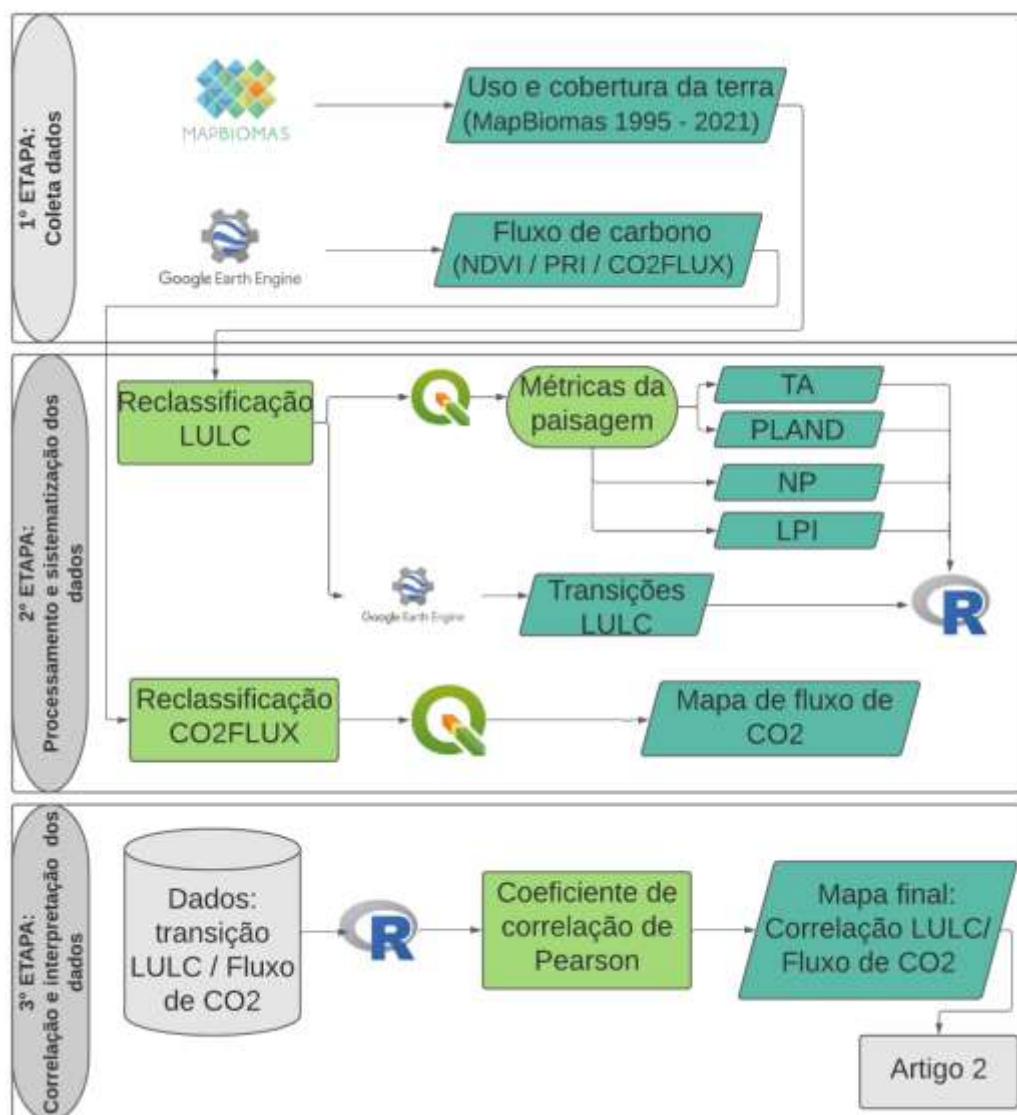


Figura 02: Fluxograma metodológico artigo II

2.2.1 Dados de uso e cobertura

Os dados de uso e cobertura da terra foram extraídos da coleção 7 do trabalho realizado pelo projeto MapBiomas (<https://mapbiomas.org/>), uma rede de colaboração entre instituições proveniente da iniciativa do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs). O MapBiomas mapeia anualmente (a partir do ano de 1985), os principais tipos de uso e cobertura da terra para todo o território brasileiro, tendo como foco principal, contribuir para o entendimento da dinâmica do uso da terra no país (MAPBIOMAS, 2019). O projeto utiliza as imagens LANDSAT, com resolução de 30m para realizar as classificações, as quais são obtidas por meio do classificador *Random Forest* em ambiente de codificação na plataforma *code editor*, dentro do *Google Earth Engine* (GEE) (MAPBIOMAS, 2022).

A classificação do MapBiomas é dividida em 27 categorias para todo o Brasil, porém os mapas obtidos para Morro do Chapéu foram reclassificados para que o trabalho fosse realizado com o número menor de classes: áreas de vegetação natural, agricultura e outros usos, que corresponde às áreas que não apresentam nenhum tipo de cobertura vegetal, sendo elas decorrentes de ações antrópicas ou causas naturais.

Legenda	Valor do pixel	Reclassificação
1.1 Formação Florestal	3	Vegetação Natural
1.2 Formação Savânica	4	
2.2 Formação Campestre	12	
3.1 Pastagem	15	Agricultura
3.4 Mosaico de usos	21	
3.2.1.5 Outras lavouras temporárias	41	
3.2.2.1 Café	46	
3.2.1.3 Outras lavouras perenes	48	
4 Áreas não vegetadas	22	Outros usos
4.2 Área urbanizada	24	
4.4 Outras área não vegetadas	25	
2.4 Afloramento rochoso	29	
4.3 Mineração	30	
5.1 Rio, lago e oceano	33	

Quadro 01: Reclassificação das classes de cobertura da terra com base na coleção 7 do MAPBIOMAS

2.2.2 Métricas da paisagem

Os cálculos das métricas da paisagem foram obtidos por meio do plugins LecoS – Landscape Ecology Statistics no QGis 3.16. A seleção das métricas utilizadas tiveram como premissa a quantificação dos padrões espaciais da composição da paisagem para as classes analisadas, foram selecionadas as seguintes métricas: área total (TA), porcentagem de área da classe (PLAND), número de fragmentos (NP) e maior índice de mancha (LPI) (Tabela 05).

Métrica (Sigla)	Descrição	Unidade de medida	Intervalo de valores
TA	Total da área para classe observada na paisagem	Hectares (ha)	TA > 0
PLAND	Porcentagem de área pertencente à mesma classe na paisagem	Porcentagem (%)	0 < PLAND ≤ 100
NP	Número de fragmentos ou manchas existente na paisagem	Adimensional	NP ≥ 1
LPI	Porcentagem de ocupação do maior fragmento da classe na paisagem	Porcentagem (%)	0 < LPI ≤ 100

Tabela 01: Métricas da paisagem utilizadas para quantificar as classes de uso e cobertura da terra

A métrica de TA é uma medida de composição da paisagem que permite inferir o quanto de uma paisagem é composta por um determinado tipo de classe. Se os valores de

TA se aproximam de zero, isto significa que o tipo de classe analisada está se tornando rara na paisagem (Tavares, 2021). Já o NP, ordena o grau de fragmentação e heterogeneidade existente na classe.

A PLAND expressa o percentual da paisagem que é composta por fragmentos de uma mesma classe, o que permite quantificar a abundância desta na paisagem. O LPI também é uma métrica descrita em porcentagem e varia de 0 a 100 (Mcgarigal; Cushman; Regan, 2005; Mcnamara *et al.*, 2015), mede a ocupação do maior fragmento da classe observada, quando seus valores tendem a zero, indicam a ocorrência de redução no tamanho do fragmento.

2.2.3 Dados de transição de uso e cobertura da terra

Após a aquisição dos dados de uso e cobertura, identificou-se os pixels de transição ao longo da série temporal (1995 - 2021) obtidos por meio da reclassificação das transições. Definiu-se três classes: (1) desmatamento, entendido como a supressão da cobertura vegetal natural com o intuito da implementação de diferentes usos (Sanchez-Cuervo; Aide, 2013); (2) regeneração, que consiste na reorganização da comunidade biológica, um processo gradual de recuperação do ecossistema degradado (Chazdon; Guariguata, 2016) e (3) sem mudanças, áreas onde não foram identificadas alterações na sua classificação.

2.2.4 Dados de CO₂Flux

No *code editor* do GEE foi implementado um código na linguagem *JavaScript* para extrair os valores de *CO₂Flux* referente a toda série temporal, para isso, foi utilizada uma composição de imagens obtidas das coleções 5, 7 e 8 do LANDSAT que tem abrangência em todo o período analisado (1995 - 2021). A partir dessa composição foram aplicados os índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI, *Photochemical Reflectance Index* – PRI e *Forest Carbon Sequestration Index* - *CO₂Flux*.

O NDVI leva em consideração a elevada absorção da clorofila apresentada na faixa espectral do vermelho e a elevada reflectância evidenciada pela estrutura que compõe o interior das folhas, que reflete na faixa do infravermelho próximo (equação 1) (Francisco *et. al.*, 2020).

Equação 1 (NDVI):

$$NDVI = \frac{RED - NIR}{RED + NIR}$$

Os valores do NDVI variam de -1 a +1, sendo os valores negativos correspondentes aos alvos sem cobertura vegetal e os valores próximos a +1 são referentes a áreas com cobertura vegetal verde e densa (Meneses *et. al.*, 2012). O princípio físico do índice é baseado no que os autores definem como assinatura espectral das plantas (Fonseca, 2018). O NDVI nos permite determinar a densidade foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área, uma vez que, quanto maior forem os valores desse índice, mais densa será a fitomassa verde da área (Melo *et al.*; 2011).

Já os valores do PRI são obtidos pela razão da diferença entre as bandas do azul e do verde, devido a feição de absorção presente na faixa do azul e do pico de reflectância na banda do verde (equação 2) (Silva, 2022). Este índice é utilizado em estudos de estresse e de produtividade da vegetação (Almeida; Rocha, 2018), detectando as mudanças presentes nos pigmentos carotenóides da folhagem, onde estes atuam como receptores de radiação para a fotossíntese (Souza *et. al.*, 2017).

Equação 2 (PRI):

$$PRI = \frac{(R_{BLUE} - R_{GREEN})}{(R_{BLUE} + R_{GREEN})}$$

O PRI possui valores que variam de -1 a 1, sendo que os valores correspondentes a vegetação sadia ficam entre -0,2 e 0,2 (Gamon *et al.*, 1992). Por meio do PRI é possível identificar a eficiência da luz no processo fotossintético, que possibilita a mensuração do CO₂ armazenado pela folha da planta (Folharini e Oliveira, 2017).

Foi necessário o cálculo do índice sPRI (equação 3), onde os valores do PRI são reescalados para valores positivos (Baptista, 2003; 2004).

Equação 3:

$$sPRI = \frac{(PRI + 1)}{2}$$

Os fluxos de CO₂ foram medidos a partir da integração dos índices supracitados, gerando um terceiro índice, o *CO₂Flux* (equação 4). Tal índice observa o vigor da vegetação fotossinteticamente ativa, representada pelo NDVI, e a eficiência do uso da luz

durante a fotossíntese, correspondente ao PRI (Baptista, 2003). Essa correlação permite integrar as feições de absorção decorrente do sequestro de carbono.

Equação 4 (CO₂Flux):

$$CO_2FLUX = sPRI * NDVI$$

Neste índice, os resultados são expressos no intervalo entre -1 e 1, os valores positivos indicam o grau de eficiência da absorção do carbono pela vegetação, quanto maior o valor, mais eficiente é este processo; à medida que quanto menor forem esses valores, menor será a absorção.

2.3 Análise dos dados

Foram elaborados gráficos referentes à evolução anual das classes de uso e cobertura da terra, buscando observar como estas se comportaram ao longo da série temporal, assim como mapas e tabelas.

As imagens obtidas como resultado das transições, que foram realizadas par a par (1994 – 1995; 1996 – 1997, etc.) afim de identificar as mudanças de uso e cobertura durante cada ano, posteriormente foram reclassificadas em: 1 – áreas de desmatamento, 2 – áreas de regeneração e 3 – áreas onde não houve mudanças.

Em seguida, empregou-se uma operação algébrica de adição entre os mapas de transição, para todos os anos da série temporal. A reclassificação também foi aplicada aos mapas de *CO₂Flux* com base em trabalhos pré-existente desenvolvidos em área de Caatinga (Cerqueira, Franca-Rocha, 2007), sendo definidas cinco classes em relação aos valores do fluxo: muito baixo (1), baixo (2), médio (3), alto (4) e muito alto (5).

Para obter o produto final realizou-se a correlação entre os dados de transição do uso e cobertura da terra e os de *CO₂Flux* para assim identificar as áreas e classes que apresentam um maior fluxo de CO₂. A correlação foi realizada por meio do coeficiente correlação local de Pearson, que possibilitou entender a correlação entre essas duas variáveis, uma vez que, esse coeficiente possibilita observar a relação linear entre duas variáveis independentes. Foram realizadas correlações para cada ano da série temporal e por fim considerados os pixels que apresentaram valores $\leq 0,05$.

Todos os procedimentos foram realizados nos softwares RStudio (pacotes: *raster*, *maps*, *sf*, *sp*, *rgdal*, *ggplot2*, *dplyr*), QGis 3.16 e na plataforma do *Google Earth Engine*.

3 RESULTADOS

3.1 Uso e cobertura da terra em Morro do Chapéu: métricas da paisagem

O município de Morro do Chapéu possui aproximadamente 575.818 ha, 72,6 % de vegetação natural, 25,1% de agricultura e 2,28% de outros usos. A partir das métricas, observou-se que as classes analisadas, exibiram discretas variações, com algumas exceções, a exemplo do LPI referente a agricultura e do LPI e PLAND relativo à área de vegetação natural (Figura 03).

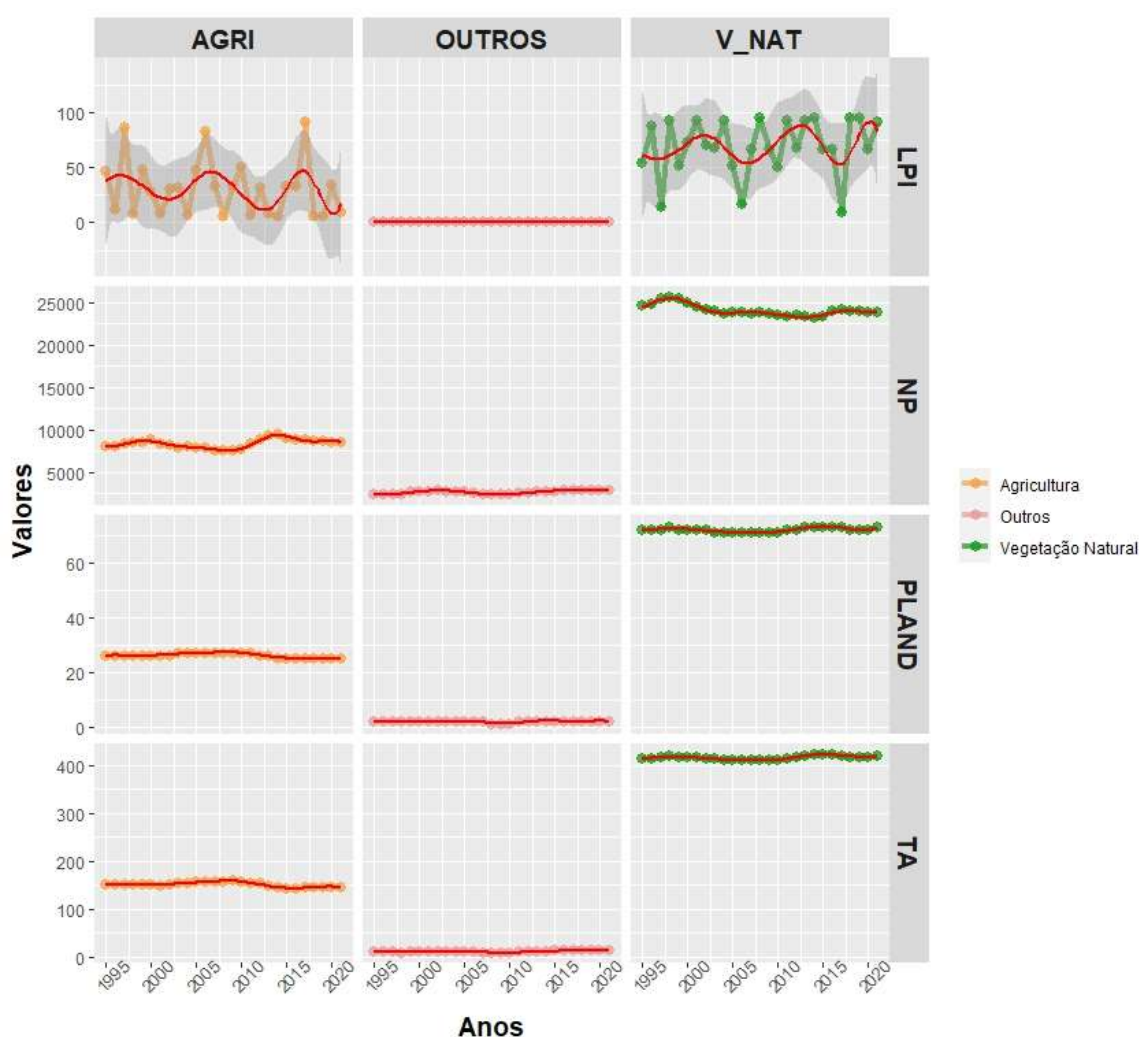


Figura 03: Gráfico de métricas da paisagem: LPI (Maior índice de mancha), NP (Número de fragmentos), PLAND (Porcentagem da área da classe) e TA (Área total) ao longo da série temporal (1995 a 2021) para cada classe de uso e cobertura da terra. Agricultura (AGRI); Área não vegetada (N_VEG); Vegetação natural (V_NAT).

A métrica TA, mesmo expondo baixos valores de flutuações ao longo de toda a série temporal, apontou que, a classe de vegetação natural e as áreas de outros usos abrangem períodos de maiores oscilações, 2003 a 2010 e 2007 a 2013 respectivamente, esses correspondem aos intervalos de maiores perdas destas classes. Para agricultura, cabe

destacar que entre os anos de 1998 e 2011 foi o período de maior ocupação da classe na paisagem, sendo os anos de 2009 e 2010 os mais representativos. Entretanto, os ciclos de maiores discrepâncias foram entre 2014 e 2016, ao final a classe apontou uma redução de cerca de 5.000 ha (Figura 03 – pag 60).

De modo geral, ao analisar toda a série histórica, nota-se o aumento de aproximadamente 3.667 ha para área de vegetação natural e de 2.450 ha da classe outros usos. A agricultura foi a única classe que apontou uma perda de extensão, cerca de 5.923 ha ao final da série.

Em termos de porcentagem da área (PLAND), as classes não apresentaram flutuações relevantes, com valores que se alternam em 1% para mais ou para menos. O maior número de manchas (NP) é apontado pela classe de vegetação natural (Figura 03 – pag 60), entretanto, ao longo da série temporal, observou-se uma redução dos fragmentos um total de 717 de 24.601, o que ocorreu de forma inversa para agricultura e outros usos, com aumento de 545 e 530 respectivamente.

Os valores do maior índice de mancha (LPI) exibiram significativas variações para as áreas de vegetação natural e agricultura. Nota-se uma inversão entre essas classes (Figura 12 – pag 61), o que fica notório no ano de 2006 quando ocorreu um ganho de área para agricultura em detrimento da classe de vegetação natural. Essa ocorrência também pode ser observada em 1997 e 2017, contudo a redução dos números de fragmentos da vegetação natural para estes anos, pode estar indicando uma tendência de manchas vizinhas terem se sido agregadas, formando manchas maiores, porém diminuindo o número de ocorrência, uma vez que, o total de área (TA) de vegetação natural para estes anos apresentou um aumento.

3.2 Dados de transição

A transição entre as classes de uso e cobertura da terra em Morro do Chapéu, possui predominância das áreas onde não ocorreram mudanças, cerca de 98% em 1995 e 99% em 2021, destas 81% correspondem a área de vegetação natural e 17% agricultura, o que permite inferir que a dinâmica dos tipos de uso e cobertura pouco se alterou ao longo dos anos no município (Figura 04 – pag 62).

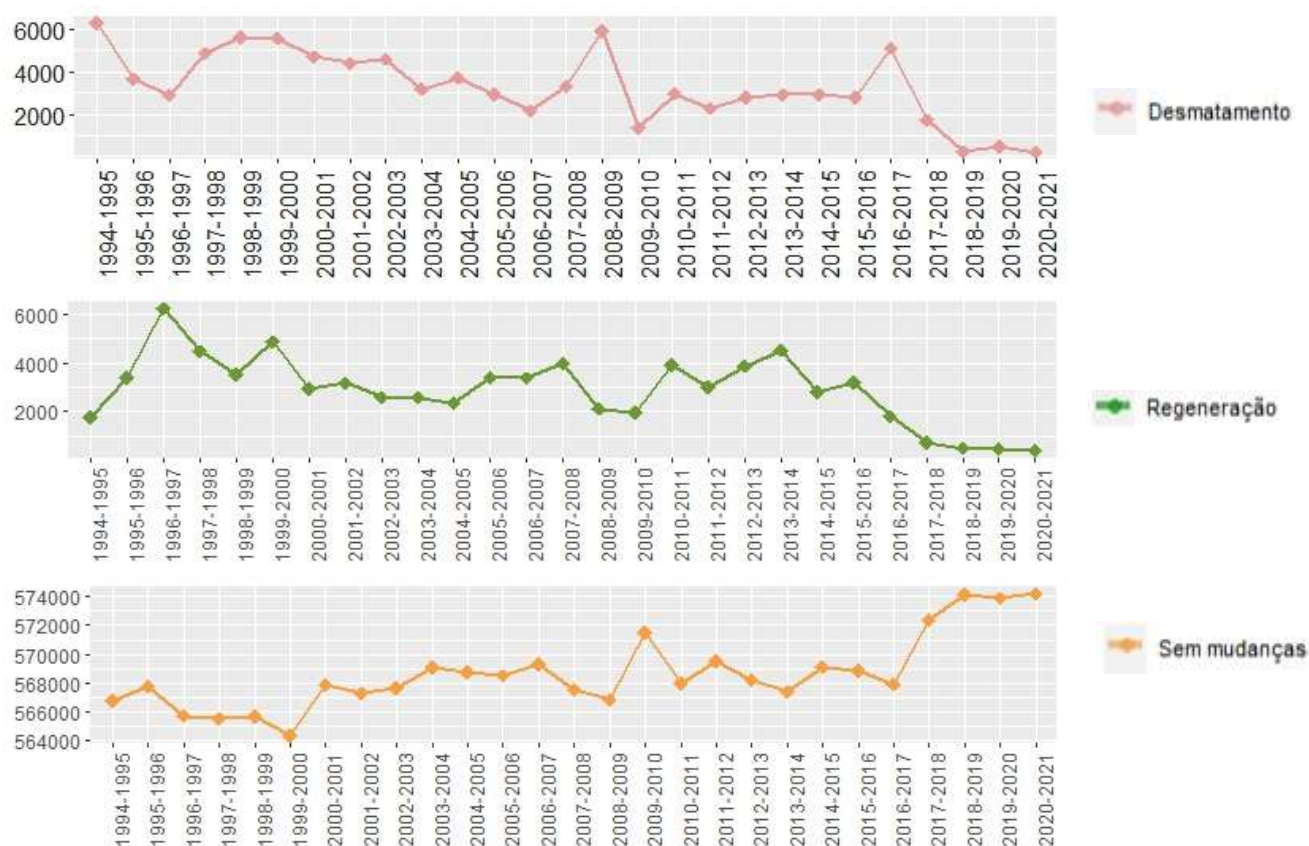


Figura 04: Gráfico de transições de uso e cobertura da terra ao longo da série temporal (1995 a 2021)

As áreas que apresentaram mudanças estão relacionadas à regeneração da vegetação ou ao desmatamento desta. É possível observar no Figura 04 que as classes possuem um comportamento inversamente proporcional no decorrer da série histórica, à medida que o processo de desmatamento aumenta o de regeneração apresenta uma redução, principalmente entre os anos de 1994 - 1995, 2008 - 2009 e 2016 - 2017.

A principal transição corresponde ao desmatamento, ou seja, a conversão da vegetação natural em áreas de agricultura ou outros usos, aproximadamente 11,8%, esta última, pode ser, em partes, resultado de um período de colheita ou preparo da terra para futuras plantações. Ao passo que, as transições que resultaram em regeneração da vegetação, em torno de 4,8%, foram decorrentes da conversão das áreas de agricultura e outros para vegetação natural.

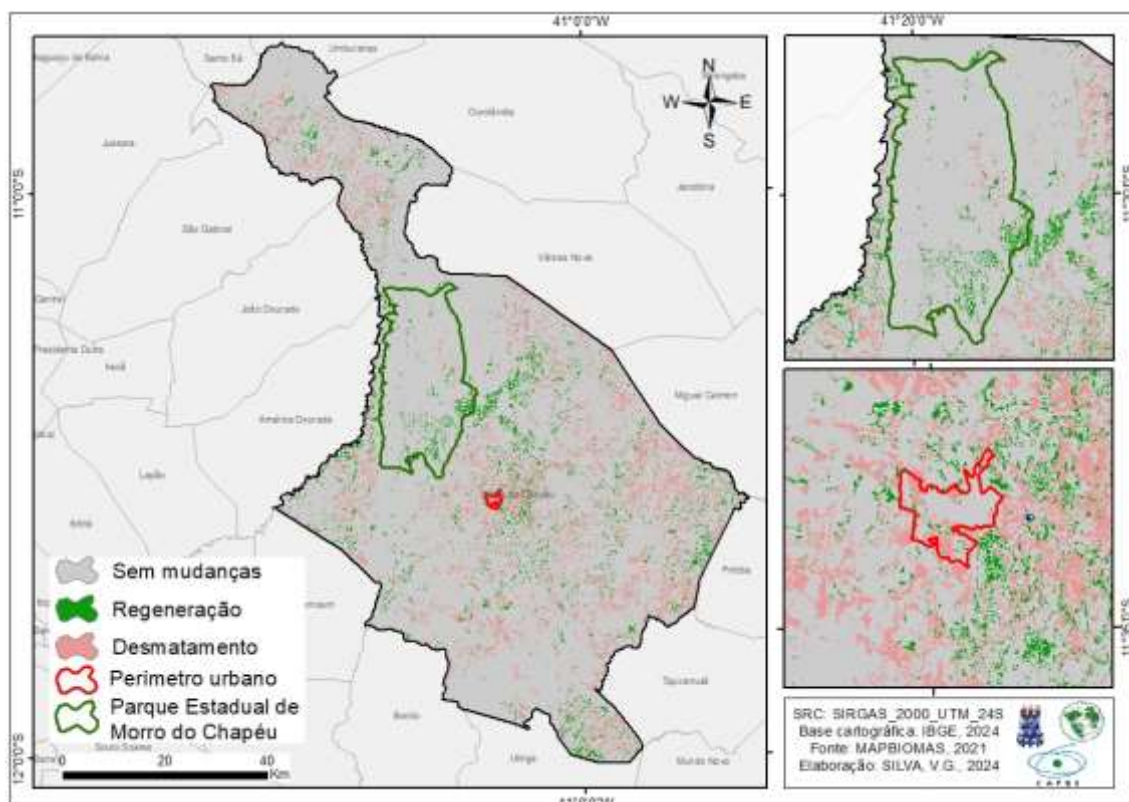


Figura 05: Mapa das classes de transição de 1995 para 2021

A maior concentração da área de transição marcada pelo processo de regeneração da vegetação está situada próximo ou nos limites do Parque Estadual do Morro do Chapéu, legalmente protegido. Entretanto, essa região, assim como as áreas próximas ao perímetro urbano apresentaram significativas extensões de desmatamento, o que pode estar associada à expansão urbana, implantação dos Parques Eólicos e ao aumento da produção agrícola do município (Figura 05).

3.3 Fluxo de CO₂ em Morro do Chapéu -BA

Em termos de CO₂Flux, a integração dos índices de vegetação NDVI e PRI reescalonado, permitiram a obtenção desses valores, os quais foram agrupados em classes, conforme a tabela 02.

Índice	Intervalo	Classe	Área (%)
CO ₂ Flux	-0,01 – 0,00	Muito baixo	1,32
	0,01 – 0,09	Baixo	13,03
	0,10 – 0,19	Médio	35,44
	0,2 – 0,39	Alto	50,15
	0,40 – 0,68	Muito alto	0,01

Tabela 02: Distribuição dos valores de CO₂Flux

As áreas de ocupação mais representativas correspondem às classes: alto, intervalo de 0,2 a 0,39, com 211.458 ha (50,15%), seguido da classe médio, com variações de 0,10 a 0,19, com 149.459 ha (35,44%) e a classe baixo, com valores de 0,01 a 0,09, em torno de 54.956 ha (13,03%). As demais classes, muito baixo (1,32%) e muito alto (0,01%), não apresentaram valores significativos em relação a área de ocupação (tabela 02 – pag 63).

Referente a espacialização do *CO₂Flux*, os valores médios (0,10 a 0,19) a altos (0,2 a 0,39) concentram-se nas áreas onde a presença da vegetação natural se faz mais marcante, a exemplo do Parque Estadual do Morro do Chapéu. Em contrapartida, os valores mais baixos, ou seja, próximos a -1 (classes muito baixo e baixo), estão associadas a extensões sem presença da vegetação, como a área urbana do município. Além disso, áreas onde são desenvolvidas práticas de agricultura (Figura 06 – pag 65). As manchas em branco no mapa indicam as áreas não observadas.

Com relação aos menores valores de sequestro de CO₂ associados a classe de agricultura, este fato pode estar relacionado a menor cobertura vegetal destas áreas, uma vez que, segundo dados do IBGE (2021) a predominância no município é das culturas temporárias com destaque para as plantações de cebola, tomate e mais recentemente morangos e uvas que possuem baixo porte arbustivo.

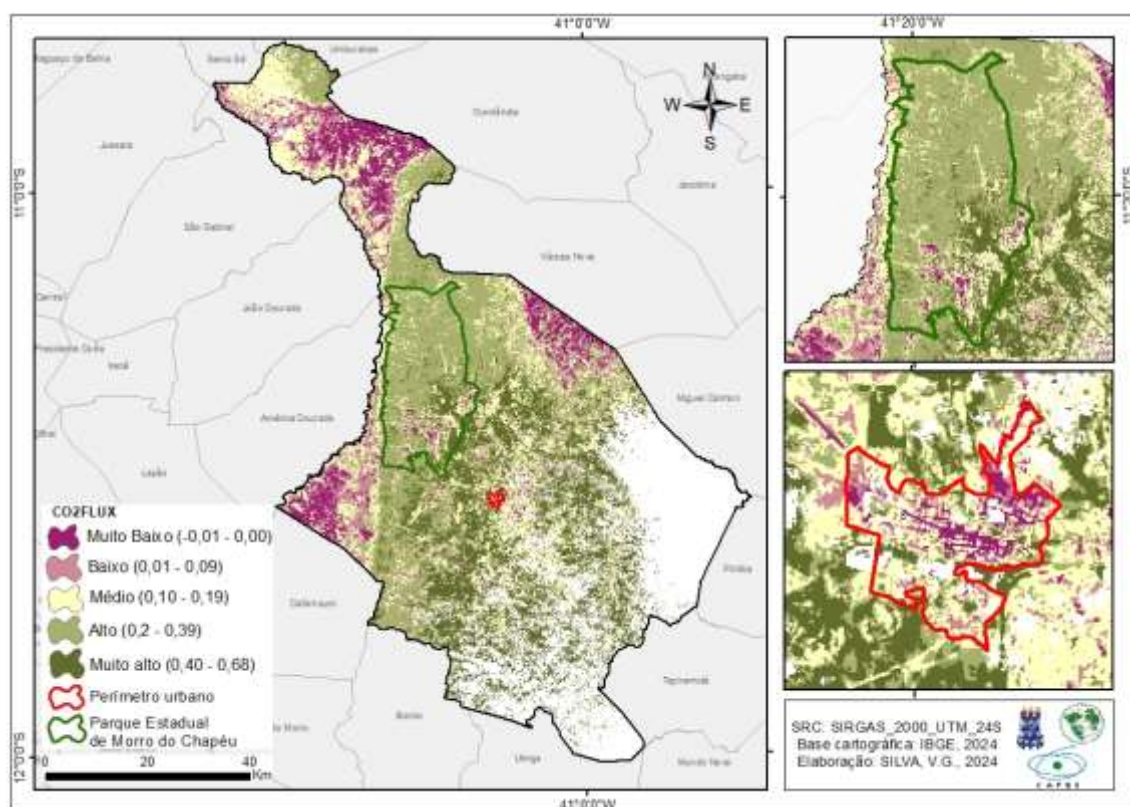


Figura 06: Mapa de fluxo de CO₂ para o município de Morro do Chapéu – BA ao longo da série temporal (1995 a 2021).

3.4 Correlação transições LULC e fluxo de CO₂

Por meio da aplicação do coeficiente de correlação de Pearson foi possível observar que existe uma relação entre o fluxo de CO₂ e as transições do uso e cobertura da terra.

As correlações foram realizadas ano a ano entre as camadas, considerando-se apenas as áreas com $P\text{ value} \leq 0,05$, ou seja, o pixel onde foi observada uma correlação. Posteriormente, os mapas de correlação foram binarizados, em que se assumiu o valor 0 para classe onde não ocorreu correlação e 1 para identificar a classe que representava a existência da correlação. Com o objetivo de reconhecer as áreas onde as correlações se mostraram persistentes, foi realizada uma álgebra de adição entre todos os mapas de correlação da série histórica (Figura 07).

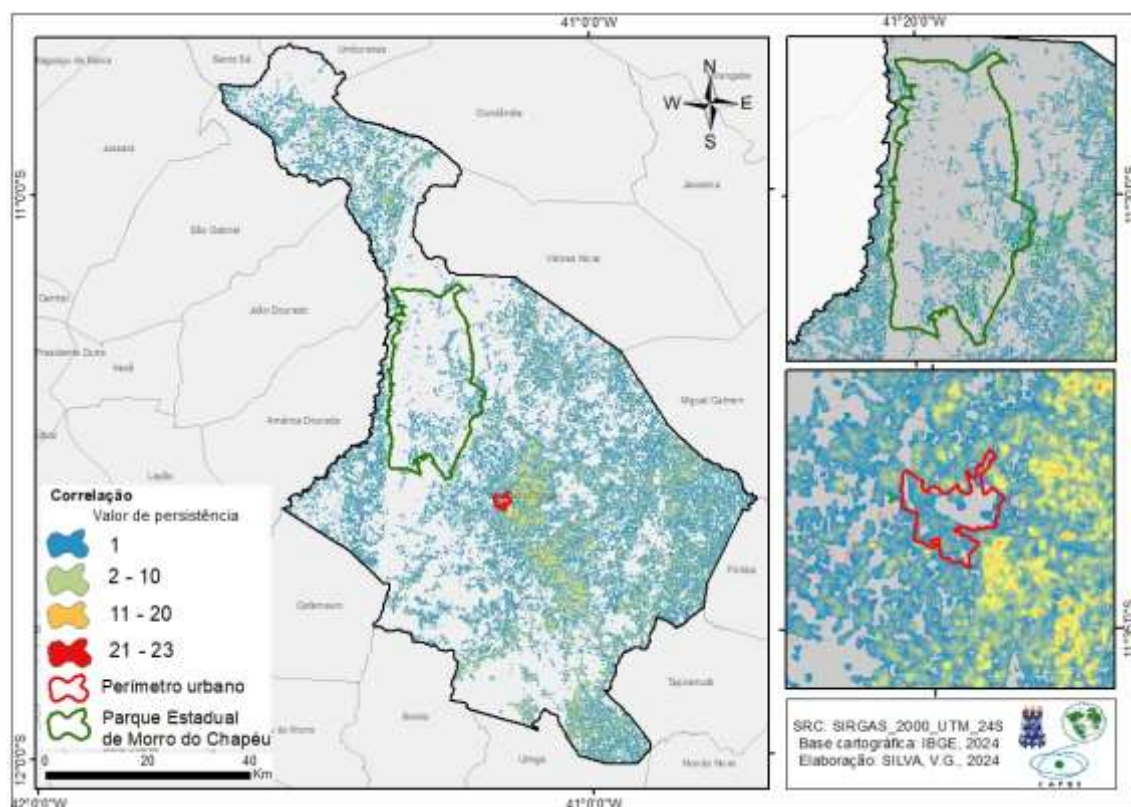


Figura 07: Mapa de correlação espacial entre os dados de transição de uso e cobertura da terra e CO₂Flux ao longo da série temporal de 1995 a 2021 para o município de Morro do Chapéu – BA.

As áreas que apresentaram a existência de uma correlação entre as variáveis são apontadas na figura 07, onde é possível notar que a persistência da correlação ao longo dos anos indica áreas que estão mais suscetíveis ao processo de desmatamento, apresentando maior vulnerabilidade ambiental.

Em termos de persistência da correlação, em 51.503h está correlação ocorreu em pelo menos um ano da série observada; com maior destaque de abrangência, em 187.541h

(76,9%) a ocorrência foi de duas a dez vezes. Em menores proporções, 4.503h (1,8%), contou-se a repetição entre onze e vinte vezes e menos de um hectare demonstrou constância entre vinte e uma e vinte e três vezes.

4 DISCUSSÕES

4.1 Uso e cobertura da terra em Morro do Chapéu -BA

Os resultados das métricas utilizadas demonstraram que a estrutura espacial dos tipos de uso e cobertura da terra do município de Morro do Chapéu pouco tiveram alteração. Em relação a fragmentação da paisagem, notou-se um maior número de manchas para a classe de vegetação natural, mesmo exibindo uma redução ao longo da série histórica. Já as classes outros usos e agricultura exibiram um maior número de fragmentos.

A diminuição dos índices de NP pode indicar uma maior conectividade entre as manchas de uma classe, ao passo que, o aumento corresponde a maior fragmentação da paisagem (Cabacinha *et al.*, 2010). Quando há um crescimento da TA e PLAND e ocorre o inverso com o NP, significa que houve a união dos fragmentos de uma determinada classe, processo que pode ser observado para vegetação natural no município (Fernandes *et al.*, 2017). Entretanto, quando ocorre a redução da TA e LPI e aumento do NP significa uma maior divisão da paisagem, aspecto observado para agricultura, resultados parecidos foram identificados na avaliação da paisagem de uma Unidade de Proteção Ambiental em área de Caatinga da Paraíba (Rocha, 2011).

Por apresentar maior área e conectividade em relação às demais, a classe de vegetação natural pode ser considerada como a matriz da paisagem, exercendo um papel dominante no funcionamento desta (Casimiro, 2009; Silva; *et al*, 2020).

As métricas indicam uma redução da área de agricultura, entretanto aponta um aumento da classe de outros usos, tal configuração pode estar relacionada a classificação dos pixels como solo exposto durante o período de colheita do plantio, uma vez que, o município ao longo dos anos vem se destacando no cenário da agricultura na Bahia, recebendo o apoio de inúmeros projetos de incentivo à produção agrícola.

Entre os projetos estão o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), implementado no ano de 2004 e que visava a produção de combustíveis menos poluentes em relação aos derivados de petróleo para o abastecimento nacional, promovendo a inclusão produtiva da agricultura familiar (Madureira; Guerra, 2014; MDA, 2019), neste mesmo ano Morro do Chapéu expôs um aumento da área de agricultura tendo a mamona

como um dos seus principais cultivos, o que perdurou até 2010, ano em que o projeto encaminha para o seu fim.

Outro fator que pode explicar a expansão das áreas de outros usos é a instalação dos parques eólicos no município, visto que foi necessário a supressão da vegetação para instalação das torres eólicas, construção das subestações e aberturas de estradas, outro agravante é a localização, pois estes encontram-se em zona de amortecimento de unidades de conservação (Parque Estadual do Morro do Chapéu) o que representa uma ameaça a biodiversidade e geodiversidade do município (Brito; Garcia, 2021).

Em 2018 o Parque Eólico Morro do Chapéu Sul iniciou as operações, entretanto suas obras começaram anos antes, período em que a classe outros usos denota crescimento (2015 e 2017), se expandindo nos anos seguintes acompanhado da ampliação do parque, com a criação do Parque Eólico Morro do Chapéu Sul II iniciada em junho de 2020 (ENEL GREEN POWER, 2023).

4.2 Transição do uso e cobertura da terra e o fluxo de CO₂

Por meio do produto gerado a partir da equação entre o NDVI e o sPRI obteve-se o mapa de fluxo de CO₂, que indica a distribuição espacial para as classes de transições de uso e cobertura estudadas. Os valores mais elevados e representativos dispostos nas classes médio e alto (0,10 a 0,39), concentram-se nas áreas de regeneração da vegetação ou onde não ocorreram nenhum tipo de mudança, regiões marcadas principalmente pela presença da vegetação natural, mais saudável e densa e consequentemente com atividade fotossintética mais ativa, ou seja, com maior capacidade de absorção do CO₂ (Silva, 2022; Almeida; Rocha, 2018; Pereira *et al.*, 2020).

Já os valores mais baixos (-0,1 a 0,09) classes muito baixo e baixo, foram encontrados nas áreas marcadas principalmente pelo desmatamento ou onde não ocorreram alterações, regiões que concentram a prática de atividades agrícolas e a formação urbana do município. Podemos inferir que os valores mais baixos são decorrentes dos tipos de cultivos utilizados, já que estes possuem uma menor biomassa em comparação às espécies de vegetação natural, indicando uma menor quantidade de CO₂ absorvido. Em Morro do Chapéu a prática da agricultura está fortemente relacionada às culturas temporárias (IBGE, 2021), plantações com baixo aporte vegetal, o que garante uma baixa absorção do CO₂.

Os valores mais baixos observados para a classe de desmatamento corroboram com os resultados apontados por Almeida e Rocha (2018) e Silva (2022), uma vez que,

os valores encontrados por estes autores estão associados a áreas urbanas ou consideravelmente degradadas.

O bioma Caatinga é marcado pela presença de plantas anuais, cactos, bromélias, gramíneas e de maneira mais representativa, por arbustos e pequenas árvores que durante o período seco perdem suas folhas como forma de proteção (Santos *et al.*, 2010; Gomes *et al.*, 2021). Estas são importantes ferramentas durante o processo de fotossíntese, contribuindo para a absorção do CO₂ e liberação do O₂ para atmosfera (Santos *et al.*, 2012), uma vez que, a presença das folhas é reduzida o processo de absorção do CO₂ é comprometido, resultando em uma menor eficiência do sequestro de carbono.

Aquino e Oliveira (2012) discutem que, as oscilações entre as estações secas e úmidas ao longo do ano e em diferentes anos têm potencial de maior ou menor frescura, o que interfere de maneira direta no comportamento fenológico das plantas.

As áreas mais antropizadas também são marcadas pela menor eficiência do processo de absorção do CO₂ (Gomes *et al.*, 2019), tendo em vista que a intervenção antrópica acarreta alterações da composição fitofisionômica da caatinga, reduzindo o estrato arbóreo-arbustivo (Morais *et al.*, 2017; Gomes *et al.*, 2021).

Contudo, as áreas de Caatinga podem ser usadas como instrumento mitigador no processo de absorção do CO₂, uma vez que, em períodos mais úmidos a vegetação exerce papel significativo no sequestro do carbono devido a sua reconstituição, desempenhando alta eficiência durante a atividade fotossintética, o que foi comprovado por Gomes *et al.* (2021) quando este observou uma forte influência da sazonalidade para este processo.

4.3 Correlação: transição do uso e cobertura da terra e o fluxo de CO₂

As camadas de transições entre as classes de LULC foram adotadas para integrar a correlação com os mapas de fluxo de CO₂ tendo em vista que, as alterações nos padrões de uso e cobertura da terra ocasionam maior emissão de CO₂, em nível Brasil, as mudanças no uso e cobertura contribuem em 51% das emissões nacionais, seguido pelo setor agrícola, 22% (Assad *et al.*, 2019).

Em relação às transições, o número de frequência de correlação mais representativo, entre duas e dez vezes durante a série histórica, estão mais concentradas na porção central do município e correspondem à classe de desmatamento. As áreas que apresentam essa maior frequência da correlação também podem estar associadas aos afloramentos rochosos presentes no município de Morro do Chapéu, ou ainda ao tipo de plantio desenvolvido, uma vez que, há a predominância do plantio temporário (IBGE,

2021), que podem ser classificados enquanto áreas de desmatamento durante o período de replantação.

Tendo em vista que as ações antrópicas ocasionam alterações na composição fitofisionômica da Caatinga e resultam na diminuição desta (Morais *et al.*, 2017), torna-se extremamente relevante a conservação dos recursos naturais deste bioma (Ganem *et al.*, 2020), especialmente quando considera-se a influência que a degradação tem na intensificação das secas e das mudanças climáticas.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados podemos inferir, que em geral o município de Morro de Chapéu – BA não passou por grandes mudanças em sua estrutura espacial da paisagem. A classe de vegetação natural demonstrou uma diminuição quanto ao número de manchas, ao passo que as demais classes (outros usos e agricultura) mostraram um processo inverso, ocasionando uma maior fragmentação da paisagem. O crescimento da agricultura e de outros usos em detrimento da classe de vegetação natural em determinados momentos demonstram o quanto uma classe está sujeita às outras.

As áreas onde não ocorreram alteração da paisagem ou exibiram o processo de regeneração da vegetação foram as que demonstraram a maior capacidade de absorção do CO₂, uma vez que a vegetação presente nestas áreas possui uma atividade fotossintética eficiente em decorrência da sua densidade e saúde. Já as áreas com baixa ou nenhuma presença da vegetação (agricultura e outros usos) consideradas como desmatamento, exibiram os valores de *CO₂Flux* mais baixos.

Com base nos resultados, torna-se imprescindível a adoção de medida que visem à preservação das áreas naturais do município, a exemplo do Parque Estadual do Morro do Chapéu, uma vez que, elas estão diretamente relacionadas com a maior capacidade de sequestro de carbono; e a recuperação das áreas degradadas tendo em vista o seu potencial enquanto elemento mitigador do CO₂ presente na atmosfera.

O uso do sensoriamento multiespectral, por meio dos índices de vegetação, se mostrou uma importante e eficiente ferramenta para o estudo da dinâmica do fluxo de carbono em ambiente de caatinga. Entretanto, novos estudos devem ser incentivados principalmente no que tange ao entendimento da dinâmica do carbono em ambientes áridos ou semiáridos e sua relação com diferentes variáveis a exemplo da precipitação pluviométrica.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, I., *et. al.* **SEEG 8: Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. SEEG, 2020. 41p.
- ALMEIRA, J. R da R.; ROCHA, K. da S. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI e CO2Flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. In: 7º Simpósio de Geotecnologias no Patanal, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018. **Anais**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 985-994.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no núcleo de São Raimundo Nonato-PI. **GEOUSP Espaço e Tempo** [online], v. 16, n. 2, p. 157-168, 2012. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74261/77904> . Acesso em: 20 Abril 2023
- ASSAD, E. D., *et. al.* Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, D. J.; *et. al.* **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa. 2019. p. 153 – 167.
- BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO2 em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 189-202, 2004.
- BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para Ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: **XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.
- BARBOSA, A. H. da S.; *et. al.* Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. 33, p. 128-143, 2017.
- BARBOSA, H. A.; *et. al.* Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008-2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 148, p. 235-252, 2019. Elsevier BV.
- BRASIL. **Brazil's 2nd National Communication to the Framework Convention of the United Nations on Climate Changes**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, v. 1, p. 222–223. 2010.
- BRITO, R. M.; GARCIA, P. H. M. Zonas de amortecimento de unidade de conservação: Conceitos, legislação e possibilidades do Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14, n. 03, pag: 1393 – 1414. 2021.
- CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S.; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da Alta Bacia do Rio Araguaia na Savana Brasileira. **Revista Floresta**. V. 40, n. 4, pag. 675 – 690. 2010.
- CAETANO, R. *et. al.* Uso de índices espectrais na caracterização vegetal em região de Caatinga do semiárido baiano. **Revista de Geociências do Nordeste**. v.8, nº2, p. 28 – 43. 2022.
- CASIMIRO, Pedro Cortesão. Estrutura, composição e configuração da paisagem conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. **Revista portuguesa de estudos regionais**, n. 20, p. 101-125, 2009.
- CARVALHO, J. L. N. *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 277-290, abr. 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QKJZTHq3WhVSXHgVMyskHCL/?lang=pt> . Acesso em: 10 out. 2022.

CERQUEIRA, D. B.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - BA. In: XIII SBSR, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 2413-2419, 2007

CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**: The journal of the association for tropical biology and conservation. v. 48, n. 6, pag: 716 – 730. 2016.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil - Ministério de Minas e Energia Secretaria de Minas e Metalurgia. **Projeto Morro do Chapéu**. Superintendência Regional de Salvador. 1995.

Disponível em : <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/4870> . Acesso em 01 de Ago de 2021.

ENEL GREEN POWER - ENEL. Parque Eólico de Morro do Chapéu Sul II, Brasil. Linha do tempo. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/nossos-projetos/em-construcao/parque-eolico-morro-do-chapeu-sul-ii> . Acesso em: 10 de Abril de 2023.

FERNANDES, Marcia; FERNANDES; Milton; ALMEIDA, André; GONZAGA, Maria Isidória da Silva; GONÇALVES, Fábio. Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Cálculo do Índice Espectral CO₂FLUX em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física**, Campinas, p. 4642-4653, 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2175> . Acesso em: 10 Abril 2023.

FONSECA, E. L.; LOCATELLI, M.; SILVA FILHO, E. P. **NDVI aplicado na detecção de degradação de pastagens cultivadas**. Confins [online], n. 35, 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/13180> . Acesso em: 12 dez. 2022.

FRANCISCO, C.N. *et al.* Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.1, pag: 076-086. 2020.

GANEM, K. A. *et al.* Mapeamento da vegetação da Caatinga a partir de dados ópticos de observação da Terra – Oportunidades e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 72, n. Especial 50 anos, pag: 829 – 854. 2020.

GAMON, J. A.; PENUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v.41, n.1, pag: 35 – 44. 1992.

GOMES, D.S. *et al.* Cinética de liberação de CO₂ e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development**. v.10, n.1, pag: 1 - 14. 2019.

GOMES, D.S.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; SANTOS, T. M.; SILVA, E. V.; BARBOSA, A. S. CO₂Flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.14, n.04, pag 1898 – 1908. 2021.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, 2017. DOI. 10.1016/j.rse.2017.06.031

GRILO, Davi Cerqueira. **Modelagem de fluxo de carbono em paisagens de Caatinga e em sistemas agropecuários**. 2020. 115p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana - Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/ppgm.uefs.br/DAVI_CERQUEIRA_GRILO.pdf Acesso: 07 jan. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/morro-do-chapeu/pesquisa/14/10193?ano=2010&indicador=10246> . Acesso em: 14 de Dezembro de 2022.

INCRA. **Relatório de análise de mercados de terras de morro do chapéu**. Superintendência regional do Estado da Bahia SR-05. Divisão de obtenção de terras e implantação de projetos de assentamento. Bahia. 2015.

IPCC - **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. V. Masson-Delmotte, *et. al.* (eds.). Genebra, Suíça: Working Group / Technical Support Unit, 2018.

IPCC, I. P. ON C. C. (ED.). **Climate change 2007: the physical science basis ; contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 1st published ed. New York: UNEP, 2007.

KÖPPEN, W.M. Climatologia: Com um studio de los climas de la terra. México, Fundo de Cultura Económica, 478p. 1948. disponível em: https://issuu.com/lucaspestana/docs/koeppen_climatologia . Acesso: 20 dez. 2022.

LOBÃO, J. S. B.; *et. al.*. Geoprocessamento na Modelagem da Vulnerabilidade Natural à Erosão no Município de Morro do Chapéu-Ba. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 1, 2011.

LOPES, R. J. de C.; SANTOS, A. M. dos; ZLATAR, T.; LIMA JÚNIOR, C. de. Uso de índices de vegetação por sensoriamento remoto para estudos da Caatinga: uma revisão sistemática. **Gaia Scientia**, v. 14, n. 1, p. 104-116, 2020.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**. v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MADUREIRA, Jane Marchi; GUERRA, Sinclair Mallet Guy. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: divergências sobre os resultados sociais da política de biocombustíveis. **R. Pol. Públ.**, São Luís, v. 18, n. 2, p. 659-670. 2014.

MAPBIOMAS. **MapBiomass** — Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil - Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/> Acesso: 5 jan. 2023.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A; REGAN, C. Quantifying terrestrial habitat loss and fragmentation: a protocol. **USDA For. Gen. Tech. Rep**, n. 413, p. 115, 2005.

MCNAMARA, J. et al. Long-term spatio-temporal changes in a West African bushmeat trade system. **Conservation Biology**, v. 29, n. 5, p. 1446–1457, 2015.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. **Programa Nacional de Produção e uso de biodiesel**. Brasília, Brasil (2019).

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/viewArticle/24919> . Acesso em: 15 Fevereiro 2023.

MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In: **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). UnB: Brasília, 2012.

MILAN, Elisana; MORO, Rosemeri Segecin. O conceito biogeográfico de ecótono. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, pag: 75-88. 2016.

MORAIS, Y.C.B.M *et al.* Análise do Sequestro de Carbono em áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 32, n. 4, pag: 585 – 599. 2017.

NUNNENKAMP, C. H.; CORTE, A. P. D. Emissão de gases de efeito estufa e proposta de projeto para compensação: um estudo de caso e-commerce. **Biofix Scientific Journal**. v. 2, n. 1, p. 69-77. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/51086/32471> . Acesso em: 03 jan. 2023.

OLHOFF, A.; CHRISTENSEN, J. - **Emissions Gap Report 2018**. Disponível em: <http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm%0Ahttps://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018> . 2018.

PEREIRA, L.C. *et al.* Fluxo de CO₂ e os índices de vegetação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.13, n. 7, pag: 3585 - 3601. 2020.

PINTO, E. P. P.; MOUTINHO, P.; STELLA, O.; CASTRO, I.; MAZER, S.; RETTMANN, R.; MOREIRA, P. F. **Perguntas e respostas sobre aquecimento global**. 5. ed. Belém - PA: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, 2010. 64 p. Disponível em: [https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2010/05/perguntas_e_respostas_sobre_aquecimento .pdf](https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2010/05/perguntas_e_respostas_sobre_aquecimento.pdf) . Acesso em: 03 jan. 2023.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2. ed. atual. ampl. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2012. p.160.

ROCHA, Jancerlan Gomes. **Modelagem de conhecimento e métricas de paisagem para identificar e analisar padrões espaciais em ambiente de caatinga**. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SANCHEZ-CUERVO, Ana Maria; AIDE, T. Mitchell. Identifying hotspots of deforestation and reforestation in Colombia (2001–2010): implications for protected areas. **Ecosphere**, v. 4, n. 11, p. art143, 2013. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/ES13-00207.1> . Acesso em: 02 Abril 2023.

SANTOS, Sara de Jesus. **Avaliação do efeito do uso da terra sobre os estoques de carbono em solos da Caatinga utilizando o modelo Century**. 2019. p.42. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe.

SANTOS, M.V.F.D. *et al.* Potencial de plantas forrageiras da Caatinga na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39, pag: 204 - 215. 2010.

SANTOS, S.A. *et al.* Aspectos da Variabilidade Sazonal da Radiação, Fluxos de Energia e CO₂ em Área de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.5, n.4, pag: 761 - 773. 2012.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Balanço hídrico do Estado da Bahia**. Salvador: SEI, 1999.

SILVA, Bruno Henrique Ribeiro. **Uso de índices espectrais para avaliação da estimativa de absorção de CO₂ pela vegetação para o município de Uberlândia – MG: 2006 – 2020**. 2022. p.64 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia.

SILVA, L. S.; MOREAU, M. S.; DALTRO, U. S. Uso do geoprocessamento para mapeamento do uso e ocupação do solo com ênfase em métricas da paisagem: um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Água Branca. **Revista Acta Ambiental Catarinense**. v. 17, n. 1, pag: 33 – 34. 2020.

SILVA JUNIOR, U. J. da; GONÇALVES, R. M.; OLIVEIRA, L. M. M. de; SILVA JUNIOR, J. A. da. Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na mata ciliar do reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 73, n. 1, p. 17-35, 2021.

SOUZA, D.; SFAIR, J.; PAULA, A.; BARROS, M.; RITO, K.; TABARELLI, M. Multiple drivers of aboveground biomass in a human modified landscapes of the Caatinga dry forest. **Forest Ecology And Management**, v. 435 p. 57- 65, 2019.

SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; LOPES, E. R. N.; PADOVANNI, N. G.; MORAES, M. C. M.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Avaliação da atividade fotoquímica de diferentes tipos de cobertura vegetal a partir do Índice de Refletância Fotoquímica. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18., 2017, Santos – SP. **Anais...** Santos – SP: INPE, 2017. p. 211- 217. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/trabalhos/avaliacao-da-atividade-fotoquimica-de-diferentes-tipos-de-cobertura-vegetal-a-pa?lang=pt-br> . Acesso em: 16 Fevereiro 2023.

TAVARES, Ana Chastinet. **Padrão espaço-temporal das mudanças de uso da terra em ecorregiões do Bioma Caatinga: Análise bibliométrica e indicadores da estrutura da paisagem**. 2021. 61p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Feira de Santana - Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana/BA. 2021.

VASCONCELOS, Ana Luisa Soares.; *et. al.* Agricultura e emissões de gases de efeito estuda – estudos de casos no Brasil. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**. V. 10, n.2, p.12. 2018.