



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE OCORRÊNCIA E CAPACIDADE DE
SEQUESTRO DE CARBONO DO ECOSISTEMA MANGUEZAL NA ILHA DO
MARANHÃO, MARANHÃO, BRASIL

VITOR MARTINS MOREIRA

SÃO LUÍS – MA

2021

VITOR MARTINS MOREIRA

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE OCORRÊNCIA E CAPACIDADE DE
SEQUESTRO DE CARBONO DO ECOSISTEMA MANGUEZAL NA ILHA DO
MARANHÃO, MARANHÃO, BRASIL

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão,
como requisito para obtenção do Grau de
Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Denílson da Silva
Bezerra

SÃO LUÍS – MA

2021

VITOR MARTINS MOREIRA

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE OCORRÊNCIA E CAPACIDADE DE
SEQUESTRO DE CARBONO DO ECOSISTEMA MANGUEZAL NA ILHA DO
MARANHÃO, MARANHÃO, BRASIL

Monografia apresentada ao curso de
Oceanografia da Universidade Federal do
Maranhão, como requisito para obtenção
do Grau Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Denilson da Silva Bezerra
Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Orientador

Prof. Dr. Leonardo Silva Soares
Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Profª. Dra. Náila Arraes de Araújo
Departamento de Oceanografia e Limnologia – DEOLI
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Martins Moreira, Vitor.

Dinâmica Espaço-temporal de Ocorrência e Capacidade de Sequestro de Carbono do Ecossistema manguezal na Ilha do Maranhão, Maranhão, Brasil / Vitor Martins Moreira. - 2021.
27 f.

Orientador(a): Denílson Da Silva Bezerra. Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

1. Carbono azul. 2. Crédito de carbono. 3. Landsat.
4. MAPBIOMAS. I. Da Silva Bezerra, Denílson. II. Título.

*A minha família, especialmente para a
minha doce mãe, Antônia Martins e a
Deus! Não dedico apenas este trabalho,
mas também todo o meu respeito, amor e
admiração.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo privilégio da vida e esperanças de um amanhã sempre melhor.

A minha família pelo apoio constante e incondicional, em especial destaco a minha mãe, a maior responsável pela minha formação, sendo uma pessoa que almeja melhorar a cada dia, fazendo boas escolhas, ajudando o próximo e principalmente, aprendendo com os erros.

Aos meus amigos, em especial Maria Luiza Torres, que sempre me dedicou apoio, realizando funções de amiga, irmã, conselheira, orientadora e professora, quando necessário.

A minha namorada, minha fonte de sorrisos de todos os dias, por sempre me lembrar que uma vida cheia de surpresas é melhor e pela sua incrível paciência, aturando minhas estranhezas.

Ao meu querido orientador, professor Denílson, por ter aceitado me orientar e ensinar, enfrentando todos os desafios relacionados a tempo e trabalho, desempenhando um papel fundamental na conclusão deste trabalho através dos ensinamentos e sensibilidade para entender, e aprimorar o aluno.

Aos professores que tive o prazer de conhecer ao longo do curso, agradeço por todos os ensinamentos e a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda.”

Confucio - Filósofo chinês, 479 a.C.

RESUMO

O ecossistema manguezal é tipicamente encontrado em zonas tropicais e subtropicais, apresentando alta salinidade, solo rico em matéria orgânica, oxigênio limitado e uma diversidade de árvores constantemente submersas. Neste ambiente ainda, ocorrem intensos processos biológicos e geoquímicos que provêm diversos bens para a Zona Costeira, tais como: recursos alimentares, serviços ecológicos e culturais, contenção de sedimentos, que amortecem impactos de inundações e/ou maremotos e captura de carbono da atmosfera e oceano. O presente estudo objetivou através de ferramentas de sensoriamento remoto a realização de uma análise espaçotemporal (1985 – 2018) de eventos de ocorrência de manguezal na Ilha do Maranhão, além de identificar a idade dos pixels de manguezal e realizar uma estimativa de captura de carbono feita por esses. Para a metodologia, utilizou-se dados matriciais e seus subprodutos das séries anuais de uso e cobertura da terra produzidas pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MAPBIOMAS). Para identificação da idade de cada pixel classificado como manguezal, foi estimado com base na metodologia de Silva-Junior (2020). A estimativa da biomassa acumulada de carbono foi analisada utilizando a base de dados internacional do projeto ESA. Quando comparados separadamente, os períodos de 1985 a 1998 e 1999 a 2018, apresentaram uma tendência distinta. O primeiro período (1985 a 1999), mostra um aumento na cobertura de manguezal e uma curva de tendência positiva; e em um segundo período de análise (1999 a 2018), os dados apresentaram um comportamento decrescente. A Ilha do Maranhão apresentou em sua composição bosques de manguezais de idades entre 1 a 33 e uma predominância de bosques mais velhos (> 28 anos).

Palavras-Chaves: Carbono azul, Landsat, MAPBIOMAS, Crédito de carbono.

ABSTRACT

The mangrove ecosystem is found in tropical and subtropical zones, changes high salinity, soil rich in organic matter, limited and a diversity of submerged trees. In this environment, there are also intense biological and geochemical processes that provide various goods for the Coastal Zone, such as: food resources, ecological and cultural services, sediment containment, which dampen the impacts of floods and/or tsunamis and capture of carbon from the atmosphere and Ocean. The present study aimed, through remote sensing tools, to perform a spatiotemporal analysis (1985 - 2018) of mangrove occurrence events on the Ilha do Maranhão, in addition to identifying the age of mangrove pixels and performing an estimate of carbon capture made. by those. For the methodology, matrix data and its by-products of the land use and land cover series produced by the Annual Land Cover and Land Use Mapping Project in Brazil (MAPBIOMAS) are used. To identify the age of each pixel classified as a mangrove, it was estimated based on the Silva-Junior methodology (2020). The estimate of accumulated carbon biomass was analyzed using an international database from the ESA project. When compared, the periods from 1985 to 1998 and 1999 to 2018 provide a distinct trend. The first period (1985 to 1999) shows an increase in mangrove cover and a positive trend curve; and in a second period of analysis (1999 to 2018), the data source a decreasing. Ilha do Maranhão presented in its composition mangrove forests with ages between 1 and 33 and a predominance of older forests (> 28 years).

Keywords: Blue carbon, Landsat, MAPBIOMAS, Carbon credit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo: Ilha do Maranhão, nordeste do Brasil.....	12
Figura 2 - Cobertura da área de manguezal na Ilha do Maranhão para o período de 1985 a 2018.	15
Figura 3 - Cobertura de manguezal para a Ilha do Maranhão nos períodos 1985-1998 (esquerda) e 1999-2018 (direita).	17
Figura 4 - Variação da área de cobertura do manguezal para a Ilha do Maranhão no período de 1985 a 2019.	17
Figura 5 - Biomassa acumulada de carbono (t) para cada idade de bosque	18
Figura 6 - Mapa de distribuição da biomassa acumulada de carbono (t) para o ano 2018, na Ilha do Maranhão.	18
Figura 7 - Mapa de distribuição da idade dos bosques para o ano de 2018 na Ilha do Maranhão.	18

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1.	ÁREA DE ESTUDO	15
2.2.	AQUISIÇÃO DOS DADOS MATRICIAIS	17
2.3.	INCREMENTO E ESTIMATIVA DA IDADE DO MANGUEZAL	17
2.4.	MODELAGEM DE CARBONO.....	18
3.	RESULTADOS	19
4.	CONCLUSÃO.....	23
	REFERÊNCIAS.....	24
5		
	ANEXO	27
	AGRADECIMENTOS	29

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema manguezal é tipicamente encontrado em zonas tropicais e subtropicais, apresentando alta salinidade, solo rico em matéria orgânica, oxigênio limitado e uma diversidade de árvores constantemente submersas (Cavalcante *et al.* 2021). Ocorrem ainda neste ambiente intensos processos biológicos e geoquímicos (Santos, Costa & Cestaro. 2021).

Esses processos para a zona costeira provêm diversos bens, tais como: recursos alimentares para a população humana e outros serviços ecológicos, como por exemplo a contenção de sedimentos, que amortecem impactos de inundações e/ou maremotos. Dentre outros serviços ecológicos provenientes do ecossistema manguezal, pode-se citar desde a retenção de nutrientes e uso como berçário natural para inúmeras espécies, até retenção de carbono, purificação da água e usos como bens socioculturais (Barbier *et al.* 2011; Rodriguez *et al.* 2019).

Rebello-Mochel (2003) enfatizou a importância da diversidade social e econômica, característica das comunidades situadas ao longo da costa norte do Brasil, como grupos indígenas, remanescentes de antigos quilombos, comunidades pesqueiras, além dos núcleos urbanos, que mantêm relações variadas com o ecossistema manguezal, como na culinária, manifestações culturais e ainda, incremento na renda familiar.

Quando nos referimos aos valores dos bens produzidos e oferecidos pelo manguezal, há uma impossibilidade de se atribuir um valor específico a ser utilizado como referência regional como critério único para a tomada de decisão. Hernandez *et al.* (2002) estimaram uma média de 13.000 dólares ha/ano gerados em bens e serviços produzidos pelo ecossistema manguezal.

Em análises realizadas em serviços ecossistêmicos de alguns manguezais nos estados do Piauí e Ceará, e em correlação de serviços de manguezais oferecidos em diversas regiões do mundo, foi possível relacionar uma cifra que variam entre 16.000 a 91.000 dólares por hectares por ano, na dependência do tempo, área de estudo e tipo de serviço desempenhado. Meireles & Campos (2010) e mais recentemente, Van Bochove *et al.* (2014), sistematizam alguns estudos, apontando valores estimados de serviços ecossistêmicos do manguezal, variando de 33.000 a 57.000 dólares por ha/ano, demonstrando que valores monetários escondem enormes variações entre regiões e tipos de serviço.

A vegetação “floresta”, de forma geral, apresenta um papel significativo no armazenamento de carbono terrestre global em seus componentes. Nos ecossistemas

tropicais, as florestas apresentam alta produtividade devido a temperatura e umidade que favorecem a decomposição da matéria orgânica no solo, e com a ausência de distúrbios físicos permitem a formação de grandes estoques de

carbono (Dantas *et al.* 2020). Ecossistemas marinhos costeiros, mais especificamente, ecossistemas vegetados tais como: os manguezais, marismas e pradarias submersas, podem ter potencial de sequestro de carbono de 10 a 50 vezes maior que os ecossistemas terrestres (Copertino, 2011). Nellman *et al.* (2009) comenta que, enquanto os ecossistemas vegetais marinhos constituem menos de 0,5% do piso marinho, eles ainda são responsáveis por mais de 50% do carbono estocado no sedimento.

Estimativas recentes indicam que florestas tropicais maduras podem reter de 1,8 a 2,7 t CO₂/ha/ano (Lewis *et al.*, 2009) e ecossistemas de manguezais, e marismas podem reter de 6 a 8 t CO₂/ha/ano (Murray *et al.* 2010). Sanderman *et al.* (2018) encontraram em taxas de estoques de carbono por hectare em muitas das ilhas do pacífico atingindo um valor médio de 505 mg C/ha, com grande parte do sudeste asiático bem acima da média global. Algumas estimativas indicam que no período de um ano, esses ecossistemas podem capturar e estocar mais carbono do que o total que é emitido pelos veículos automotores (Cong & Ong, 1990; Ong, 2002; Nellman *et al.*, 2009).

A capacidade de captura de grandes quantidades de carbono da atmosfera pelo manguezal em comparação com florestas tropicais torna-se mais relevante ainda quando relacionado ao sistema de mercado de Créditos de Carbono, que teve como principal base o Protocolo de Quioto, sendo que, a partir deste, diversos movimentos foram iniciados para que a efetivação de um mercado relacionado a emissões de GEE. O Fundo de Protocolo de Carbono, criando no ano 2000 com objetivo de congregar, de um lado o dinheiro dos participantes e, de outro, projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Instituto Brasil Carbono, 2012).

Os ambientes costeiros em todo mundo estão sob constante ameaças em razão das atividades antrópicas, como aquicultura, extração de madeira, pressão imobiliária, dentre outras atividades. Com a perda desses ecossistemas, o fornecimento de seus serviços ambientais é afetado diretamente, sendo explicitado a manutenção de espécies marinhas, conservação da linha de costa, manutenção da qualidade das águas interiores e marinhas, preservação de beleza cênica, dentre outros (Murray *et al.*, 2010).

Entre outros ambientes costeiros, os ecossistemas manguezais estão entre os

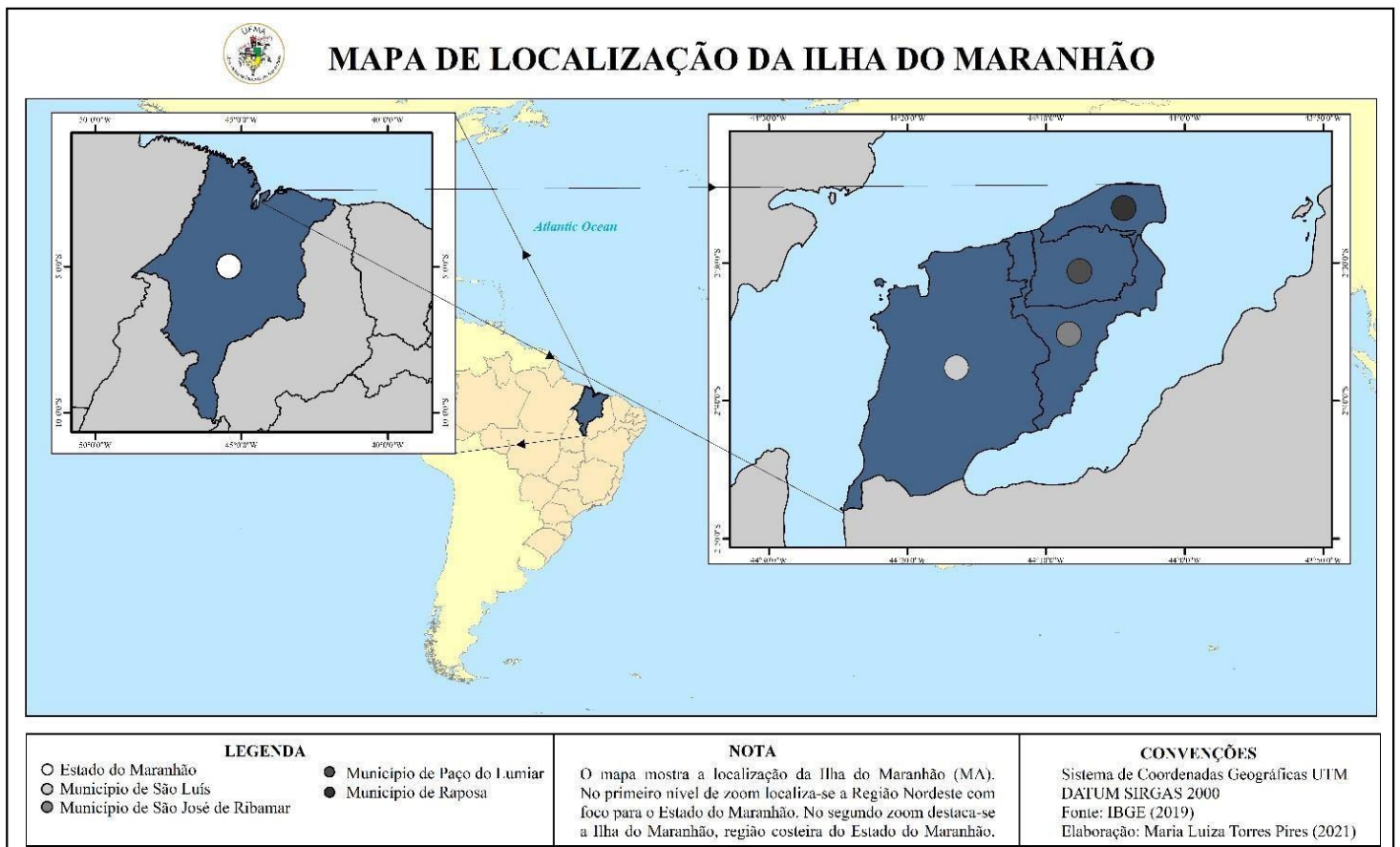
mais sensíveis. Estimam-se taxas de perdas de áreas de manguezais brasileiros anuais médias entre 1,25 a 3,62% para o período 1980 a 2000; e perda total de 35% dos manguezais em todo planeta. Cabe ressaltar, que apesar da grande área de ocorrência do manguezal no território brasileiro, não há compressão consistente da dinâmica de alterações na área de manguezal no Brasil, e nem como, eventuais cenários de perdas de sua área podem influenciar o fornecimento de bens e serviço do manguezal à zona costeira brasileira; salientando, assim, a necessidade de mais estudos acerca do tema. Desta forma, a presente estudo tem como objetivo realizar um levantamento espaço-temporal de áreas de manguezal que compõe a Ilha do Maranhão, evidenciando sua área de ocorrência e uma estimativa da idade dos bosques de mangues, além da simulação de eventos de sequestro de carbono (principal gás de efeito estufa de origem antrópica), para o período compreendido de 1985 a 2018, sendo uma proposta inédita para a pesquisa nacional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Maranhão está localizada na região de transição entre a região semiárida com a amazônica, localizada na região compreendida geomorfologicamente como Golfão Maranhense, dividindo-se entre a Baía de São Marcos e a Baía de São José (Figura 1) (Azevedo, Feitosa & Koenig, 2008; Silva *et al.*, 2014).

Figura 1 - Localização da área de estudo: Ilha do Maranhão, Nordeste do Brasil.



A Ilha compõe a zona costeira do Estado do Maranhão, possuindo uma área total de 969,83 km² e uma população estimada de 1.442.927 mil (IBGE, 2020); se enquadra entre as coordenadas geográficas 2° 24' 10" e 2° 46' 37" de latitude Sul e 44° 22' 39" e 44° 22' 39" de longitude Oeste, composta pelos seguintes municípios: São Luís (capital), São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa (Araújo, Parente Junior & Espig, 2005).

A Ilha do Maranhão, conforme Pinheiro (2002), abriga um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres, marinhos e climáticos, com interações que lhe conferem um caráter de fragilidade e que requerem, por isso, atenção especial. Dentre os diversos ecossistemas, o Golfão Maranhense, conforme Souza Filho (2005), juntamente com as rias do estado do Pará e Amapá abrigam cerca de 7.500 km² de manguezais de todo Brasil, constituindo desta forma, o maior cinturão contínuo do ecossistema manguezal no mundo.

De modo geral, o estado do Maranhão de acordo com Soavinski & Maretti

(2018), ocupa a maior área de manguezais da região Norte e Nordeste, totalizando 505 mil ha, corroborando para a importância da região para a conservação de manguezais, com olhar atento às Reentrâncias Maranhenses (Resex de Cururupu), caracterizada pela sua riqueza em manguezais.

A região apresenta clima tropical úmido (França *et al.*, 2013), com uma variabilidade climática mais pronunciada em escala semianual, apresentando uma estação chuvosa (dezembro a maio) e outra de estiagem (junho a novembro) bem distintas (Pires *et al.*, 2018). Para o estado do Maranhão, de modo geral, o índice pluviométrico anual é da ordem de 1.500 mm, com temperaturas médias superiores à 26 °C (Pires *et al.*, 2018).

2.2. AQUISIÇÃO DOS DADOS MATRICIAIS

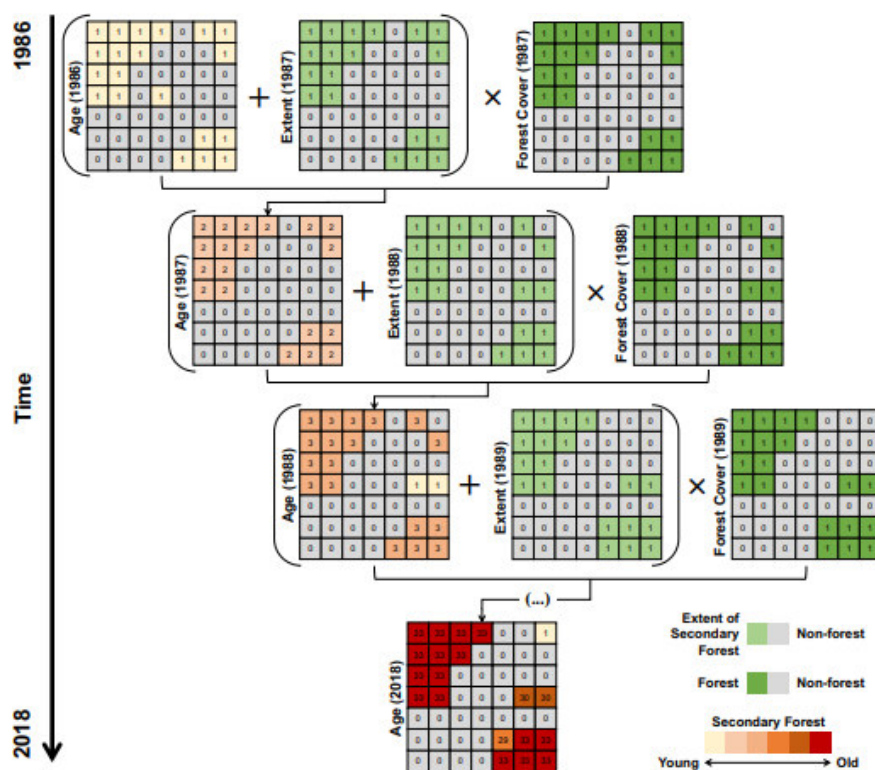
Os dados matriciais e seus subprodutos foram obtidos através de séries anuais de uso e cobertura da terra produzida pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e USO do Solo no Brasil (MAPBIOMAS), através do link <http://mapbiomas.org>. Os produtos apresentam como características uma resolução espacial de 30 m cobrindo o intervalo temporal de 1985 a 2018. Para a classificação das áreas de manguezal os atributos do MapBiomass utilizados foram a soma das classes de vegetação de mangue e de apicum.

2.3. INCREMENTO E ESTIMATIVA DA IDADE DO MANGUEZAL

Buscando a identificação de incremento de manguezal na Ilha do Maranhão e a estimativa da idade do manguezal, dentro do período de estudo, utilizou-se a metodologia proposta por Silva-Junior (2020), implementada através da plataforma Google Earth Engine (GEE), dividida em quatro etapas, (1) Reclassificação dos mapas, onde os mesmos foram transformados em mapas binários assumindo valor 1 para a presença de manguezal e 0 para ausência dos mesmos; (2) Mapeamento do Incremento Anual de manguezal, utilizando mapas feitos na primeira etapa e classificando momentos de transições de anos subsequentes (ausência-presença) para toda a série a partir do ano 1986, o qual representa o primeiro registro de floresta secundária da série de estudos; (3) Mapeamento da extensão anual dos manguezais, produzindo uma coleção de 33 mapas (1986 a 2018) com dados da extensão da floresta de manguezal para todos os anos, e por fim, a etapa (4) Estimativa da Idade do Manguezal, feita através da soma dos mapas de extensão dos anos e por fim, multiplicados pelo mapa produzido na etapa 1 do respectivo ano de análise para a remoção dos dados de

desmatamento, como representado no modelo conceitual (Figura 2).

Figura 2 – Modelo conceitual para realização da estimativa da idade do manguezal.



2.4. MODELAGEM DE CARBONO

As estimativas de carbono presente na biomassa nas áreas de manguezal foram realizadas através do banco de dados internacional denominado de “*ESA Biomass Climate Change Initiative (Biomass_cci): Global datasets of forest above-ground biomass for the years 2010, 2017 e 2018*”. O projeto tem como objetivo principal providenciar mapas da biomassa acima do solo em quatro épocas (meados de 1990, 2010, 2017 e 2018), sendo esses capazes de auxiliar na quantificação da variação da biomassa. O mapeamento foi realizado utilizando algoritmos desenvolvidos dentro de uma estrutura de recuperação de biomassa adquirida no projeto GlobBiomass Project.

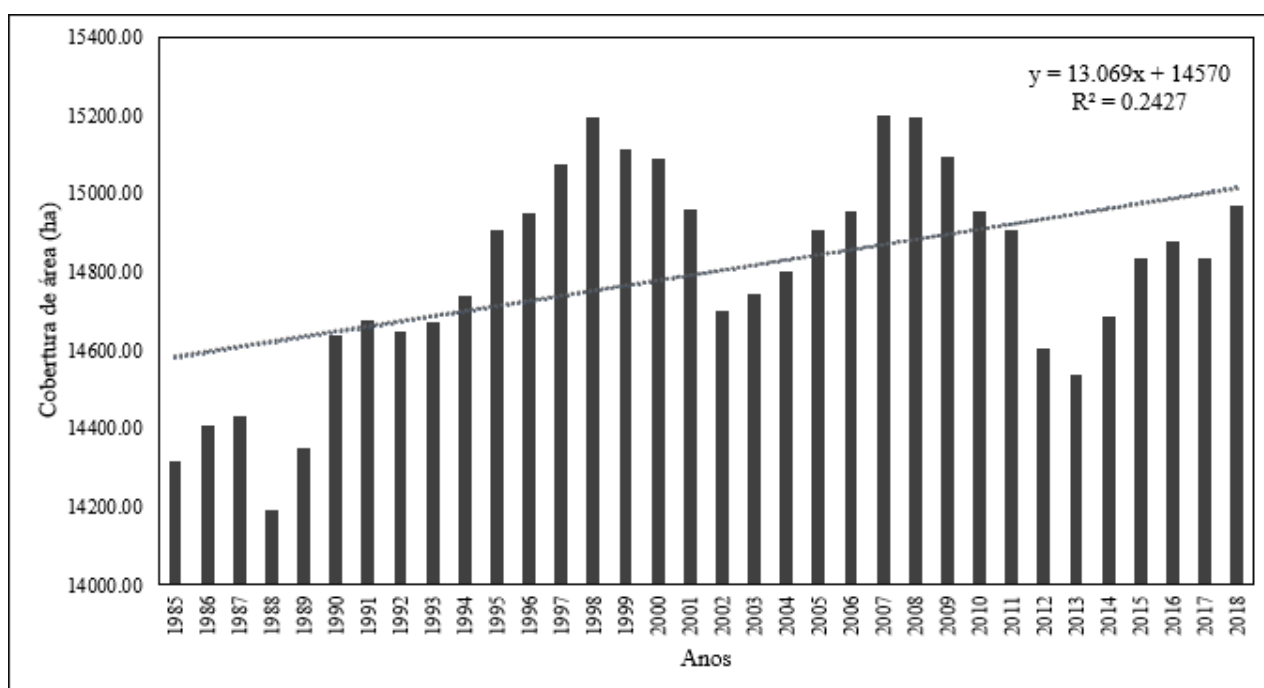
Para a presente pesquisa, dentre os anos da série temporal (1985 a 2018), optou-se por estimar a presença de carbono na biomassa no manguezal, no ano de 2018 através de um procedimento que consiste em utilizar uma “máscara” para ocorrência do manguezal e sobrepor esse dado aos valores de carbono obtidos da base de dados internacional.

3. RESULTADOS

Na Ilha do Maranhão (São Luís, Raposa, Paço do Lumiar, São José de Ribamar), as florestas de manguezais ocuparam uma área aproximada de 14.316,19 hectares no ano 1985 e 14.969,04 hectares no ano 2018, representando no total um acréscimo de aproximadamente 652,85 hectares, e uma diferença percentual de 4,62%. Em comparações com trabalhos anteriores, referentes aos anos de 2009 e 2015, respectivamente as áreas reportadas de cobertura de manguezal contabilizaram 30 a 32% menos que o estudo.

Em termos absolutos, a área de cobertura contabilizada pelo Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), em 2009 foi de aproximadamente 10.050 ha, enquanto o atual estudo registrou uma área de 15.092,01 ha. Para os valores registradores por Carneiro *et al.* (2017), no ano 2015, a Ilha do Maranhão apresentava uma cobertura de manguezal de aproximadamente 10.013,38 há, enquanto o atual estudo registrou para o mesmo ano uma área de 14.835,08 (Figura 3).

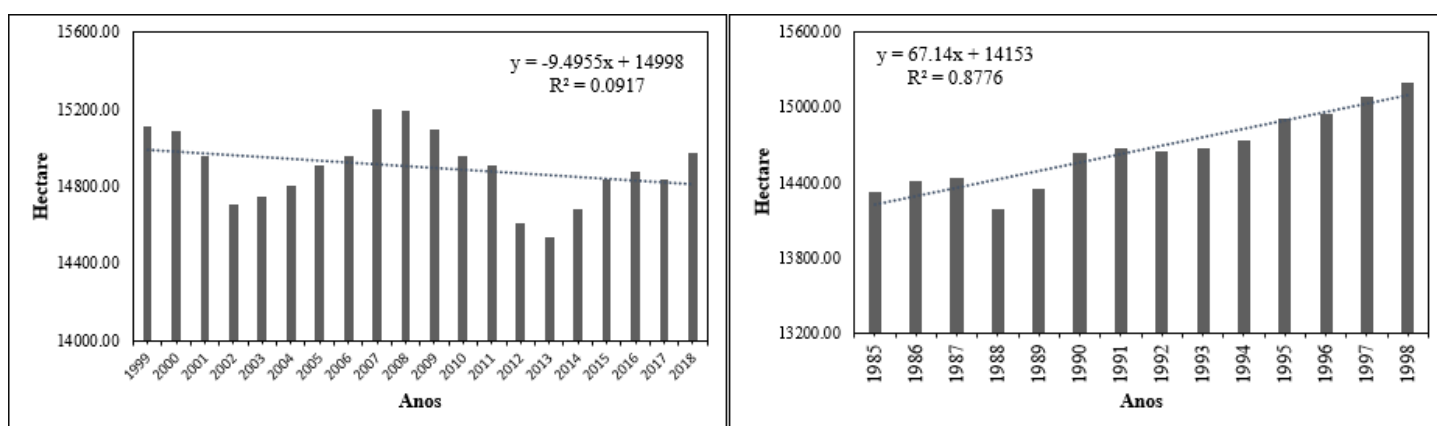
Figura 3 - Cobertura da área de manguezal na Ilha do Maranhão para o período de 1985 a 2018.



Em escala regional, os municípios que compõem a Ilha do Maranhão, São Luís, São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar apresentam respectivamente os valores de cobertura de área e seus respectivos percentuais: 8.553,94 há (57,32%), 2.243,16 há (15,03 %), 2.535,77 há (16,99 %) e 1.591,25 há (10,66 %).

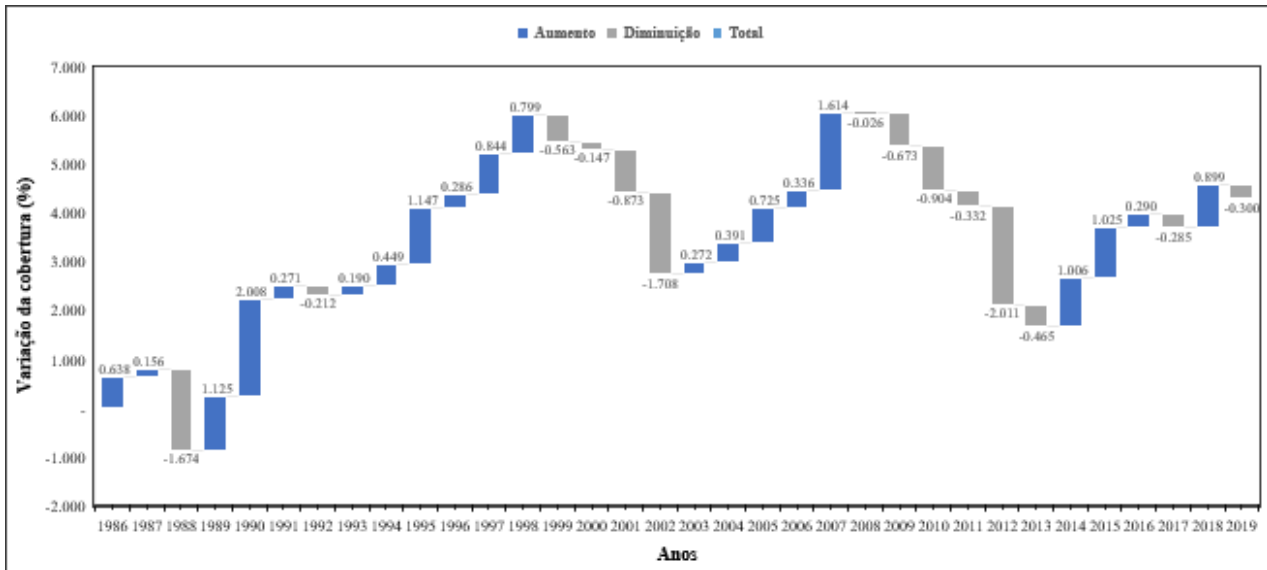
Quanto aos dados de cobertura da área de manguezal para a Ilha do Maranhão dentro do intervalo estudado (1985 a 2018), quando comparados separadamente, os períodos de 1985 a 1998 e 1999 a 2018, apresentam comportamentos distintos. O primeiro período (1985 a 1998) mostra um aumento na cobertura de manguezal e uma curva de tendência positiva, mostrada pela equação $y = 67,14x + 14153$ e uma $R^2 = 0,877$ (Figura 4). Cesar Diaz *et al.* (2019), em sua análise de cobertura de manguezal para todo o Brasil seguindo a mesma série histórica, encontra resultados semelhantes. Em sua discussão, afirma que há possibilidade deste comportamento ser explicado pela desigual distribuição de dados do Landsat durante os 33 anos em relação a regeneração de manguezais brasileiros. Em um segundo período de análise (1999 a 2018), os dados apresentaram um comportamento decrescente, explicado pela equação $y = -9,4955x + 14998$ e $R^2 = 0,091$.

Figura 4 - Cobertura de manguezal para a Ilha do Maranhão nos períodos 1985-1998 (esquerda) e 1999- 2018 (direita).



Os dados de variação de cobertura de manguezal para Ilha do Maranhão apresentaram em valores percentuais, um acréscimo de 6,04% durante o primeiro período (1985 a 1998) e um saldo negativo de 4,62% referente aos anos 1999 a 2018 (Figura 5). Vale ressaltar que os dados analisados e classificados como manguezal são referentes a soma das classes da vegetação mangue e apicm, obtidas na plataforma MAPBIOMAS. Em comparação com resultados obtidos por Thomas *et al.* (2017), em sua análise da distribuição e mudanças globais das florestas de manguezais (1996 – 2010), um comportamento contrário pode ser observado quanto a variação das áreas de manguezais para a Ilha do Maranhão, não registrando a mesma perda de 12% apresentado por Thomas *et al.* (2017), apenas um pequeno acréscimo (0,37 %).

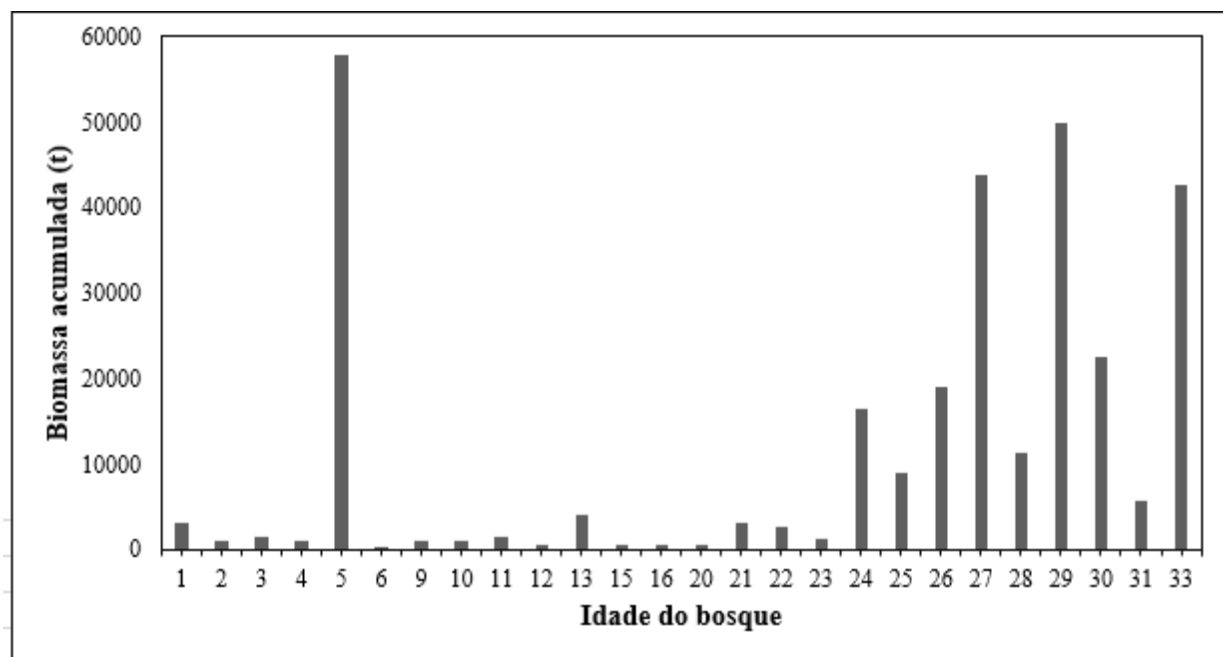
Figura 5 - Variação da área de cobertura do manguezal para a Ilha do Maranhão no período de 1985 a 2019.



Em relação a dados de biomassa acumulada de carbono (t) obtidos para o ano 2018, foram observados bosques de manguezais para a Ilha do Maranhão com idades entre 1 e 33 anos. Em termos absolutos, um total de 301.758,00 toneladas da biomassa de carbono acumulado foi registrado para

as florestas de manguezais da área de estudo. Quanto a sua distribuição, pode-se observar que os bosques mais velhos (21 a 33 anos) concentram maiores quantidades de carbono encontrado na ilha, em contrapartida, os bosques mais jovens (1 a 20), apresentam uma menor concentração, com exceção dos bosques de 5 anos, que apresentaram o pico máximo de acúmulo da biomassa de carbono registrado no estudo, totalizando 5.598,72 toneladas (Figura 6).

Figura 6 - Biomassa acumulada de carbono (t) para cada idade do manguezal da Ilha do Maranhão, Maranhão.



Estudos recentes de Estrada & Soares (2017), reportaram que o estoque de carbono acima do solo tende a aumentar e a taxa de sequestro tende a diminuir com a idade. Em concordância, Sahu & Kathiresan (2019) afirmam que o potencial fotossintético é diretamente proporcional a idade do bosque, enquanto a produtividade primária decresce com o aumento da idade do bosque.

Os mapas de distribuição de idade dos bosques e biomassa acumulada (Figuras 7 e 8) mostram uma maior concentração de carbono acumulada próximos aos bosques maduros (> 25 anos) e uma menor concentração em bosques mais jovens (<15 anos).

Figura 7 - Mapa de distribuição da biomassa acumulada de carbono (t) para o ano 2018, na Ilha do Maranhão.

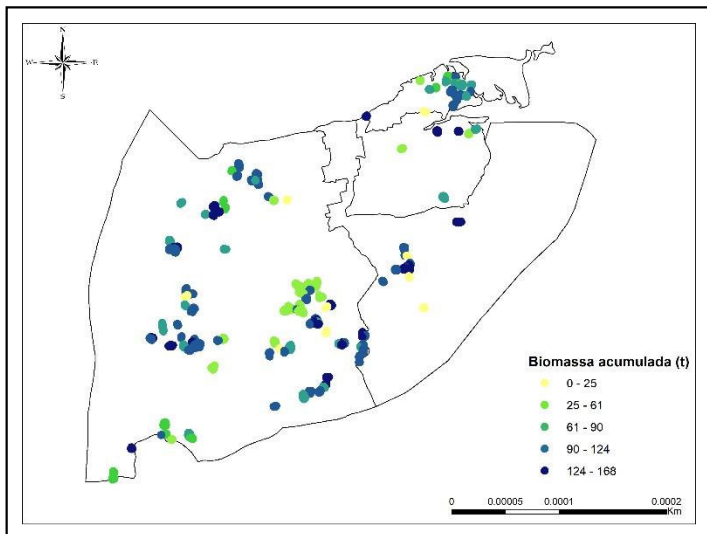
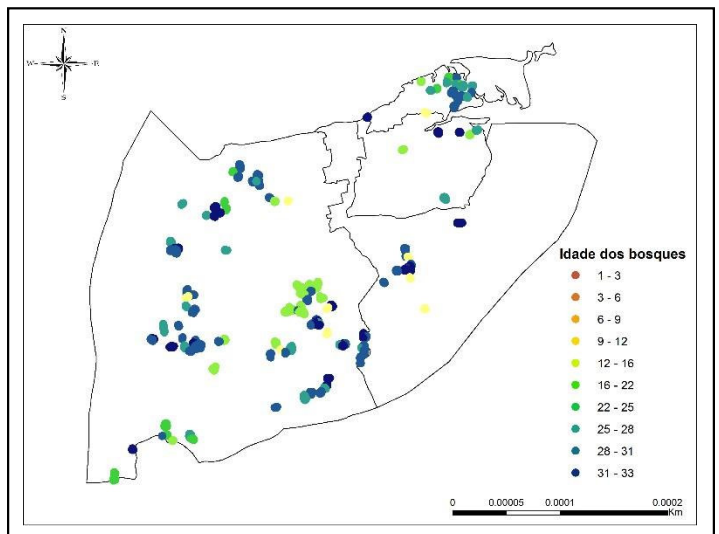


Figura 8 - Mapa de distribuição da idade dos bosques para o ano de 2018 na Ilha do Maranhão.



4. CONCLUSÃO

A Ilha do Maranhão apresenta em seus domínios bosques de manguezais tantos adultos como jovens, tornando importante reforçar medidas quanto a sua preservação e ao replantio de mangues. Os dados de biomassa de carbono acumulado para o ano de 2018 comprovam mais uma vez a importância dos manguezais para o sequestro de carbono da atmosfera, considerando sua grande quantidade distribuída tanto em bosques jovens, como em bosques adultos, reforçando recomendações proposta no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente para o ano de 2021, sendo ela: “A restauração do ecossistema de carbono azul, pode simultaneamente colaborar para a mitigação do avanço das mudanças climáticas, desacelerar o declínio da biodiversidade e aumentar os benefícios que as pessoas obtém da natureza”.

Um crédito de carbono equivale a liberação de uma tonelada de dióxido de carbono na atmosfera, cujo valor varia entre US\$ 10 a US\$ 20 por tonelada métrica de CO₂. Esse mercado voluntário de carbono apresenta uma tendência ao aumento já que, é esperado que a CPO 26, em novembro, finalmente regulamente o Artigo 6º do Acordo de Paris, que estabelece e regulamenta o mercado de crédito de carbono.

Para uma melhor análise da capacidade de sequestro de carbono em relação a idade de bosque, um estudo mais aprofundado torna-se necessário. Além disso, é recomendado uma análise de estoques de carbono também no solo, considerando que este tem potencial de sequestro maior que a biomassa vegetal e por mais tempo, podendo gerar estoques de centenas de anos.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. P.; PARENTE JUNIOR, J. W.; ESPIG, S. A. Estudo das unidades de paisagem da Ilha do Maranhão: delimitação e dinâmica. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. São José dos Campos: **INPE**, 2005. v. 12. p. 2607-2610.

ASBRIDGE, E., LUCAS, R., ACCARD, A & DOWLING, R. (2015). Mangrove Response to Environmental Changes Predicted Under Varying Climates: Case Studies from Australia. **Springer International**, 2015, 182-184.

AZEVEDO, A. C. G. DE; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 22, n. 3, p. 870–877, 2008.

BARBIER EB, HACKER SD, KENNEDY C, KOCH EW, STIER AC, SILLIMAN BR. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**. 2011;81(2):169-193.

BEZERRA, D.S., AMARAL, S., KAMPEL, M & ANDRADE, P. (2014). Simulating Sea-Level Rise Impacts on Mangrove Ecosystem adjacent to Anthropic Areas: the case of Maranhão Island, Brazilian Northeast. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**. 9 (3): 188-198, 2014.

CAVALCANTE, J., LIMA, A., SILVA, J., HOLANDA, B., & ALMEIDA C. (2021). Temporal Analysis of the Mangrove Forest at the Mocajuba Rivers Hydrographic Basin-Pará. **Floresta e Ambiente**, 28(2), 2021, 1.

CLOUGH, B.F., ONG, J.E & GONG, W.K. (1997). Estimating leaf area index and photosynthetic production in canopies of the mangrove *Rhizophora apiculata*. **Mar. Ecol. Progr.** 159, p. 285–292, 1997.

COPERTINO MS. 2011. Add coastal vegetation to the climate change critical list. **Nature** 473: 255.

DANTAS, D., TERRA, M., PINTO, L., CALEGARIO, N & MACIEL, S. 2020. Above and Belowground carbon stock in a tropical forest in Brazil. **Acta Scientiarum**. 43,

2020,1.

FRANÇA, V. L., MONTELES, J. S., FUNO, I. C. S. A., CASTRO, A. C. L. Seleção de áreas potenciais para o cultivo de *Crassostrea Spp.* e sururu, *Mytella falcata*, em Raposa, Maranhão.

LABOMAR, v. 46, n. 1, p. 62–75, 2013.

HERNANDÉZ, E.; HAGLER, M.; LÓPEZ, E. (2002). Financiación del Banco Mundial a la camaronicultura en América Latina. Estudio de casos. **Greenpeace**. 57p. Acesso em: 10/01/2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE: **Censo demográfico**, População estimada, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE: **Território e Ambiente**, Área da unidade territorial, 2020.

IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. Situação Ambiental da Ilha do Maranhão. São Luís: **IMESC**, 2011. 57p. Disponível em: <http://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/579d2d5480334a4bafbd95d68fcaceaf.pdf> . Acesso em: 18.10.2016

LEWIS, SIMON & LOPEZ-GONZALEZ, GABRIELA & SONKÉ, BONAVENTURE & AFFUM-BAFFOE, KOFI & BAKER, TIMOTHY & OJO, LUCAS & PHILLIPS, OLIVER & REITSMA, J. & WHITE, LEE & COMISKEY, JAMES & DJUIKOUO, MARIE & EWANGO, CORNEILLE & FELDPAUSCH, TED & HAMILTON, ALAN & GLOOR, MANUEL & HART, TERESE & HLADIK, ANNETTE & LLOYD, JONATHAN & LOVETT, JON & WÖLL, HANNSJÖRG. (2009). Increasing Carbon Storage in Intact African Tropical Forests. **Nature**. 457. 1003-6.

MEIRELES, A.J.A. & CAMPOS, A.A. (2010). Componentes geomorfológicos, funções e serviços ambientais de complexos estuarinos no nordeste do Brasil. **Revista da ANPEGE**, 6: 89-107, 2010.

MOCHEL, F.R. (2011). Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. *Amazônia Maranhense: Diversidade e*

Conservação / Organizado por Marlúcia Bonifácio Martins; Tadeu Gomes de Oliveira – Belém: **MPEG**, 2011.

MURRAY M. R. et al. The Mangroves of Belize. Part 1. Distribution, composition and classification. *Forest Ecology and Management* 174: p. 265–279. 2003. Nascimento, W.R.Jr., Souza- Filho, P.W.M., Proisy, C., Lucas, R.M., Rosenqvist, A. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. ***Estuarine, Coastal and Shelf Science***, 117: 83-93 (2013).

MURRAY M.R. et al. The Mangroves of Belize. Part 1. Distribution composition and classification. ***Forest Ecology and Management***. 174: p.265-279.2003.

NELLMANN et al. (Eds). Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations ***Environment Programme***. 2009.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2021). Adaptations to Life in the Estuary. Disponível em: Adaptations to Life in the Estuary: ***Estuaries Tutorial*** (noaa.gov). Acesso em: 04/03/2021.

PINHEIRO, Juarez Mota. Análise do Sistema Costeiro da Ilha do Maranhão. In: IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2002, São Luís. ***Geomorfologia: Interfaces, Aplicações e Perspectivas***, 2002. v. 1. p. 78-78.

PIRES, M. L. T; FURTADO. T, M. S; MACHADO. A, M, B; PARISE, C. K.
Anomalias de precipitação e desastres naturais: estudo de caso do evento extremo de 2009, no estado do Maranhão – Brasil. Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade, Ituiutaba: ***Barlavento***, 2019.

RODRIGUEZ, N., VITORINO, M., BERREDO, J., JARDIM, M., SOUSA, A & SILVA, P. (2019). Evaluation of Mangrove and its role in the Economy and Strategy to Climate change: case study of Cuiarana, Pará, in the Brazilian Amazon. ***Revista Árvore***, 43(5), 2019, 2.

SANDERMAN, J., HENGL, T., FISKE, G., SOLVIK, M., ADAME, M., BENSON, L., BUKOSKI, J., CARNELL, P., JARA-CIFUENTES, M., DONATO, D., DUCAN, C., EID, E., ERMGASSEN, P., LEWIS, C., MACREADIE, P., GLASS, L., GRESS,

S.,JARDINE, S.,JONES, T.,NSOMBO, E.,RAHMAN, M.,SANDERS, C.,SPALDING, M & LANDIS, E. (2018). A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution. **Environmental Research Letter**. 13, 2018.

SILVA, N., MAIA, R. (2018). Avaliação do tamanho e peso de propágulos das espécies pioneiras de mangue na formação de plântulas para recuperação de manguezal. **Gaia Scientia**, 2021, 119.

SOAVINSKI, R. & MARETTI, C. Atlas dos Manguezais do Brasil / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 2018. 176 p.: il.

SOUZA FILHO, P.W.M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, 23(4): 427-435.

SPALDING, M., KAINUMA, M., COLLINS, L. (2010). World Atlas of Mangrove. London, Washington D.C. **Earthscan**. 319.

VAN BOCHOVE, J., SULLIVAN, E., NAKAMURA, T. 2014. The Importance of Mangroves to People: A Call to Action. United Nations Environment Programme World Conservation. **Cambridge**, 128 pp.

6. ANEXO

A língua principal da Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto é o Português (BR), caso o pesquisador tenha desejo de publicar em outras línguas, é obrigatório que haja uma versão em português além das outras versões possa haver. As línguas disponíveis para submissão de trabalhos são a Inglesa e o Espanhol.

Respeitando a avaliação às cegas, as informações sobre autores serão incluídas na carta de apresentação e submetidas via documento suplementares no formato WORD. Você pode utilizar o modelo para preencher os dados, contudo, artigos com as informações de autores em seu momento de submissão serão recusados na íntegra.

Vale ressaltar que o autor deverá submeter a Carta de Concordância do Artigo em PDF via documentos suplementares com as assinaturas dos integrantes.

O trabalho deverá iniciar com o Título em português deste, com alinhamento a esquerda e fonte Times New Roman 15; não utilizar o título em caixa alta (maiúsculo).

Todos os Resumos deverão conter Resumo e Abstract. O máximo de palavras permitidas em ambos os resumos é 250. Serão permitidas para Palavras Chaves e os Keywords de no máximo 05 palavras chaves e mínimo 03. A fonte do resumo é a Times New Roman tamanho 9 vide exemplo acima.

Os Artigos obrigatoriamente deverão conter: Introdução, Material e Método, Resultado e Discussão, Conclusão, Agradecimentos e Referências. Destacamos aqui que os Resultados e Discussão podem estar separados no texto, caso seja conveniente para o pesquisador (Resultados, Discussão). As revisões bibliográficas e/ou de Literatura obrigatoriamente deverão conter: Introdução, Desenvolvimento, Conclusões ou Considerações Finais, Agradecimentos e Referências. Destacamos aqui que se pode incluir Material e Método entre a Introdução e o Desenvolvimento no manuscrito de revisão bibliográfica no trabalho, caso queira. A formatação requerida é a fonte Times New Roman 12, enumerado e negrito; caso haja subtítulos, estes ficarão em itálico e respeitarão a numeração secundária (exemplo 1. Introdução) (exemplo para subtítulo: 1.1 Exemplo). Não aceitamos notas de rodapé.

O trabalho deverá digitado em tamanho A4 (210 por 297 mm) formato de layout retrato; suas margens ajustadas em Superior (2 cm), Inferior (2 cm), Esquerda (2 cm) e Direita (2 cm), texto em uma coluna, espaçamento simples linhas e parágrafo de 1,00 centímetros. A Fonte Times New Roman 11 será usada em todo o texto. Para demais formatações específicas, nomenclaturas e nomes e fórmulas científicas, observe as últimas edições da revista. Não utilizamos na revista notas de rodapé. O número mínimo de páginas aceitos para a publicação (já na formatação oficial com imagens, gráficos, tabelas e fórmulas) será 10 (dez) páginas para a modalidade Artigos Completos, onde estão incluídas os gráficos, figuras e tabelas. Para modalidade Cotidiano e Sensoriamento Remoto, o número de páginas irão variar de 4 (quatro) a 8 (oito) páginas no máximo. Artigos abaixo de 4 páginas ou acima de 25 páginas serão recusados na íntegra.

7. AGRADECIMENTOS

À FAPEMA e a UFMA pelo apoio e financiamento ao projeto “Quantificação das perdas de estoques de carbono florestal devido ao desmatamento e fragmentação florestal para o estado do Maranhão” (Registro na UFMA: PVCBS1814-2019), que engloba a presente pesquisa. À Maria Luiza Torres, pelo apoio e participação no desenvolvimento dessa pesquisa.