

SERVIÇO DE REGULAÇÃO E MANUTENÇÃO DO CARBONO NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UM MANGUEZAL SEMIÁRIDO BRASILEIRO

REGULATION AND MAINTENANCE SERVICE OF CARBON IN ABOVEGROUND BIOMASS IN A BRAZILIAN SEMI-ARID MANGROVE

SERVICIO DE REGULACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CARBONO EN BIOMASA AÉREA EM UM MANGLAR SEMIÁRIDO BRASILEÑO

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo identificar o serviço ecossistêmico de regulação e manutenção do carbono na biomassa acima do solo em um manguezal no litoral semiárido do Brasil (Piranhas-Açu/RN). Quanto aos procedimentos metodológicos, foram seguidos três pontos essenciais: 1) Vetorização da vegetação de mangue; 2) Estimativa da Biomassa Acima do Solo (AGB) e do Estoque de Carbono (EC); e 3) Identificação e espacialização da relevância do serviço ecossistêmico de regulação do carbono. O serviço ecossistêmico de captura de carbono foi classificado de acordo com a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES). Em relação às estimativas de AGB, EC e CO₂, essas corresponderam aos valores de 31,8 Mg/ha⁻¹, 15,1 Mg/ha⁻¹ e 55,4 Mg/ha⁻¹, respectivamente, resultando no total de 42,8 Gg de C estocado na AGB do mangue local. Ao utilizar a matriz de relevância, foi possível espacializar este serviço e observar que 37% dos dosséis possuem baixa capacidade de prestação deste serviço, enquanto que entre as classes de capacidade relevante e capacidade muito alta, o percentual representou 63% do total, suscitando em uma contribuição positiva deste ambiente na captura de CO₂.

Palavras-chave: Costa Semiárida; Rio Grande do Norte; Bosque de Mangue; Capital Natural; Conservação.

ABSTRACT

This research aimed to identify the ecosystem service of regulation and maintenance of carbon in aboveground biomass in a Brazilian semi-arid mangrove (Piranhas-Açu/RN). Regarding the methodological procedures, three essential points were followed: 1) Vectorization of mangrove vegetation; 2) Estimation of Aboveground Biomass (AGB) and Carbon Stock (EC); and 3) Identification and spatialization of the relevance of the carbon regulation ecosystem service. The carbon capture ecosystem service was identified according to the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). Concerning the AGB, EC and CO₂ estimates, these corresponded to values of 31.8 Mg/ha⁻¹, 15.1 Mg/ha⁻¹ and 55.4 Mg/ha⁻¹, respectively, resulting in a total of 42.8 Gg of C stored in the local mangrove AGB. By using the relevance matrix, it was possible to spatialize this service and observe that 37% of the canopies have a low capacity to provide this service, while between the classes of relevant capacity and very high capacity, the percentage represented 63% of the total, raising a positive contribution of this environment in the capture of CO₂.

Keywords: Semi-Arid Coast; Rio Grande do Norte; Mangrove Forest; Natural Capital; Conservation.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo identificar el servicio ecossistêmico de regulación y mantenimiento del carbono en la biomasa aérea en un manglar semiárido brasileño (Piranhas-Açu/RN). En cuanto a los procedimientos metodológicos, se siguieron tres puntos esenciales: 1) Vectorización de la vegetación de manglar; 2) Estimación de Biomasa Aérea (AGB) y Stock de Carbono (EC); y 3) Identificación y espacialización de la relevancia del servicio ecossistêmico

 Yuri Gomes de Souza ^a
 Ana Caroline Damasceno Souza ^b
 Denise Santos Saldanha ^a
 Diógenes Félix da Silva Costa ^a

^a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

^b Universidade Estadual do Ceará (UECE) Fortaleza, Ceará, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2023.74562

Correspondência: yurigomes.s28@gmail.com; carolsouza.geo@gmail.com; denisesaldanha.lama@gmail.com; diogenesgeo@gmail.com

Recebido em: 30 mar. 2023

Revisado em: 25 mai. 2023

Aceito em: 06 jun. 2023



de regulación del carbono. El servicio ecosistémico de captura de carbono se identificó de acuerdo con la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES). En cuanto a las estimaciones de AGB, CE y CO₂, estas correspondieron a valores de 31,8 Mg/ha⁻¹, 15,1 Mg/ha⁻¹ y 55,4 Mg/ha⁻¹, respectivamente, resultando en un total de 42,8 Gg de C almacenado en el AGB del manglar local. Mediante el uso de la matriz de relevancia, fue posible espacializar este servicio y observar que el 37% de las marquesinas tienen una capacidad baja para brindar este servicio, mientras que entre las clases de capacidad relevante y muy alta capacidad, el porcentaje representó el 63% del total, planteando una contribución positiva de este entorno en la captura de CO₂.

Palabras-clave: Costa Semiárida; Rio Grande do Norte; Bosque de mangle; Capital Natural; Conservación.



INTRODUÇÃO

Os Serviços Ecossistêmicos (SE) são definidos como as características, funções ou processos ecológicos que contribuem para o bem-estar humano de maneira sustentável (COSTANZA, 2020). Dentre os serviços organizados em classificações, tem-se a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES, 2013; 2018), que reúne em sua estrutura três principais seções, a saber: Provisão (ex: madeira, pesca), Regulação/Manutenção (ex: captura de carbono, controle de erosão) e Cultural (ex: turismo, vínculo religioso) (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

Em se tratando do serviço ecossistêmico de regulação e manutenção do carbono, os manguezais, ambientes entre marés de regiões tropicais e subtropicais, são considerados um dos principais ecossistemas responsáveis pelo ciclo biogeoquímico costeiro, como o ciclo do carbono (ZHU; YAN, 2022), podendo estocar, por exemplo, quase 10 vezes o carbono encontrado em florestas secas (KAUFFMAN *et al.*, 2018a).

Estimativas recentes apontam que 11,7 Pg de carbono orgânico esteja depositado nesse ecossistema, sendo 1,6 Pg na biomassa acima do solo e 10,1 Pg nos sedimentos (KAUFFMAN *et al.*, 2020). Países como a Indonésia (30%), Brasil (9%), Malásia (6%) e Papua Nova Guiné (5%) representam 50% do repositório total de carbono capturado por estes sistemas na superfície terrestre (HAMILTON; FRIESS, 2018). Desse modo, segundo Rovai *et al.* (2022), os manguezais brasileiros são verdadeiros *hotspots* de carbono azul, estocando 249,58 Tg e representando 8,5% do armazenamento em escala global.

Por se tratar de ecossistemas chaves da agenda política internacional de conservação (SPALDING; LEAL, 2021), e considerando os desafios seculares de neutralidade de emissões de CO₂ e das mudanças do clima (IPCC, 2018), a contribuição com a identificação deste serviço ecossistêmico regulador nesses ambientes demonstra ser uma medida inadiável. Portanto, a elaboração deste trabalho se apresenta como uma demanda regional de avaliação e criação de bancos de dados de carbono em áreas costeiras do território brasileiro (ROVAI *et al.*, 2022), principalmente quando se pensa em suas regiões semiáridas, onde os aspectos edafoclimáticos são peculiares e as conversões de uso da terra são históricas (COSTA *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2021).

Diante disso, pesquisas recentes discutem que as ferramentas de Geotecnologias, tais como os recursos computacionais, as imagens orbitais e os índices espectrais de vegetação, têm permitido a otimização na quantificação e estimativa tanto de biomassa acima do solo quanto da estocagem de carbono em florestas tropicais, como é o caso do mangue (HASTUTI *et al.*, 2017; BINDU *et al.*, 2018; SIMARD *et al.*, 2019).

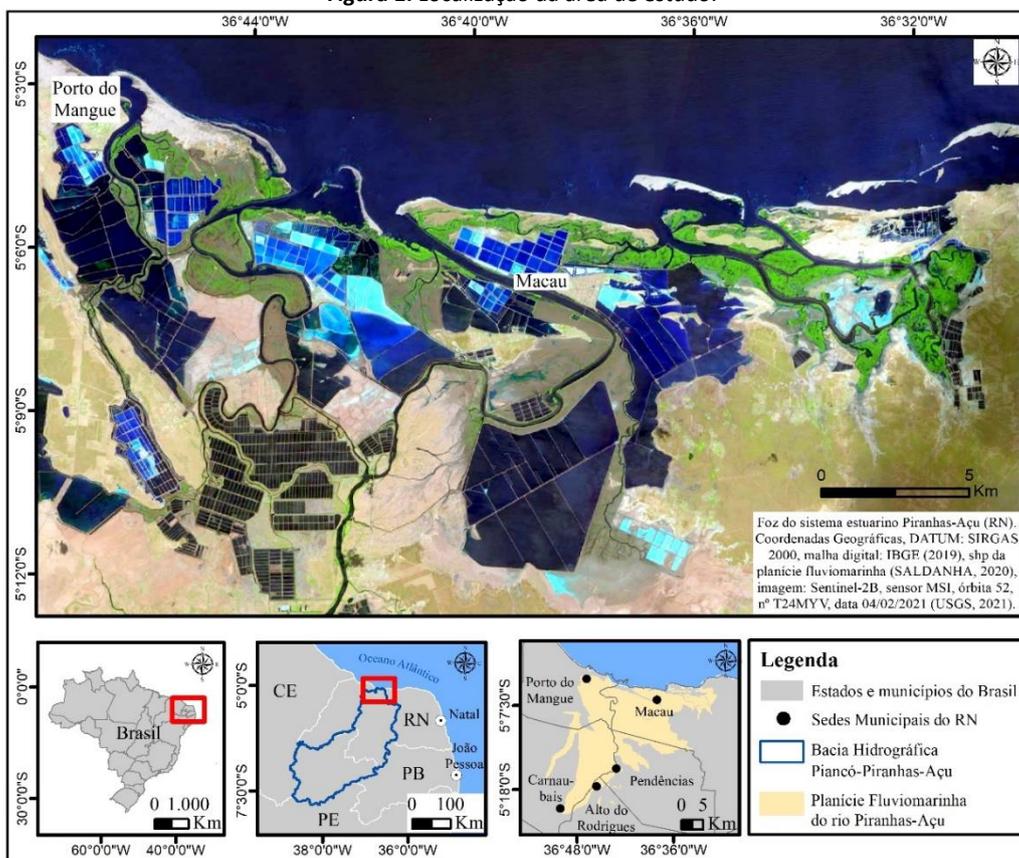
Assim, questiona-se: qual a presença de carbono acima do solo no mangue do sistema estuarino do Rio Piranhas-Açu? Qual a distribuição e relevância deste serviço ao longo dos fragmentos? Nesse âmbito, o objetivo da pesquisa foi identificar o serviço ecossistêmico de regulação e manutenção do carbono na biomassa acima do solo em um manguezal no litoral semiárido do Brasil (Piranhas-Açu/RN).

METODOLOGIA

Área de estudo

O sistema estuarino do Rio Piranhas-Açu está localizado em uma extensa planície fluviomarinha no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte (Brasil), majoritariamente entre os municípios de Porto do Mangue e Macau (Figura 1). Encontra-se influenciado pelo domínio Semiárido e pela hipersalinidade, com precipitação média de 518,4/ano, evaporação média de 1.543 mm/ano, temperatura média de 27,9 °C/ano e insolação anual de 2.583,4 horas (COSTA *et al.*, 2014; INMET, 2018), assim como apresentando regimes de marés que variam entre 0,0 e 2,8 m (BRASIL, 2022).

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2022).

Vetorização da vegetação de mangue

Optou-se pelo uso de duas imagens CBERS 4A (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM), com resolução espacial de 2,0 m e data de 07/09/2020 e 09/01/2021, sendo adquiridas no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>). Para estas cenas, foram realizados procedimentos de renderização de brilho e contraste, assim como refinamentos no histograma, objetivando aperfeiçoar sua interpretação durante a aplicação do método de vetorização (PANIZZA; FONSECA, 2011).



Estimativa da Biomassa Acima do Solo (AGB) e carbono

Após a delimitação dos fragmentos de mangue, e buscando realizar as estimativas de AGB e carbono, foi adquirida uma cena do Sentinel-2A (*MultiSpectral Instrument Sensor – MSI*) em ambiente do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (<https://glovis.usgs.gov/app>), a qual possui uma resolução espacial de 10 m e data de imageamento de 25/05/2021.

O processamento consistiu no cálculo de Reflectância na Base da Atmosfera (*Bottom of Atmosphere Reflectance – BOA*) para as bandas B2 (*Blue*), B3 (*Green*), B4 (*Red*) e B8 (*NIR*), as quais foram utilizadas para a composição colorida da área de estudo e para subsidiar as equações espectrais subsequentes. Essa etapa se deu por meio da função algorítmica “*Preprocessing*” inserida ao *Semi-Automatic Classification Plugin – SCP* do Qgis 3.22 (CONGEDO, 2016; REZENDE et al., 2017; QGIS - Development Team, 2022).

Após, foi realizado o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) mediante o recorte dos polígonos de mangue. O NDVI (equação 1), corresponde à relação entre as reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e do vermelho (ROUSE et al., 1973). Este índice atesta a saúde e presença de clorofila nas plantas, demonstrando o vigor e a densidade de cobertura, o qual possui uma variação numérica entre -1 e 1 (TRAN; FISCHER, 2017; SUWANTO et al., 2021).

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})} \quad (\text{Equação 1})$$

Em se tratando da Biomassa Acima do Solo (*Aboveground Biomass – AGB*, sigla em inglês) ($Mg. ha^{-1}$), essa foi estimada a partir da equação 2, baseando-se na regressão entre os valores de NDVI e AGB coletado em campo ($R^2 = 0,787$), com vistas à mensuração remota do carbono acima do solo, a partir de dados orbitais (JHA et al., 2015; HASTUTI et al., 2017).

$$AGB = 305.9 * NDVI^{4.864} \quad (\text{Equação 2})$$

Considerando que a concentração de carbono na madeira da planta representa menos de 50% (KAUFFMAN; DONATO, 2012), e com os dados obtidos a partir do resultado de AGB, foi calculado e estimado o Estoque de Carbono (EC) associado, mediante o produto entre EC e 0,475 (equação 3) – sendo este último o fator percentual correspondente ao estoque de carbono na biomassa acima do solo (HASTUTI et al., 2017; BINDU et al., 2018).

$$EC = AGB * 0,475 \quad (\text{Equação 3})$$



Em seguida, foi possível transformar o Carbono em Dióxido de Carbono (CO₂), a partir da multiplicação entre o valor de EC e o fator de 3,67, que, segundo Kauffman e Donato (2012), consiste no resultado da divisão entre os pesos moleculares do dióxido de carbono e do carbono.

Identificação e espacialização da relevância do serviço ecossistêmico de regulação do carbono

A classificação do serviço seguiu como base a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos – CICES v. 5.1 (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018). A espacialização do SE, por sua vez, se deu por meio da matriz de relevância de prestação de serviço e seu gradiente de cores correspondente, segundo Burkhard *et al.* (2009) e Burkhard e Maes (2017), a saber: baixa capacidade (1); capacidade relevante (2); média capacidade (3); alta capacidade (4); e capacidade muito alta (5).

Assim, para a obtenção do resultado, foi realizado uma reclassificação com os valores referentes ao Estoque de Carbono (EC) seguindo a hierarquia de cada relevância (Tabela 1). Os cálculos, quantificação e composição dos mapas, conforme supracitados, se deram a partir de funções algorítmicas acopladas ao *software* Qgis 3.22 (QGIS - Development Team, 2022).

Tabela 1. Níveis de relevância de prestação de serviços ecossistêmicos.

Capacidade de relevância	EC/Pixel
Baixa capacidade (1)	0 – 9
Capacidade relevante (2)	10 – 21
Média capacidade (3)	22 – 35
Alta capacidade (4)	36 – 51
Capacidade muito alta (5)	52 – 79

Fonte: Adaptado de Burkhard e Maes (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela da CICES (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018) permitiu a identificação do serviço ecossistêmico de regulação e manutenção, o qual foi analisado na divisão “regulação de condições físicas, químicas e biológicas”, no grupo “composição e condições atmosféricas”, na classe “regulação da composição química da atmosfera e dos oceanos”, e na subseção do serviço de captura de carbono (Quadro 1).

Quadro 1. Identificação do serviço ecossistêmico de captura de carbono.

Seção	Divisão	Grupo	Classe	Serviço
Regulação e manutenção	Regulação de condições físicas, químicas e biológicas	Composição e condições atmosféricas	Regulação da composição química da atmosfera e dos oceanos	Captura de carbono

Fonte: Adaptado de Haines-Young e Potschin (2018).

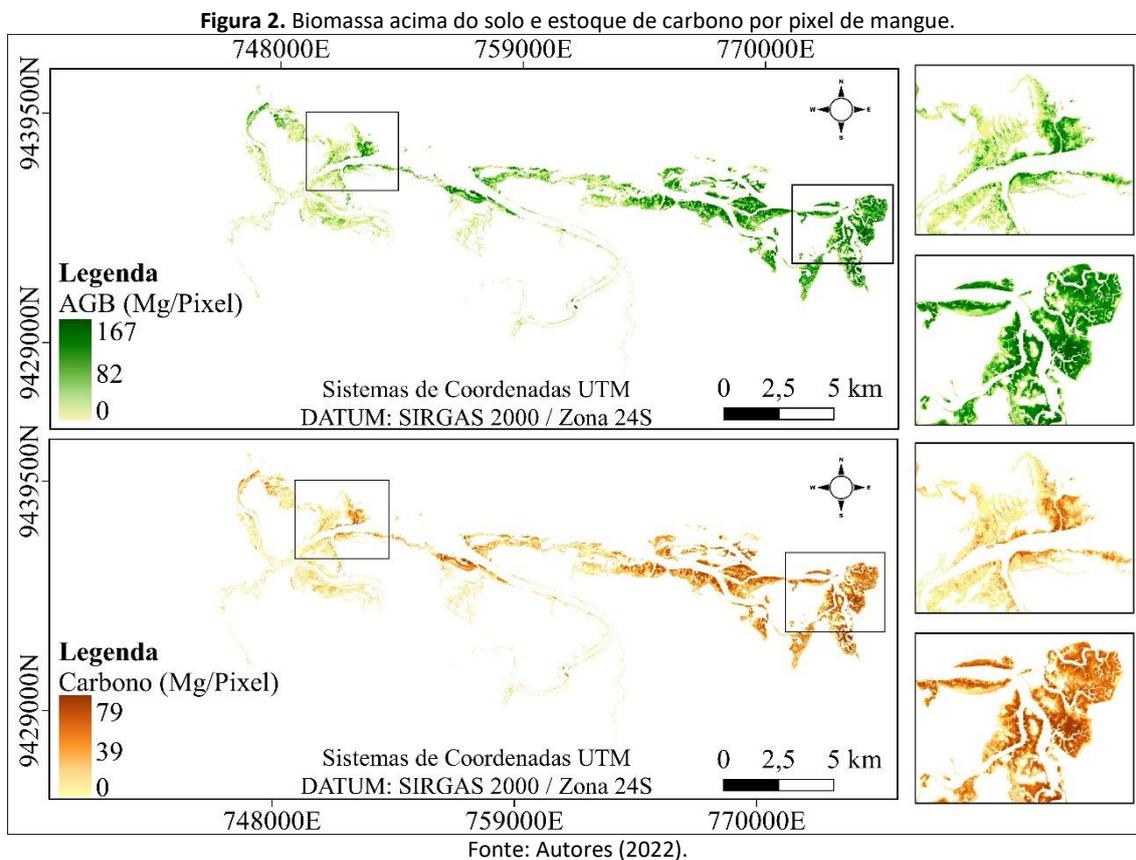
Após a classificação deste serviço e o mapeamento da vegetação de mangue, que identificou uma área ocupada de 2.838,3 ha, foi realizado o cálculo das equações espectrais que para o NDVI esteve entre 0,07 e 0,88, com uma média de 0,60.

Quanto aos valores de biomassa acima do solo, esses variaram entre 0 e 167 Mg/Pixel, com média de 43 Mg/Pixel, de maneira que, considerando a área do mangue, notou-se que a biomassa representou 31,8 Mg/ha⁻¹ e um total de 90,2 Gg. Em relação aos dados de estoque de carbono, houve uma variação entre 0 e 79 Mg/Pixel, com média de 20 Mg/Pixel; sendo o seu valor correspondente a 15,1 Mg/ha⁻¹ e 42,8 Gg na ocupação total. Em termos dos valores equivalentes ao estoque de carbono, esses foram transformados em CO₂ absorvido, o qual representou 55,4 Mg/ha⁻¹ e um total de 157,2 Gg para a área de estudo (Tabela 2; Figura 2).

Tabela 2. Estimativa de Biomassa Acima do Solo (AGB), Estoque de Carbono (EC) e Dióxido de Carbono (CO₂).

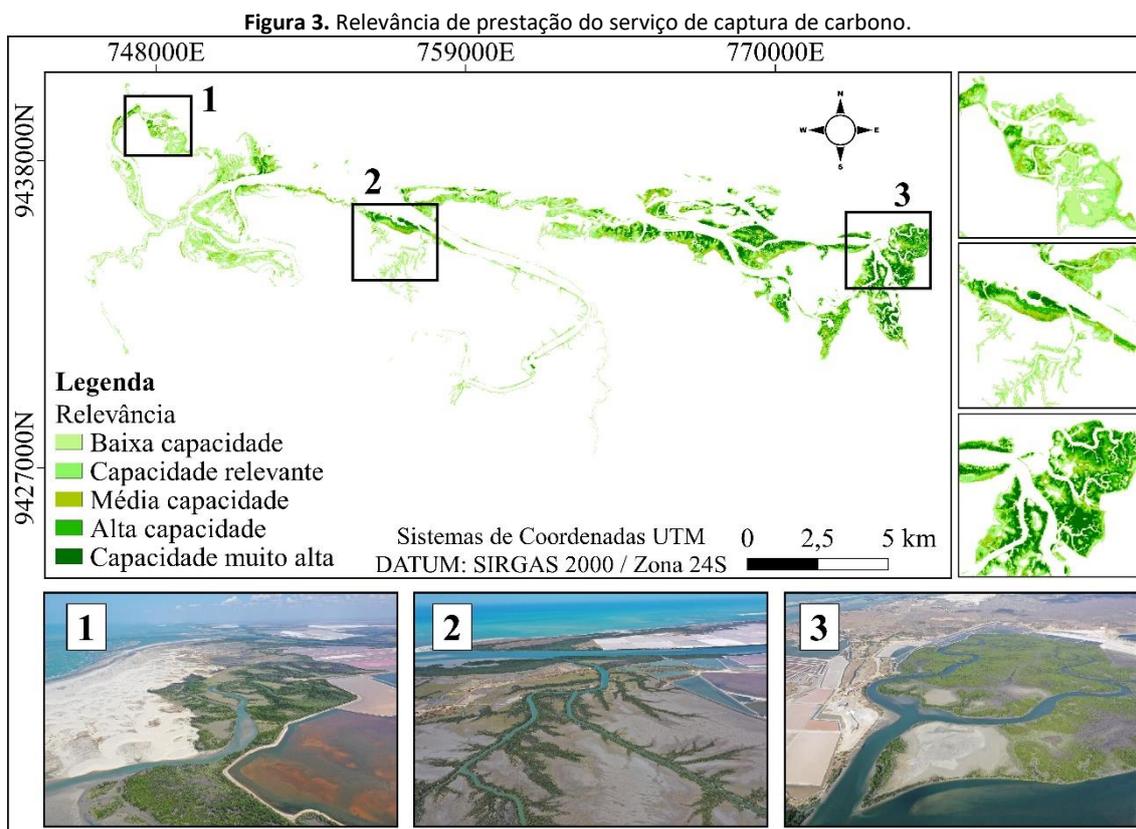
	Total (Mg/ha ⁻¹)	Total (Gg)
AGB	31,8	90,2
EC	15,1	42,8
CO ₂	55,4	157,2

Fonte: Autores (2022).



Os dados de Estoque de Carbono (EC) foram analisados na matriz de relevância, de modo a entender a distribuição geográfica deste serviço na paisagem. Com isso, observou-se que os valores compuseram desde baixa capacidade (37%), entre 0 e 9 Mg/Pixel, capacidade relevante (21%), entre 10 e 21 Mg/Pixel, média capacidade (18%), entre 22 e 35 Mg/Pixel, alta capacidade (13%), entre 36 e 51 Mg/Pixel, até capacidade muito alta (11%), entre 52 e 79 Mg/Pixel. Apesar do intervalo de baixa capacidade ter indicado um percentual de 37%, os valores entre capacidade relevante e capacidade muito alta representaram, em sua totalidade, 63% da área de estudo, indicando uma predominância positiva de contribuição do mangue local na prestação deste serviço (Figura 3).

Verificou-se uma maior relevância nos setores de maior concentração de biomassa acima do solo, os quais estiveram nas porções central e leste do sistema de manguezal. Por outro lado, os setores de menor relevância de estoque de carbono foram os correspondentes aos menores valores de AGB.



Fonte: Autores (2022).

Ao analisar os resultados dessa pesquisa e compará-los com outros trabalhos, notou-se que este tipo de serviço possui valores similares e diferentes ao longo da superfície terrestre, dependendo do contexto ambiental e da extensão de cada manguezal. Simard *et al.* (2019), ao avaliarem e mapearem esses ecossistemas em escala global, lembram que as condições geofísicas, de temperatura e precipitação,



influenciam de maneira efetiva a produção interna do mangue, com repercussões importantes na estrutura dos dosséis e na estocagem de carbono.

Dados encontrados por Candra *et al.* (2016), atestaram 35,3 Gg de carbono na biomassa acima do solo, em um manguezal da província de Bali, na Indonésia. Em um manguezal localizado na região semiárida do noroeste da Austrália, Hickey *et al.* (2018) perceberam um total de AGB de 2.417 Mg, sob uma média de 70 Mg/ha⁻¹. No Brasil, Rovai *et al.* (2022), para o estado do Rio Grande do Norte, indicaram que a biomassa acima do solo média foi de 102 Mg/ha⁻¹ e o carbono em AGB foi correspondente a 0,27 Tg. Já Kauffman *et al.* (2018b), em oito manguezais semiáridos do estado do Ceará, observaram que o carbono médio acima do solo foi de 70 Mg/ha⁻¹. No Sudeste do País, no manguezal de Cananéia-Iguape, Rovai *et al.* (2021) quantificaram o carbono em AGB em torno de 53 Mg/ha⁻¹.

Como mencionado anteriormente, muitos cientistas, além de enaltecer esses ambientes como sumidouros de carbono orgânico (carbono azul), têm contribuído com inúmeros estudos acerca da mensuração deste componente geoquímico – tanto em escalas locais, regionais, como globais, a partir de aferições por sensoriamento remoto e por estudos de fitossociologia.

Assim, entende-se que quantificar essas estruturas permite maximizar a relevância do manguezal – sobretudo em relação à sua vegetação de mangue, enquanto provedora de serviços, visto que, o indicativo médio de seu desaparecimento entre 0,13 a 2,00% ao ano e a consequente redução na oferta de serviços ecossistêmicos pelos próximos cem anos (DUKE *et al.*, 2007; GOLDBERG, 2020), têm suscitado em preocupações inadiáveis para sua gestão, conservação e restauração – diante da complexidade de mudanças e estressores de ordem humana e climática que ocorrem a nível global (FRIESS *et al.*, 2022).

Nesse contexto, estudos recentes já demonstram, de maneira numérica, esse alerta, onde Ouyang e Lee (2020) descrevem que a subtração desse ecossistema resultou em níveis de lançamento de carbono atmosférico de até 38 Tg por ano, após o início dos anos 2000. Outrossim, segundo Adame *et al.* (2021), essa diminuição do manguezal pode desencadear uma liberação total de 2.391 Tg de dióxido de carbono na atmosfera até o ano de 2100.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de imagens orbitais e equações espectrais viabilizaram as estimativas de AGB, EC e CO₂ retido nos bosques do manguezal do Rio Piranhas-Açu, indicando que o total de carbono acima do solo foi de 42,8 Gg. Quanto à espacialização da prestação deste serviço, embora 37% da área tenha apontado baixa capacidade, as classes entre capacidade relevante e capacidade muito alta mostraram um percentual acima de 60% do total, indicando uma contribuição valiosa do manguezal para a área de estudo, no que tange a captura de carbono.



É necessário destacar, portanto, que os resultados encontrados representam uma estimativa, suscitando que ainda são indispensáveis novas investigações de campo a partir de parâmetros fitossociológicos e geoquímicos de solos, a fim de aprofundar e refinar os números totais de estoque deste elemento. Apesar disso, entende-se que esse trabalho representou um aporte fundamental para se somar às quantificações de CO₂ em manguezais brasileiros, especialmente nestas regiões semiáridas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, a partir da concessão de bolsa de Pesquisa/Doutorado para o primeiro, segundo e terceiro autor. Os autores agradecem ao Grupo de Pesquisa em Biogeografia de Ecossistemas Tropicais (TRÓPIKOS/UFRN), pelo apoio durante as etapas de campo e gabinete desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADAME, Maria Fernanda; CONNOLLY, Rod; TURSCHWELL, Mischa; LOVELOCK, Catherine; FATOYINBO, Temilola; LAGOMASINO, David; GOLDBERG, Liza; HOLDORF, Jordan; FRIESS, Daniel; SASMITO, Sigit. Future carbon emissions from global mangrove forest loss. *Global Change Biology*, v. 27, n. 12, p. 2856-2866, 17 mar. 2021.
- BINDU, Gokulapalan; RAJAN, Poornima; JISHNU, Sachithanandan; JOSEPH, K. Ajith. Carbon stock assessment of mangroves using remote sensing and geographic information system. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, v. 23, n. 1, p. 1-9, abr. 2020.
- BRASIL – Marinha do Brasil. Centro de Hidrografia da Marinha. **Tábuas de marés**. 2022. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- BURKHARD, Benjamin; KROLL, Franziska; MÜLLER, Felix; WINDHORST, Wilhelm. Landscapes capacities to provide ecosystem services - a concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*, v. 15, p. 1-22, 1 dez. 2009.
- BURKHARD, Benjamin; MAES, Joachim. **Mapping Ecosystem Services**. Sofia: Pensoft Publishers, 2017.
- CANDRA, Erika Dwi; HARJO, Hartono; WICAKSONO, Pramaditya. Above ground carbon stock estimates of mangrove forest using Worldview- 2 imagery in Teluk Bena, Bali. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 47, p. 1 – 11, nov. 2016.
- CONGEDO, Luca. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Versão 5.1.0.1**. Tutorial 2016. Disponível em: https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/_/downloads/ar/latest/pdf/. Acesso em: 01 jul. 2020.
- COSTA, Diógenes Félix da Silva; GUEDES, Dayane Raquel da Cruz; DE MEDEIROS ROCHA, Renato; BARBOSA, José Etham de Lucena; SOARES, Amadeu; LILLEBØ, Ana Isabel. Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no litoral semiárido do Brasil. *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 31, n. 3, p. 28-42, mar. 2014.
- COSTANZA, Robert. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability. *Ecosystem Services*, v. 43, n. 101096, p.1-7, jun. 2020.
- DUKE, Norman; MEYNECKE, Jan-Olaf; DITTMANN, Sabine; ELLISON, A.; ANGER, Klaus; BERGER, Uta; CANNICCI, Stefano; DIELE, K.; EWEL, Katherine; FIELD, Colin; DOEDAM, Nico; LEE, Shing; Marchand, Cyril; NORDHAUS, Inga; DAHDUOH-GUEBAS, Farid. A World Without Mangroves? *Science*, v. 317, n. 5834, p. 41-42, 6 jul. 2007.
- FRIESS, Daniel A.; ADAME, Maria Fernanda; ADAMS, Janine B.; LOVELOCK, Catherine E. Mangrove forests under climate change in a 2°C world. *Wires Climate Change*, v. 13, n. 4, p. 1-15, 7 jun. 2022.
- GOLDBERG, Liza; LAGOMASINO, David; THOMAS, Nathan; FATOYINBO, Temilola. Global declines in human -driven mangrove loss. *Global Change Biology*, v. 26, n. 10, p. 5844-5855, 3 ago. 2020.



HAMILTON, Stuart; FRIESS, Daniel. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 3, p. 240–244, 26 fev. 2018.

HAINES-YOUNG, Roy; POTSCHEIN, Marion. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)**. Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham, UK: Fabis Consulting Ltd./European Environment Agency, v. 5, n. 1, p. 1- 10, jan. 2018.

HASTUTI, Amandangi Wahyuning; SUNIADA, Komang Iwan; ISLAM, Fikrul. Carbon stock estimation of mangrove vegetation using remote sensing in Perancak estuary, Jembrana District, Bali. **International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences**, v. 14, n. 2, p. 137 – 150, dez. 2017.

HICKEY, Sharyn; CALLOW, Nikolaus; PHINN, Stuart; LOVELOCK, Catherine; DUARTE, Catherine. Spatial complexities in aboveground carbon stocks of a semi-arid mangrove community: a remote sensing height-biomass-carbon approach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 200, p. 194-201, jan. 2018.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. **Normas Climatológicas do Brasil (1981- 2010)**. Brasília. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 10 de ago. 2022.

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, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.). Genebra, Suíça: Working Group / Technical Support Unit, 2018.

JHA, Chandra Shekhar; FARARODA, Rakesh; GOPALAKRISHNA, Rajashekar; SINGH, Sarnam; DADHWAL, Vinay Kumar. Spatial Distribution of Biomass in Indian Forests Using Spectral Modelling. In: GILANI, M. S. R. Murthy; S. Wesselman; H. **Geospatial Information Systems for Multi-Scale Forest Biomass Assessment and Monitoring in the Hindu Kush Himalayan region**. Nepal: International Centre For Integrated Mountain Development, 2015. p. 139-156.

KAUFFMAN, Boone; BERNARDINO, Angelo; FERREIRA, Tiago; GIOVANNONI, Leila; GOMES, Luiz Eduardo de O.; ROMERO, Danilo Jefferson; JIMENEZ, Laís Coutinho Zayas; RUIZ, Francisco. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. **Biology Letters**, v. 14, n. 9, p. 1 - 4, set. 2018a.

KAUFFMAN, Boone; BERNARDINO, Angelo; FERREIRA, Tiago; BOLTON, Nicholas; GOMES, Luiz Eduardo de O.; NOBREGA, Gabriel Nuto. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 5530-5540, 4 maio 2018b.

KAUFFMAN, Boone; ADAME, Maria Fernanda; ARIFANTI, Virni Budi; SCHILE- BEERS, Lisa; BERNARDINO, Angelo; BHOMIA, Rupesh; DONATO, Daniel; FELLER, Ilka; FERREIRA, Tiago; GARCIA, Maria del Carmen; MACKENZIE, Richard; MEGONIGAL, Patrick; MURDIYARSO, Daniel; SIMPSON, Lorae; TREJO, Humberto Hernández. Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. **Ecological Monographs**, v. 90, n. 2, p. 1-18, jan. 2020.

KAUFFMAN, Boone; DONATO, Daniel. **Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests**. Working Paper 86: CIFOR, Bogor, Indonesia, 2012. 50 p.

OUYANG, Xiaoguang; LEE, Shing Yip. Improved estimates on global carbon stock and carbon pools in tidal wetlands. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 1-7, jan. 2020.

PANIZZA, Andrea de Castro; FONSECA, Fernanda Padovesi. Técnicas de Interpretação Visual de Imagens. **Revista da GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 30, p. 30-43, abr. 2011.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; ROSA, Roberto. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da refletância aparente e de superfície. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 28-31, 05, 2017, Anais... Santos/SP: INPE, p. 1- 8, 2017.

ROVAI, Andre; COELHO-JÚNIOR, Clemente; ALMEIDA, Renato de; CUNHA-LIGNON, Marília; MENGHINI, Ricardo; TWILLEY, Robert; CINTRÓN-MOLERO, Gilberto; SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 479, 118553, p. 1- 13, jan. 2021.



ROVAL, Andre; TWILLEY, Robert; WORTHINGTON, Thomas A.; RIUL, Pablo. Brazilian Mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 1-11, 3 jan. 2022.

SIMARD, Marc; FATOYINBO, Lola; SMETANKA, Charlotte; RIVERA-MONROY, Victor H.; CASTAÑEDA-MOYA, Edward; THOMAS, Nathan; STOCKEN, Tom van Der. Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. **Nature Geoscience**, v. 12, n. 1, p. 40-45, 20 dez. 2019.

SOARES, Marcelo de Oliveira; CAMPOS, Carolina Coelho; CARNEIRO, Pedro Bastos de Macedo; BARROSO, Hortência de Sousa; MARINS, Rozane V. et al. Challenges and perspectives for the Brazilian semiarid coast under global environmental changes. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 1-12, set. 2021.

SPALDING, Mark D.; LEAL, Maricé (ed.). **The State of the World's Mangroves**. Global Mangrove Alliance, 2021, 41 p.

SUWANTO, Agung; TAKARINA, Noverita Dian; KOESTOER, Raldi; FRIMAWATY, Evi. Diversity, biomass, covers, and NDVI of restored mangrove forests in Karawang and Subang Coasts, West Java, Indonesia. **Biodiversitas**, v. 22, n. 9, p. 1-8, 9 set. 2021.

TRAN, Loi; FISCHER, Andrew. Spatio-temporal changes and fragmentation of mangroves and their effects on fish diversity in the province of Ca Mau (Vietnam). **Coastal Conservation Journal**, v. 21 n. 3, p. 355-368, maio 2017.

QGIS, Development Team. 2022. **QGIS** Geographic Information System, version 3.22.9. QGIS Association. Disponível em: <http://www.qgis.org/>. Acesso em: 02 de ago. 2022.

ZHU, Jing-Jing; YAN, Bing. Blue carbon sink function and carbon neutrality potential of mangroves. **Science of the Total Environment**, v. 822, p. 1 - 4, maio 2022.