



EstuDAV
Revista Estudios Avanzados

Estudios Avanzados
N° 40, 2024: 149-182
ISSN 0718-5014

Artículo
DOI <https://doi.org/10.35588/drc5zx11>



Carbono azul: Manguezais, um potencial sumidouro de carbono para a América Latina e Caribe

Blue Carbon: Mangroves, a Potential Carbon Sink for Latin America and the Caribbean

Carbono azul: Mangles, un potencial sumidero de carbono para América Latina y el Caribe

**Maria Tereza Uille Gomes,
Phamella Lorenzen e Clarissa Bueno Wandscheer**

Maria Tereza Uille Gomes
Universidade Positivo
Curitiba, Brasil

<http://orcid.org/0000-0001-9358-9341>
uille@me.com

Phamella Lorenzen
Universidade Positivo
Curitiba, Brasil

ORCID <http://orcid.org/0009-0009-8961-2903>
lorenzen.phamella@hotmail.com

Clarissa Bueno Wandscheer
Universidade Positivo
Curitiba, Brasil

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8593-5838>
clarissa.wandscheer@up.edu.br

Recibido

7 de febrero de 2024

Aceptado

1 de julio de 2024

Publicado

15 de agosto de 2024

Cómo citar

Uille, MT., Lorenzen, P. y Bueno Wandscheer, C. (2024). Carbono azul: Manguezais, um potencial sumidouro de carbono para a América Latina e Caribe. *Estudios Avanzados*, 40, 149-182, <https://doi.org/10.35588/drc5zx11>



Resumo

Analisamos o potencial dos manguezais como sumidouro de carbono para a América Latina e Caribe a partir de estudo de caso de cidade costeira brasileira. Tem como pressuposto o aumento de eventos climáticos extremos, as catástrofes associadas a ele e a necessidade de alternativas financeiras para a implementação de ações para a mitigação climática e desenvolvimento sustentável. Metodologicamente a pesquisa se caracteriza quanto à natureza aplicada, por analisar o potencial dos manguezais como sumidouros de carbono na América Latina e Caribe, e em quanto aos objetivos é descritiva e exploratória. No seu procedimento, caracteriza-se por ser bibliográfica, documental, considerando o estudo de caso do complexo estuarino de Paranaguá, Brasil e interdisciplinar, por unir interpretações de características desses ecossistemas (manguezais) a esforços de análises regulatórias e seus impactos, utilizando-se de geotecnologias para favorecer uma visão integrada dos espaços e perspectivas de gestão ambiental destes ecossistemas.

Palavras-chave: carbono azul, ecossistemas manguezais, crédito de carbono, desenvolvimento sustentável.

Abstract

The present work aims to analyze the potential of mangroves as a carbon sink for South America based on a case study of a Brazilian coastal city. It assumes the increase in extreme climate events and the catastrophes associated with them and the need for financial alternatives to implement actions for climate mitigation and sustainable development. Methodologically, the research is characterized in terms of its applied nature, by analyzing the potential of mangroves as carbon sinks in South America; regarding the objectives, it is descriptive and exploratory; as for the procedures, it is characterized by being bibliographic, documentary, a case study of the estuarine complex of Paranaguá, Brazil and interdisciplinary by combining interpretations of the characteristics of these ecosystems (mangroves), with regulatory analysis efforts and their impacts, using geotechnologies to favor an integrated vision of these spaces and environmental management perspectives of these ecosystems.

Keywords: blue carbon, mangrove ecosystems, carbon credit, sustainable development.

Resumen

Analizamos el potencial de los manglares como fuentes de carbono para América Latina y el Caribe a partir de un estudio de caso una ciudad costera brasileña, al presuponer el aumento de eventos climáticos extremos, las catástrofes asociadas a ellos y la necesidad de alternativas financieras para implementar acciones de mitigación climática y desarrollo sostenible. Metodológicamente, la investigación se caracteriza por ser de carácter aplicado, analizando el potencial de los manglares como sumideros de carbono en América Latina y el Caribe, y sus objetivos son descriptivos y exploratorios. Su procedimiento es bibliográfico y documental, tomando como caso de estudio el complejo estuarino de Paranaguá, Brasil e interdisciplinario, al combinar interpretaciones de las características de los ecosistemas (manglares), con esfuerzos de análisis regulatorio y sus impactos, utilizando geotecnologías para favorecer una visión integrada de estos espacios y perspectivas de gestión ambiental de estos ecosistemas.

Palabras clave: carbono azul, ecosistemas de manglares, crédito de carbono, desarrollo sustentable.

Introdução

O presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial dos manguezais como sumidouro de carbono na América Latina e Caribe a partir de estudo de caso de cidade costeira brasileira. E tem como pressuposto o aumento de eventos climáticos extremos e as catástrofes associadas a ele, de um lado, e a necessidade de alternativas financeiras para a implementação de ações para a mitigação climática e desenvolvimento sustentável, de outro.

Vê-se um aumento do número de desastres ambientais climáticos com impactos nas vidas humanas, no meio ambiente e na econômica. Dessa forma, cuidar do clima é cuidar ao mesmo tempo do desenvolvimento sustentável. Ações urgentes no combate às mudanças climáticas implicam em medidas para a captura e sumidouros de carbono ou carbono equivalente da atmosfera. As principais fontes de emissão de carbono são os combustíveis fósseis (*black carbon*), o carvão (*brown carbon*), a partir da destruição de ecossistemas naturais e florestas (*green carbon*) e a degradação de ecossistemas marinhos e costeiros (*blue carbon*).

Contudo, obstáculos para a implementação de ações de combate às mudanças climáticas e o sequestro de carbono estão (i) no financiamento para os projetos e (ii) nos compromissos nacionalmente assumidos pelos países para a captura de carbono. Além das fontes

convencionais de recursos: mercado financeiro, orçamento público e iniciativa privada optou-se nesse trabalho explorar oportunidades no mercado voluntário e regulado de crédito de carbono a partir do estudo de caso de uma cidade litorânea brasileira.

Dessa forma, o contexto está alinhando com a pergunta de pesquisa desse trabalho, qual seja os manguezais são um potencial sumidouro de carbono na América Latina e Caribe?

Metodologicamente a pesquisa se caracteriza quanto à natureza aplicada, considerando que se pretende analisar o potencial dos manguezais como sumidouros de carbono na América Latina e Caribe e dessa forma, trazer conhecimento para a solução de um problema emergente e urgente (Gerhardt e Silveira, 2009: 35). Referente aos seus objetivos, a pesquisa é descritiva e exploratória, porque pretende descrever os fatos ou «as características de uma população, ou identificar relações entre variáveis» (Markoni e Lakatos, 2022: 297), ou seja, descrever os ecossistemas manguezais, o que se entende por carbono azul e mercado de carbono e exploratória porque a possibilidade de inclusão de créditos azuis decorrentes dos manguezais via mercado de créditos de carbono ainda é incipiente (Gerhardt e Silveira, 2009). Por fim, quanto aos procedimentos, a pesquisa caracteriza-se por ser

bibliográfica como a obra Saúde dos manguezais de Paranaguá, documental por utilizar relatórios internacionais da World Meteorological Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change e do Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica mapeamento dos sistemas costeiros (Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), assim como dados informados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) e, por fim, estudo de caso do complexo estuarino de Paranaguá, Brasil.

Para a organização das informações e a construção da figura referente a distribuição das áreas de manguezais, se utilizou de dados vetoriais (Shapefiles, arquivo utilizado por Sistemas de Informações Geográficas, contendo dados geoespaciais) existentes na plataforma Global Forest Watch, do catálogo de metadados da Agência Nacional das águas e do mapeamento dos manguezais realizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e portal dados abertos do Ministério do Meio Ambiente (2024), utilizando ferramentas do geoprocessamento como recorte, interseção e calculadora de campo do software QGIS versão 3.28.4. Inicialmente realizou-se a reprojeção das coordenadas geográficas dos dados para o sistema de coordenadas geográficas WGS 84, sistema de coordenadas de referência utilizado pelo sistema de posicionamento global.

Os dados foram obtidos na plataforma Global Forest Watch, responsáveis por disponibilizar um conjunto de dados da distribuição global de florestas de mangue, derivadas de imagens de satélite de observação da Terra. Os dados são resultados do mapeamento global utilizando dados recentemente disponíveis do Global Land Survey e do arquivo Landsat. O projeto interpretou aproximadamente mil cenas Landsat utilizando sistemas híbridos supervisionados e técnicas de classificação de imagens digitais não supervisionadas. Os resultados foram validados usando dados GIS existentes e a literatura publicada. Para limitação da análise adotou-se os dados provenientes da Agência Nacional das Águas, entidade que apresenta a delimitação dos países da América Latina e Caribe e os dados referentes aos manguezais do território brasileiro, mapeados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

A ferramenta recortar consiste em um algoritmo que captura uma camada vetorial usando as feições de uma camada adicional de polígonos. Somente as partes das feições na camada de entrada que se enquadram nos polígonos da camada de sobreposição serão adicionadas à camada resultante. Sendo assim, realizou-se o recorte da camada do mapeamento global dos manguezais sobre a camada nos limites dos municípios da América Latina e Caribe, obtendo-se apenas as áreas do recorte de interesse. A ferramenta de interseção, consiste em um

algoritmo que permite gerar uma nova camada com os atributos das feições sobrepostas das camadas entrada (mapeamento global dos manguezais) e sobreposição (países da América Latina e Caribe), neste caso, utilizou-se para identificar as informações respectivas a área mapeada nos limites de cada país, enquanto a ferramenta de calculadora de campo permite a realização dos cálculos de área na unidade de medida desejada.

Após a aplicação das ferramentas do geoprocessamento realizou-se a exportação dos dados em formato XLSX (planilha de cálculo MS Office Open XML) para permitir o cálculo das estimativas do estoque de carbono com base nos levantamentos da literatura. Em relação a construção da figura, o resultado gráfico dos dados manipulados é gerado dentro do software QGIS, com a construção de um novo Layout de impressão, sendo uma janela do software com ferramentas que permitem a criação de um mapa, sendo o resultado da junção de duas ou mais camadas manipuladas

nas primeiras etapas do processamento dos dados.

Dessa forma, a pesquisa é interdisciplinar por unir interpretações de características desses ecossistemas (manguezais), a esforços de análises regulatórias e seus impactos, utilizando-se de geotecnologias para favorecer uma visão integrada destes espaços e perspectivas de gestão ambiental d

O artigo está estruturado da seguinte forma: essa introdução, seguida dos capítulos: (i) ecossistemas manguezais com conceito, área equivalente no território da América Latina e Caribe com ênfase para o Brasil, impactos das ações antrópicas e potencial de captura de carbono; (ii) carbono azul com conceito e potencial de captura de carbono; (iii) apresentação dos créditos de carbono e as formas de compensação, e (iv) desafios e oportunidades para a América Latina e Caribe a partir do estudo do complexo estuarino de Paranaguá-Brasil; seguida de conclusões e referências.

Ecossistema de manguezaiz

Os manguezais são um ecossistema de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, caracterizado pelo encontro das águas doces de rios com as águas salgadas do mar, sendo um ambiente salobro e de solo lodoso que sofre grande influência do regime de marés. Estes ecossistemas desempenham um papel crucial na manutenção da biodiversidade,

na proteção costeira e no ciclo de nutrientes. Considerando que são provedores de serviços ecossistêmicos de (i) provisão para produção de peixes e moluscos; (ii) de suporte com a estabilização do solo, exportação de biomassa, ciclagem de nutrientes, dispersão de sementes, conectividade da paisagem, manutenção da biodiversidade, reprodução e abrigo

de muitas espécies animais; (iii) de regulação no controle de erosão, anteparo para o avanço da maré, estoque de carbono, purificação e armazenamento da água, e (iv) culturais por permitir atividades de recreação, beleza cênica, conservação da paisagem e de valor educacional (LAGEAMB, 2021: 8-9).

Além de serem importantes sumidouros de carbono, o que faz deles uma das soluções climáticas naturais para o desenvolvimento sustentável.

O Brasil abriga uma das maiores áreas de manguezal do planeta: 1,4 milhão de hectares, segundo o Atlas dos Manguezais do Brasil, publicado em 2018 pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) do Ministério do Meio Ambiente, sendo estimado a capacidade de estocar em torno de 520 milhões de toneladas de carbono (Universidade Federal do Espírito Santo, 2021). Em relação ao estoque de carbono por unidade de área, os valores também são expressivos. Considerando o carbono contido tanto na biomassa quanto no solo, os manguezais retêm 341 toneladas de carbono por hectare (Rovai et al., 2022; Braga et al., 2024: 452). Em recente estudo o potencial de sequestro de carbono dos manguezais no Brasil foi avaliado em 468,3 toneladas de carbono por hectare, ou seja, de três a vinte vezes maior que em outros biomas nacionais (National Geographic, 2024).

As Nações Unidas Brasil (2023) destacam que de 40% da área de manguezais do mundo está localizada

em apenas quatro países: Indonésia (19% do total mundial), Brasil (9%), Nigéria (7%) e México (6%) estima-se que um hectare de mangue pode armazenar 3.754 toneladas de carbono (Unesco, 2022). Em relação a América Latina e Caribe segundo os dados vetoriais (*shapefile*) do Global Forest Watch (2019) estima-se uma área de 3.372.953,73 hectares de manguezais ao longo da costa dos países.

No Brasil, apesar de serem considerados Áreas de Preservação Permanente em toda a sua extensão de acordo com o Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012, em Brasil, 2012), são ecossistemas que sofrem constante pressão das atividades antrópicas, principalmente pela expansão urbana, responsável por soterrar as áreas para construções. Nota-se que a fiscalização sobre estes ecossistemas é ineficaz. Historicamente, estima-se que 25% das áreas originais de manguezal no Brasil já tenham sido suprimidas desde o início do século XX, e a destruição destes ecossistemas resultam em sérios problemas ambientais e socioeconômicos (ICMBio, 2018). Em um aspecto global as áreas marinho-costeiras estão sendo destruídas a uma taxa de até 7% por ano, decorrente das práticas insustentáveis de uso de recursos naturais e ocupação do solo, má gestão em nível da bacia hidrográfica e de desenvolvimento costeiro (World Rainforest Movement, 2014: 7).

O desmatamento e o crescimento urbano desordenado, resultado da falta de fiscalização adequada, possibilita

a alteração do uso do solo para a construção de infraestrutura costeira, como hotéis, resorts, portos e áreas residenciais, gerando processos erosivos na costa, aumentando a vulnerabilidade das comunidades locais. Além disso, as regiões de mangue são afetadas pelo despejo irregular de efluentes devido ao déficit do acesso ao saneamento básico, impactando negativamente na qualidade da água, no equilíbrio do ecossistema e na saúde humana.

A pesca ilegal e destrutiva gera redução das populações de peixes e crustáceos, afetando diretamente as comunidades que dependem desses recursos para subsistência. Nesse contexto, a atividade de aquicultura, sobretudo a criação de camarões (carcinicultura) tem sido os principais responsáveis pela modificação dos corpos de água naturais, alterando o fluxo hídrico e perturbando o equilíbrio hidrológico das áreas. Os danos aos manguezais decorrem, ainda, pela introdução de agentes patogênicos e parasitas, pelo aumento da concorrência entre espécies endêmicas e exóticas e por alterações genéticas provocadas na fauna local por espécies exóticas (ICMBio, 2018: 65).

Além, dos impactos diretos pela ação antrópica os manguezais estão suscetíveis aos impactos das mudanças climáticas, com a elevação do nível do mar, a alteração da temperatura e acidificação das águas. As previsões apontam que o aumento do nível do mar acarretaria alterações na composição da comunidade vegetal enquanto a

temperatura alteraria a atividade metabólica microbiana, responsável pela transformação dos nutrientes em manguezais e pelo fluxo de carbono nos sedimentos do ecossistema, assim, conseqüentemente, estas alterações induziriam no aumento da liberação de gases do efeito estufa (Hernández Solano, 2017).

Observa-se que os eventos climáticos extremos são cada vez mais comuns, segundo relatório da World Meteorological Organization (2020), entre 1970 e 2019, 79% dos desastres ao redor do mundo envolveram condições meteorológicas, água e riscos associados ao clima. Esses desastres representaram 56% das mortes e 75% das perdas econômicas. Nos últimos dez anos (2010-2019) o percentual de desastres associados às questões meteorológicas, ao clima e à água aumentaram 9% em comparação com a década anterior e quase 14%, em relação à 1991-2000.

Diversos organismos internacionais guiados pelos relatórios e estudos da World Meteorological Organization e Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) têm defendido ações urgentes para a mitigação climática que envolvem a captura de carbono da atmosfera. Reuniões internacionais como a reunião das partes, COP-27, referente à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas reiteram a necessidade de ações para o combate às mudanças climáticas e a implementação de ações de mitigação e captura de carbono e reconhecem o papel chave dos oceanos nesse processo (Bird et

al., 2023). E reconhecem que ainda existem lacunas entre as emissões projetadas e os compromissos nacionalmente assumidos pelos países via Contribuições Nacionalmente Determinadas e os fluxos financeiros insuficientes para esses fins (IPCC, 2023: 10) e por isso a necessidade de buscar alternativa de recursos no mercado de carbono para o desenvolvimento sustentável.

De acordo com a Gomes e Pereira (2011) os manguezais são considerados ecossistemas ou áreas frágeis, pois trata-se de porções ou fragmentos importantes, com características e recursos únicos. O conceito de fragilidade ambiental ou de áreas frágeis diz respeito à suscetibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, ou seja, compreende locais que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência ou de pouca capacidade de recuperação (Gomes et al., 2023).

Nesse sentido, observa-se um respaldo implícito no artigo quarto da Convenção Quadro das Nações Unidas promulgada pelo decreto federal nº 2.652, de 1º de julho de 1998, que prevê a adoção de medidas para entender as necessidades e preocupações específicas nos países em desenvolvimento resultantes dos efeitos negativos da mudança do clima ou do impacto da implementação de medidas de resposta incluindo regiões de ecossistemas frágeis. Sendo uma das obrigações a promoção da gestão sustentável, bem como promover e cooperar na conservação

e fortalecimento, conforme o caso, de sumidouros e reservatórios de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, incluindo a biomassa, as florestas e os oceanos como também outros ecossistemas terrestres, costeiros e marinhos (Brasil, 1998).

O movimento pela proteção dessas áreas ocorre em todo território latino americano, sendo uma pauta mundial promovida pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). A entidade desenvolve diretamente ações em sete países da América Latina: Colômbia, Cuba, Equador, El Salvador, México, Panamá e Peru. São projetos que, simultaneamente, geram oportunidades econômicas para as comunidades locais e fomentam o intercâmbio de conhecimento entre as populações e a comunidade científica (Nações Unidas, 2022).

A inclusão do carbono azul em projetos de carbono pode ser uma solução promissora para a conservação destes ecossistemas, pois ao valorizar o carbono armazenado nos manguezais, é possível incentivar a sua preservação e restauração, além de gerar benefícios socioeconômicos para as comunidades locais. Pois, apesar dos mangues desempenharem um papel importante na captura de carbono, ajudando a mitigar as mudanças climáticas, quando degradados são responsáveis pela liberação de grandes quantidades de carbono na atmosfera. As emissões potenciais globais de CO₂ dos solos como resultado da perda de mangais

foram estimadas em aproximadamente 7,0 Tg CO₂ por ano (Jakovac et al., 2020), reforçando a necessidade de adotar medidas que incentivem a sua preservação.

Nesse contexto, os manguezais surgem como uma oportunidade para melhorar os esforços globais e

nacionais de conservação costeira, incluindo a restauração, proteção e adaptação desse ecossistema, através da inclusão do carbono azul costeiro nas políticas regionais e nacionais e nas considerações de uso da terra e nos mercados de compensação de gases com efeito de estufa.

Carbono azul

Carbono azul é aquele capturado e armazenado em plantas e solos em ecossistemas costeiros, como manguezais, estuários, lagunas, marismas etc. Os manguezais em específico, constitui uma parte importante do ciclo global de carbono e desempenha um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas.

Segundo Nellemann et al. (2023) o carbono azul é o carbono capturado pelos oceanos do mundo e representa mais de 55% do carbono verde. O carbono capturado pelos organismos vivos nos oceanos é armazenado na forma de sedimentos de manguezais, pântanos salgados e ervas marinhas. Não permanece armazenado durante décadas ou séculos (como por exemplo as florestas tropicais), mas sim durante milênios.

Este ecossistema realiza a captura do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera através da fotossíntese, convertendo-o em matéria orgânica que é incorporada ao solo e às raízes. Os mangues destacam-se pela sua capacidade única de capturar e armazenar grandes quantidades de carbono no solo, decorrente do

acúmulo de matéria orgânica, como folhas, raízes e detritos vegetais, que se decompõem muito lentamente devido às condições anaeróbicas (baixo teor de oxigênio) do solo do manguezal. Essa matéria orgânica acumulada se transforma em solo orgânico rico em carbono (Hernández Solano, 2017).

No entanto, se por um lado os manguezais desempenham um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas, pois retiram o CO₂ da atmosfera e o armazenam em seus solos por longos períodos, por outro, podem se tornar uma «bomba relógio», pois são ecossistemas que estão sob ameaças devido às mudanças climáticas, incluindo o aumento do nível do mar, tempestades mais intensas e erosão costeira, podendo acarretar na perda destas áreas e conseqüentemente liberar o carbono armazenado de volta para a atmosfera (Escobar, 2022), além das influências antrópicas diretas. Segundo Kauffman et al. (2016) a conversão de manguezais em pastagens, por exemplo, liberaria três vezes mais CO₂ por hectare para a atmosfera do que a conversão de florestas amazônicas. A

perda de carbono dos solos de mangue representa 0,6% das emissões anuais de CO₂ provenientes do desmatamento em todo o mundo (Atwood et al., 2017; Jakovac et al., 2020).

Assim, tendo em vista a sua importância para o estoque de carbono neste ecossistema, difundiu-se termo «carbono azul», referindo-se ao papel dos ecossistemas costeiros, como os manguezais, na captura e armazenamento de carbono da atmosfera. A importância do carbono azul reside na capacidade dos manguezais e outros ecossistemas costeiros de sequestrar carbono de forma eficiente e armazená-lo por longos períodos de tempo (Nellemann, 2009).

Nellemann et al. (2009) apontam que até 7% das reduções de dióxido de carbono necessárias para manter as concentrações atmosféricas abaixo de 450 ppm podem ser alcançadas através da proteção e restauração de mangais, pântanos salgados e comunidades de ervas marinhas. Os sumidouros de carbono azul (ecossistemas costeiros como manguezais, pântanos salgados e ervas marinhas) armazenam aproximadamente 235-450 Tg C todos os anos, o equivalente a até metade

das emissões de todo o setor de transporte global (1.000 Tg C/ano) e 3-7% do total de emissões antrópicas (7.200 Tg C/ano).¹

Nesse contexto, os projetos de carbono azul têm sido considerados uma oportunidade para os governos e comunidades a alcançarem objetivos como a mitigação e adaptação climática, meios de subsistência sustentáveis, conservação e restauração de ecossistemas. Deste modo, os projetos podem auxiliar no cumprimento das metas e compromissos nacionais de mitigação e adaptação, bem como, o desenvolvimento sustentável. Sendo assim, o gerenciamento aprimorado dos ecossistemas de carbono azul, portanto, pode aumentar a segurança alimentar, garantir meios de subsistência, aumentar a resiliência e contribuir para o fornecimento de Contribuições Nacionalmente Determinadas, previstas no acordo de Paris, decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017 (Brasil, 2017).

¹ Um teragrama (Tg) é uma fração decimal múltipla da unidade de massa básica no quilograma do Sistema Internacional de Unidades (SI), sendo 1 Tg = 10¹² g = 10⁹ kg. Disponível em <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/pt-BR/mass/5-1/teragrama-quilograma/>

Créditos de carbono e formas de compensação

Segundo simulações do Intergovernmental Panel on Climate Change, a implementação de ações de mitigação de forma rápida, nesta década, poderia reduzir as perdas e danos previstos para os seres humanos

e ecossistemas, além de proporcionar benefícios adicionais para a qualidade do ar e da saúde humana (IPCC, 2023: 25). Ou seja, há clareza da necessidade de conservação, proteção e restauração de ecossistemas terrestres,

de água doce, costeiros e oceânicos, associado a ações de adaptação para minimizar impactos decorrentes das alterações climáticas, assim como a vulnerabilidade da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (IPCC, 2023: 30). A dificuldade está na disponibilidade de recursos financeiros para essas ações. Sendo assim, o mercado de carbono se apresenta como uma alternativa.

O mercado de crédito de carbono consiste em um sistema de compensações de emissão de carbono ou equivalente de gás de efeito estufa, que emergiu a partir da criação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática durante a ECO-92, no Rio de Janeiro, sendo um aspecto chave no Protocolo de Kyoto em 1997, entrando em vigor no ano de 2005. As primeiras discussões definitivas acerca do mercado de carbono surgiram nos anos de 2000 e 2002, durante as Conferências das Partes 6 e 8, com o início do delineamento sobre os mecanismos de flexibilização, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo — um mercado regulamentado pelo Protocolo de Kyoto, sendo um dos principais instrumentos climáticos atualmente discutidos.

O mercado de carbono voltou a ganhar forças nas discussões, sendo um dos principais pontos destacados na 26ª Conferência das Partes da Convenção da ONU sobre Mudanças do Clima em Glasgow no ano de 2021. Desde então, o Governo brasileiro busca avançar em pautas no Congresso Nacional, para uma

definição do arcabouço legal acerca de um marco regulatório para o mercado de carbono no país.

Neste mercado, definiu-se uma tonelada de dióxido de carbono corresponde a um crédito de carbono. Assim como, a redução da emissão de outros gases, igualmente geradores do efeito estufa, também pode ser convertida em créditos de carbono, utilizando-se o conceito de carbono equivalente.

Define-se o crédito de carbono como um ativo financeiro, ambiental, transferível e representativo de redução ou remoção de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente, que tenha sido reconhecido e emitido como crédito no mercado voluntário ou regulado e aponta que o crédito certificado de redução de emissões deve ser registrado no Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa, instituído pelo decreto nº 9.172/2017 (Brasil, 2017a).

O Mercado Brasileiro de Redução de Emissões constitui mecanismo de gestão ambiental e será instrumento de operacionalização dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, com vistas a atuar como ferramenta à implementação dos compromissos de redução de emissões mediante a utilização e transação dos créditos certificados de redução de emissões (Brasil, 2022).

Tendo em vista as questões particulares brasileiras relacionadas as altas taxas de degradação e supressão de vegetação, no ano de 2017, em Durban, na África do Sul, durante a

17º Conferência das Partes (COP17), definiu-se a estrutura do Fundo Verde do Clima e da Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD+), que permite que os países utilizem da redução de emissão de gases de efeito estufa causadas pela preservação florestal

O REDD+ é um mecanismo relacionado ao uso da terra numa tentativa de implementar projetos focados na redução das emissões de gases de efeito estufa derivadas da mudança do uso do solo (Ministério do Meio Ambiente, 2014). Este instrumento busca contribuir para as ações em países em desenvolvimento, através de uma recompensa financeira a cada unidade de CO₂ que deixou de ser emitida em função da manutenção das florestas, assim mantendo o carbono estocado, pois quando as florestas naturais são substituídas, ocorrem emissões de CO₂ relacionadas à decomposição da biomassa, à exposição do solo e aos novos usos da terra. Assim, nesse contexto surgiu a possibilidade de projetos voltados a geração de créditos de carbono em manguezais.

O Projeto Mikoko Pamoja, no Quênia, foi o primeiro projeto de desmatamento evitado e de restauração de florestas de manguezais, numa área de 117 hectares (Alvarez, 2022). Outra referência em projetos de carbono azul é o Projeto Vida Manglar, na Baía Cispatá, na Colômbia e teve seus primeiros créditos de carbono emitidos em maio de 2021, seguindo os padrões VCS e CCB (Vida Manglar, 2023).

A expectativa é de que a floresta de manguezais de 11.000 hectares da Baía Cispatá remova cerca de 1 milhão de toneladas métricas de dióxido de carbono da atmosfera no período de trinta anos de duração do projeto (Alvarez, 2022).

Estima-se que os créditos para projetos de carbono azul na Ásia e América Central são oferecidos por cerca de US\$ 13 a US\$ 35 por tonelada de carbono removido. A *greenbiz* diz que em 2021, a Apple e a Conservation International fizeram parceria na Colômbia para permitir que um manguezal de 11.000 acres em Cispatá se tornasse o primeiro a ter todo o seu potencial de sequestro de carbono inserido no mercado regulado e verificado pela Verified Carbon Standard (Mesquita, 2022).

O primeiro passo para identificar a capacidade destes ecossistemas e estruturar projetos para a geração de créditos de carbono é realizar o inventário florestal e as estimativas de carbono de determinada área. As técnicas consistem em métodos diretos e indiretos. Por meio de inventário florestal e coleta de dados em campo da vegetação de mangue são obtidas equações dendrométricas² para cálculo de estoque de carbono nas áreas inventariadas. Os dados são

2 O termo «dendrometria» é de origem grega, significando medida da árvore (*dendro*, árvore e *metria*, medida). Numa definição mais ampla pode-se conceituar a Dendrometria como um ramo da Ciência Florestal que se encarrega da determinação ou estimação dos recursos florestais, quer seja da própria árvore ou do próprio povoamento, com finalidade de prever com precisão o volume, o incremento ou a produção de um determinado recurso florestal. Informação disponível em <https://esalq.iazop.com.br/img/aulas/Apostila%20-%20Dendrometria.pdf>

correlacionados com dados de imagens de satélite. Com índices de vegetação como NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – do inglês) e Índice de Área de Folha (IAF) serão estimados o volume de biomassa para cálculo de estoque de carbono dos manguezais e balanço histórico (Santos, 2013).

Alguns projetos voltados para o reflorestamento e restauração dos manguezais com a geração de créditos de carbono foram registrados entre os anos de 2017 e 2021 na plataforma da Verified Carbon Standard (Tabela 1). Nota-se que nos projetos registrados o estoque de carbono anual nas áreas de manguezais varia de 4 mil a 300 mil toneladas de CO₂q dependendo da extensão das áreas de projeto.

Tabela 1. Projetos de carbono em manguezais com registro da Verified Carbon Standard
Table 1. Carbon projects in mangroves registred with the Verified Carbon Standard

Projeto	Ano de registro	Local	País	Tipo de Projeto	Estimativa de remoção
Zhanjiang Mangrove Afforestation Project	19/03/2021	Zhanjiang	China	Projeto de florestamento de manguezais	Gases de efeito estufa de 106.781 tCO ₂ e em 40 anos, com uma remoção média anual de emissões de gases de efeito estufa de 4.020 tCO ₂ e.
Reforestation and restoration of degraded mangrove lands, sustainable livelihood and community development in Myanmar	26/06/2017	Ayeyarwady	Mianmar	Florestamento, reflorestamento e revegetação	Gases de efeito estufa de 3.680.125 tCO ₂ e em 20 anos, com uma remoção média anual de emissões de GEE de 184.006 tCO ₂ e.
Mangrove restoration and coastal greenbelt protection in the East coast of Aceh and North Sumatra Province, Indonesia	06/04/2020	Províncias de Aceh e Sumatra do Norte	Indonésia	Restauração de manguezais e proteção do cinturão verde costeiro	Gases de efeito estufa de 2.494.121 tCO ₂ e em 20 anos, com uma remoção média anual de emissões de gases de efeito estufa de 300.000 tCO ₂ e.
Livelihoods' mangrove restoration grouped project in Senegal	06/04/2020	Casamança	Senegal	Projeto de restauração	Gases de efeito estufa de 1.457.945,10 tCO ₂ e em 30 anos, com uma remoção média anual de emissões de gases de efeito estufa de 48.598,17 tCO ₂ e
India Sundarbans Mangrove Restoration	06/04/2020	Bengala Ocidental	Índia	Projeto de reflorestamento	Gases de efeito estufa de 1.024.976 tCO ₂ e em 20 anos, com uma remoção média anual de emissões de gases de efeito estufa de 51.249 tCO ₂ e.

Fonte/source: Verified Carbon Standard, 2023.

Entretanto, a América Latina e Caribe possui mais de 3 milhões de hectares e só no Brasil são 1.398.966,1 hectares, onde não há execução de projetos nestas áreas, tampouco estudos sobre o real potencial em diferentes regiões dos países nestes ecossistemas. Portanto, para alcançar a proteção dos serviços ecossistêmicos produzidos pelos manguezais, é necessário que sejam desenvolvidas e implementadas novas políticas de proteção, visto

que as existentes são insuficientes, além de buscar desenvolver projetos de carbono e inserir e a comunidade local para a indução das reduções de degradação, diminuição de emissão de gases de efeito estufa e promoção do desenvolvimento sustentável, ressaltando a importância da conservação desses ecossistemas como uma estratégia natural para mitigar e adaptar-se às mudanças climáticas.

Análise dos desafios e/ou oportunidades

A América Latina e Caribe, segundo os dados vetoriais (*shapefile*) do Global Forest Watch (2019), possui uma área de 3.372.953,73 hectares de manguezais ao longo da costa dos países e ilhas. O Brasil, em especial, abriga uma das maiores áreas de manguezal do planeta: 1,4 milhão de hectares com uma extensão aproximada de 6.786 km ao longo de 16 estados costeiros, do Amapá até Santa Catarina, segundo o Atlas dos Manguezais do Brasil, publicado em 2018 pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, do Ministério do Meio Ambiente. O Maranhão detém 46% dos manguezais brasileiros, seguido por Pará (22%), Amapá (9%) e Bahia (7%).

Em relação as estimativas para o ecossistema no Brasil, segundo o Terceiro Inventário Nacional, o valor médio para Brasil de estoque total de carbono por unidade de área (t C/ha) considerando diferentes compartimentos (biomassa acima

e abaixo do solo, madeira morta e serapilheira) da fitofisionomia de manguezal é de 117,20 t C/ha, sendo 79,29 t C/ha para estoque acima do solo; 29,80 t C/ha estoque abaixo do solo; 7,93 estoque de madeira morta (t C/ha) e 0,19 t C/ha para o estoque de serapilheira (MCTI, 2015).

Os trabalhos que abordam a quantificação ou a estimativa dos estoques de carbono no Brasil são consideravelmente recentes, em sua maioria, publicados entre 2018 e 2021 (Mariano Neto e da Silva, 2023) em pontos específicos do nordeste e sudeste, evidenciando-se a necessidade de maiores esforços para alcançar a construção de um inventário do estoque de carbono em ecossistemas de mangues em nível nacional.

Verifica-se que as estimativas de carbono em escala nacional variaram entre 358,79 t C/ha e 1.851 t C/ha, de modo, que o estoque médio corresponde a 709,36 t C/

ha. Quanto às reservas de carbono por compartimento, o solo apresenta os maiores estoques, quando em comparação à biomassa, variaram entre 126,34 t C/ha e 336,30 t C/ha, com valor médio de 261,79 t C/ha. Os estoques de carbono retidos na biomassa, por sua vez, são substancialmente menores, variando entre 72,93 t C/ha e 258,34 t C/ha, com uma média de 147,09 t C/ha. Os estoques aprisionados na biomassa abaixo do solo, nas raízes da vegetação de mangue, apresentam uma média de 70,18 t C/ha. Ainda, observa-se que a diversidade de espécies influencia diretamente na formação dos estoques, a *L. racemosa* apresenta a maior biomassa e carbono de 0,89 t C/ha, seguido por *R. mangle* de 0,34 t C/ha e *A. schaueriana* de 0,23 t C/ha (Mariano Neto e da Silva, 2023).

Relacionando os valores médios encontrados em literatura para o estoque de carbono em Manguezais e o mapeamento realizado pelo ICMBio em 2018, estima-se um potencial de 1,02 bilhões tC, considerando as estimativas do MCTI, o estoque total apresenta uma projeção de 169 milhões t C. A conversão para dióxido de carbono equivalente é obtida pela multiplicação do estoque de carbono por 3,67, valor obtido pela razão entre a massa molecular do dióxido (CO₂) igual a 44 e a massa atômica do carbono (C) igual a 12. Assim, espera-se que os manguezais no Brasil apresentam um estoque de Carbono equivalente de 3,76 bilhões tCO₂eq acumulado ao longo dos anos, adotando a média do estoque total da literatura levantadas

por Mariano Neto e Da Silva (2023) e considerando as estimativas do MCTI, 621 milhões de tCO₂e. No que diz a respeito das perdas do estoque de carbono nos manguezais brasileiros estima-se uma perda anual de 10,31 tCO₂/ha, podendo atingir até 22 tCO₂/ha (Rovai et al., 2022: 7).

A perda das áreas dos manguezais na região de Paranaguá é um reflexo da dinâmica local com uma grande pressão antrópica, pois está muito próxima da capital do Estado do Paraná, Curitiba, e abriga atividades portuárias intensas, assim, a mancha urbana no município de Paranaguá tem ocorrido de modo desenfreado, resultando em alto nível de impacto ambiental para as regiões de mangues (LAGEAMB, 2021: 9-10). A Figura 1 ilustra a expansão da área urbana para a região de manguezais em Paranaguá.

Figura 1. Expansão imobiliária e atividade portuária gerando pressão antrópica sobre os manguezais de Paranaguá, estado de Paraná

Figure 1. Estate expansion and port activity generating human pressure on the mangroves of Paranaguá, Paraná state



Fonte/source: LAGEAMB, 2021: 10.

Simulações realizadas a partir do histórico do avanço da ocupação dos manguezais em Paranaguá indicam que na eventualidade de um aumento de temperatura de 2 °C haverá a penetração do mar em boa parte da área urbana do município (LAGEAMB, 2021: 31). Em 1952, Paranaguá possuía 2.665 hectares de manguezais, passando para 2.371 hectares em 1996, totalizando uma perda de 294 hectares em 44 anos (Caneparo, 2001). Em 2022, o mapeamento do uso e cobertura da terra do MapBiomas Brasil identificou aproximadamente 3.465 hectares de manguezais no território de Paranaguá, ou seja, uma diferença

de 1.526 hectares em relação a área delimitada pelo ICMBio.

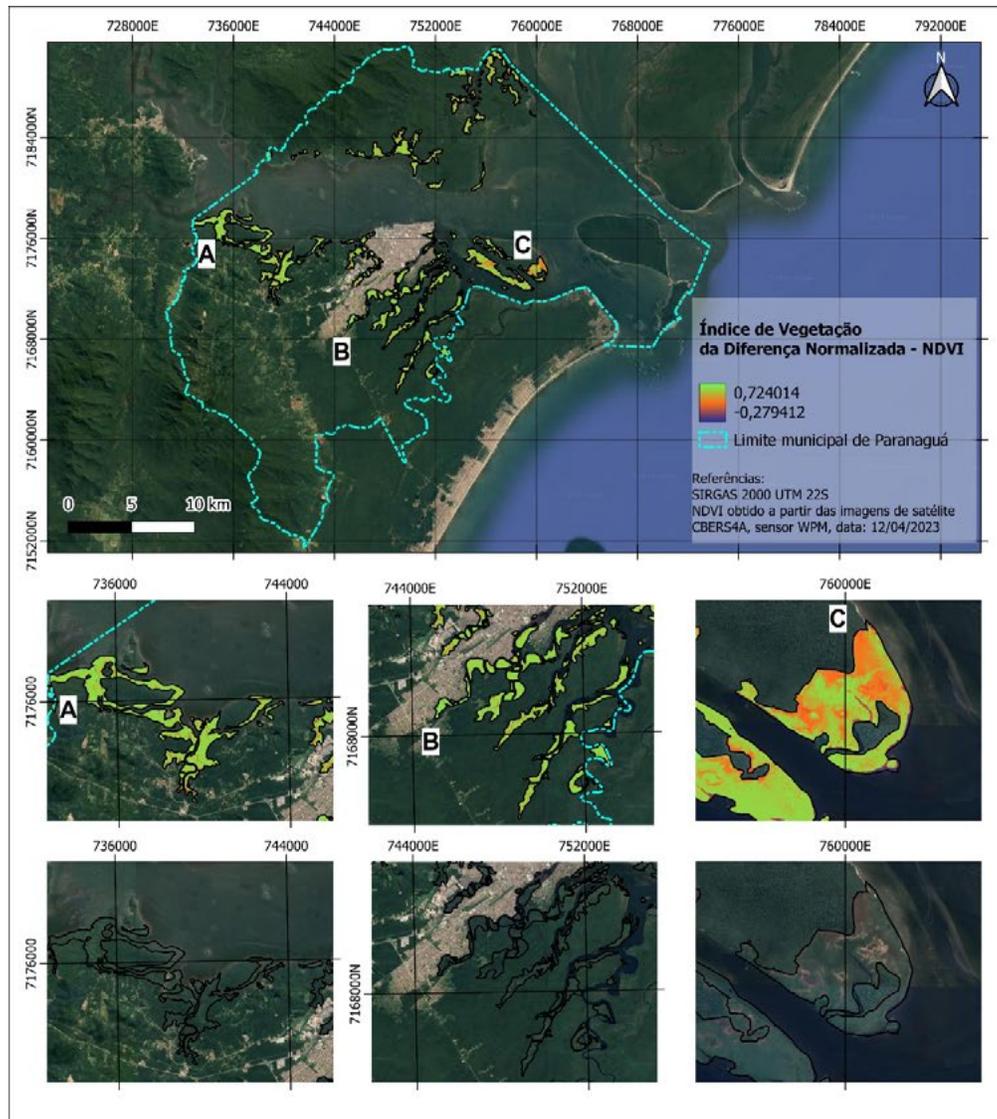
Apesar da diferença entre as áreas, ainda é possível identificar uma área expressiva da vegetação no mangue em Paranaguá, assim, com o intuito de confirmar a existência da vegetação atual nas delimitações do manguezal pelo ICMBio (2018) para posterior estimativa teórica do estoque de carbono equivalente existente, empregou-se o método do índice de vegetação por diferença normalizada. Utilizou-se a imagem do satélite CBERS4A, sensor WPM, referente a data de 12 de abril de 2023 disponibilizada na plataforma

do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e o software QGis versão 3.28 para o cálculo. Identificou-se uma área de 3.819,92 hectares

correspondente ao índice de vegetação por diferença normalizada variando de 0,5 a 0,72, indicando a presença da vegetação (Figura 1).

Figura 1. Identificação da vegetação em áreas delimitadas como manguezais por meio do índice de vegetação por diferença normalizada

Figure 1. Identification of vegetation in areas defined as mangroves using the normalized difference vegetation index



Fonte: elaboração própria a partir de dados adaptados da plataforma Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018). Source: own elaboration based on data from Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018).

O índice de vegetação por diferença normalizada fornece informações a partir de medidas espectrais para avaliação qualitativa e quantitativa de fatores diretamente relacionados com a cobertura vegetal. Valores próximos de -1 indicam que o espectro do vermelho é mais intenso que o do infravermelho, indicando a provável ausência de vegetação. A vegetação, por sua vez, está associada a valores positivos do índice de vegetação por diferença normalizada. Materiais que refletem mais na faixa do vermelho do que no infravermelho próximo, como nuvens, água e neve, apresentam índice de vegetação por diferença normalizada negativo. Solos descobertos e rochas refletem o vermelho e o infravermelho próximo com intensidades quase iguais, resultando em um índice de vegetação por diferença normalizada próximo de zero (Vila Nova et al., 2013). Os últimos estudos do Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais detectaram cerca de 180,48 hectares de solo exposto nos manguezais de Paranaguá.

Para o emprego do índice por diferença normalizada (NDVI), utilizou-se as bandas 3 e 4 da imagem, as quais atuam no comprimento de onda que vai de 0,63 μ m a 0,89 μ m correspondente à região do visível-vermelho e ao infravermelho próximo. Para o cálculo do NDVI foi utilizada a equação que é definida por: $NDVI = (Banda\ 4 - Banda\ 3) / (Banda\ 4 + Banda\ 3)$, sendo a Banda 4 correspondente a reflectância no infravermelho próximo e a banda 3 a reflectância no vermelho. Nota-se na Figura 1 que as regiões com coloração

alaranjada indicam áreas de solo exposto com maior incidência na região da Ilha Rasa da Cotinga, enquanto as áreas de vegetação são identificadas pela coloração verde com um com $NDVI > 0,5$. Quanto mais intenso o verde, maior é o NDVI, mais vigor há na vegetação e cobertura vegetal.

Dessa forma, limitando-se a uma análise sucinta sobre o Complexo Estuarino de Paranaguá e Baía de Guaratuba, localizado no estado do Paraná, região Sul do Brasil, considerando a delimitação total do ICMBio (2018), sem as eventuais perdas, estima-se que os manguezais do Paraná apresentam um estoque de Carbono equivalente de 81,48 milhões tCO₂eq acumulado ao longo dos anos (Tabela 1) caso fossem preservados, considerando as médias do estoque total da literatura levantadas por Mariano Neto e Da Silva (2023), sendo aproximadamente 7,9% do total estimado para o território brasileiro. No entanto, ao se considerar as previsões do MCTI (2015), o estoque estimado representa aproximadamente 13,46 milhões de tCO₂e.

Tabela 1. Estimativa média do estoque total de carbono em ecossistemas de manguezais em toneladas de carbono equivalente*Table 1. Estimate average of total carbon in mangrove ecosystems in tons of carbon equivalent*

	ICMBio (2018)	Mariano Neto e da Silva (2023)	MCTI (2015)
Município	Área de mangue (ha)	Estimativa média do estoque total de carbono toneladas de carbono equivalente (tCO ₂ e)	Estimativa média do estoque total de carbono toneladas de carbono equivalente (tCO ₂ e)
Antonina	5178,542	13.469.317,91	2.225.391,987
Guaraqueçaba	13377,51	34.794.734,51	5.748.763,511
Guaratuba	5993,251	15.588.365,42	2.575.499,644
Morretes	1009,58	2.625.905,159	433.850,3506
Paranaguá	4991,05	12.981.655,54	2.144.820,725
Pontal do Paraná	778,1791	2.024.033,463	334.409,4986
Total	31328,12	81.484.012,01	13.462.735,72

Fonte: elaboração própria a partir de dados adaptados de ICMBio (2018), MCTI (2015) e Mariano Neto e da Silva (2023). Source: own elaboration based on data from ICMBio (2018), MCTI (2015) e Mariano Neto e da Silva (2023).

Analogamente, estimou-se o estoque de carbono para os países da América Latina e Caribe com destaque para os países Brasil, México e Cuba com as maiores áreas e estoques (Tabela 2). Em uma análise superficial sem considerar as particularidades de cada região, estima-se um potencial de estoque de até 8,77 bilhões de toneladas de carbono equivalente. Ao se considerar as estimativas da Unesco (1 hectare = estoque de 3.754 toneladas de carbono) o potencial estoque para a América Latina e Caribe é em torno de 12,66 bilhões de toneladas de carbono, equivalente a 46,66 bilhões de toneladas de carbono equivalente.

Para a estimativa adotou-se os dados das literaturas encontradas para o território brasileiro supracitados e os dados de distribuição global de

mais de 1.300 estuários disponível na plataforma Global Forest Watch (GFW).³ A distribuição das áreas de manguezais na América Latina e Caribe encontra-se representada na Figura 2.

³ O mapeamento é derivado de imagens de satélite de observação da Terra, dados recentemente disponíveis do Global Land Survey e do arquivo Landsat com atualização no ano de 2019 (GFW, 2019).

Tabela 2. Estimativa média do estoque total de carbono em ecossistemas de manguezais em toneladas de carbono equivalente na América Latina e Caribe com duas metodologias de estimativas de estoque disponíveis na literatura

Table 2. Estimate average of total carbon stock in mangrove ecosystems in tons of carbon equivalent in Latin American and the Caribbean with two stock estimation methodologies available in the literature

		GFW (2019) e ICMBio (2018)	Mariano Neto e da Silva (2023)	MCTI (2015)
País / ilha	Região	Área de mangue (ha)	Estimativa média do estoque total de carbono em toneladas de carbono equivalente (tCO₂e)	Estimativa média do estoque total de carbono em toneladas de carbono equivalente (tCO₂e)
Brasil	América do Sul	1.398.966,10	3.638.692.173,22	601.182.365,37
México	América Central	628.254,85	1.634.082.486,56	269.982.050,62
Cuba	Caribe	283.491,28	737.357.026,39	121.825.650,58
Venezuela	América do Sul	226.258,20	588.494.562,72	97.230.690,69
Colômbia	América do Sul	126.649,21	329.412.916,70	54.425.388,85
Panamá	América Central	126.351,53	328.638.657,59	54.297.466,26
Equador	América do Sul	99.948,33	259.964.273,69	42.951.129,01
Nicarágua	América Central	64.268,91	167.162.570,45	27.618.491,68
Guiana Francesa	América do Sul	62.998,07	163.857.147,90	27.072.371,90
Suriname	América do Sul	51.659,47	134.365.588,26	22.199.795,51
Honduras	América Central	49.110,34	127.735.350,20	21.104.351,87
Bahamas	Caribe	47.909,45	124.611.846,90	20.588.288,68
Belize	América Central	42.018,91	109.290.634,80	18.056.927,93
Costa Rica	América Central	31.362,75	81.574.104,72	13.477.620,78
El Salvador	América Central	28.748,88	74.775.446,02	12.354.350,79
Guatemala	América Central	27.998,76	72.824.409,25	12.032.001,75
Guiana	América do Sul	18.361,98	47.759.272,44	7.890.756,08
República Dominicana	Caribe	16.013,59	41.651.131,47	6.881.572,98
Haiti	América Central	9.928,09	25.822.825,03	4.266.430,44
Porto Rico	Caribe	6.662,98	17.330.310,70	2.863.302,71
Jamaica	Caribe	6.551,34	17.039.934,98	2.815.327,03
Ilhas Cayman	Caribe	6.406,65	16.663.600,56	2.753.149,30
Trinidad e Tobago	Caribe	4.509,87	11.730.099,51	1.938.039,45
Peru	América do Sul	3.398,56	8.839.617,31	1.460.475,85
Guadalupe	Caribe	1.869,83	4.863.394,06	803.526,82
Martinica	Caribe	1.004,62	2.613.004,27	431.718,87

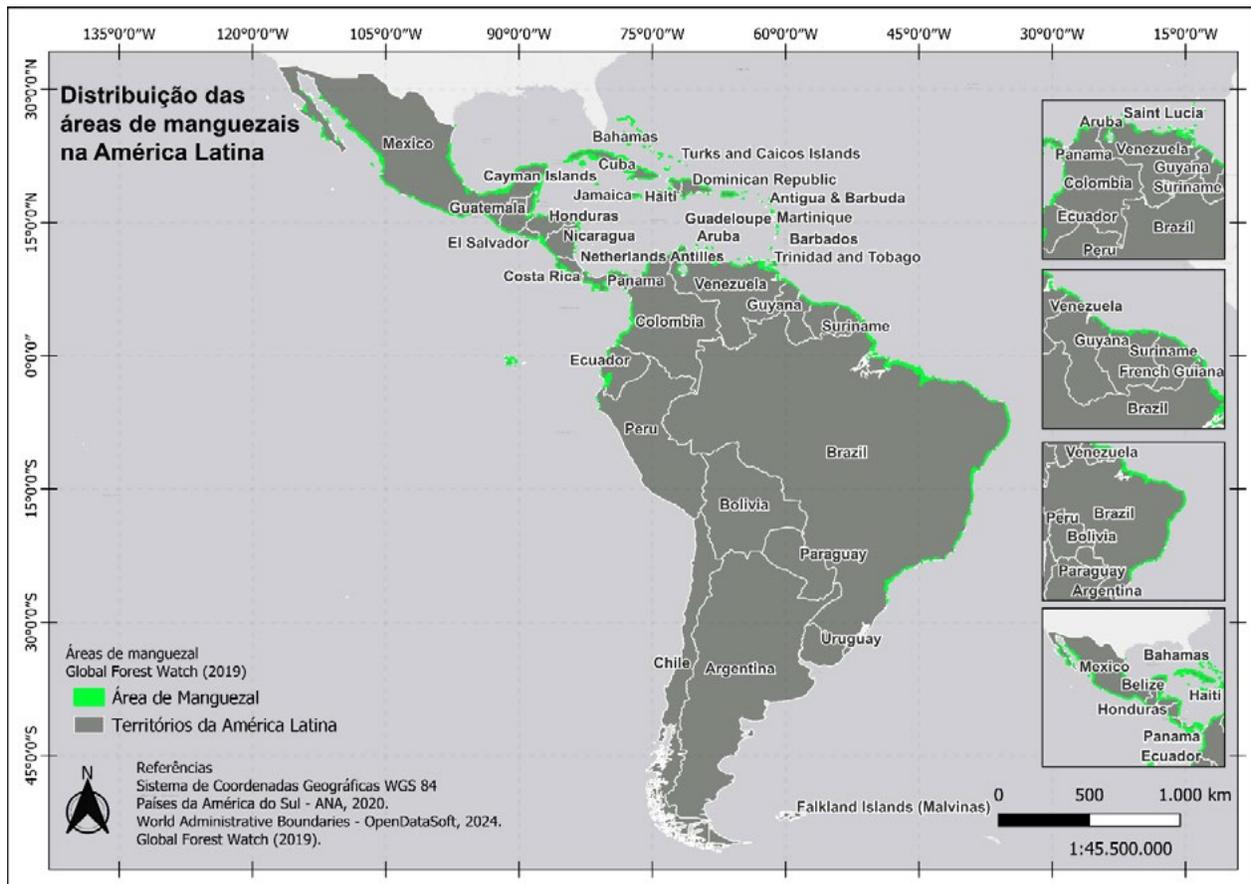
Antígua e Barbuda	Caribe	851,05	2.213.581,67	365.726,53
Ilhas Turcas e Caicos	Caribe	371,01	964.995,44	159.435,92
Antilhas Holandesas	Caribe	294,24	765.301,57	126.442,63
Guantánamo	Caribe	276,04	717.985,72	118.625,14
Santa Lúcia	Caribe	139,25	362.187,65	59.840,41
Granada	Caribe	104,43	271.614,54	44.875,98
Ilhas Virgens dos Estados Unidos	Caribe	80,10	208.338,25	34.421,51
Aruba	Caribe	57,34	149.132,25	24.639,53
São Cristóvão e Nevis	Caribe	38,59	100.384,82	16.585,52
Ilhas Virgens Britânicas	Caribe	22,96	59.723,34	9.867,45
Barbados	Caribe	13,03	33.884,87	5.598,44
Anguila	Caribe	3,14	8.154,09	1.347,21
Total		3.372.953,73	8.773.007.669,91	1.449.470.648,07

Fonte: elaboração própria a partir de dados adaptados da plataforma Global Forest Watch (2019), ICMBio (2018), MCTI (2015) e Mariano Neto e da Silva (2023). Source: own elaboration based on data from Global Forest Watch (2019), ICMBio (2018), MCTI (2015) and Mariano Neto and da Silva (2023).

Dessa forma, a soma de todas as áreas de ecossistemas de manguezais na América Latina e Caribe representa mais de 8 bilhões de toneladas de carbono equivalente em 38 países. As alternativas de renda e melhoria na qualidade de vida devem ser buscadas por países e governos, pois a pobreza e a pobreza extrema apresentaram uma tendência ao aumento, mesmo antes de que se manifestassem os custos sociais da pandemia de Covid-19, segundo dados da Comissão Econômica para América Latina e Caribe CEPAL. Em 2019 a pobreza na América Latina e Caribe alcançou 30,5% da população, que corresponde a 187 milhões de pessoas, dessas 70 milhões em pobreza extrema, ou seja, 11,3% da população. No mesmo Anuário da CEPAL as metas de Aichi para a diversidade biológica foram atingidas em 2015 para a América

Latina e Caribe, referentes a proteção de áreas marinhas e costeiras (CEPAL, 2024).

Figura 2. Distribuição das áreas de manguezais na América Latina e Caribe
Figure 2. Distribution of mangrove areas in Latin America and the Caribbean



Fonte: elaboração própria a partir de dados adaptados da plataforma Global Forest Watch (2019). Source: own elaboration based on data from Global Forest Watch (2019).

Ainda, considerando o recorte da América Latina, Hatje et al. (2023) indicam que os ecossistemas costeiros com vegetação ao longo do Atlântico Central e Sudoeste, abrangendo da Guiana à Argentina, armazenam e acumulam cerca de 0,4 petagramas de carbono orgânico. Essa quantidade representa aproximadamente 2 a 5% do total global de carbono armazenado em sistemas de vegetação costeira. Além disso, esses ecossistemas são estimados em acumular entre 0,5 e 3,9 teragramas de carbono anualmente.

A discrepância dos resultados estimados observados quando se adota diferentes valores genéricos da literatura (conforme cálculos apresentados na Tabela 2), retratam a necessidade de se coletar dados *in loco* para uma melhor precisão do estoque de carbono existente em determinado local e geração de um banco de dados para auxiliar no planejamento de projetos locais.

É importante frisar que os valores médios considerados podem não representar a real capacidade do

ecossistema, os valores supra apresentados podem corresponder a valores superiores ou inferiores, pois o manguezal apresenta uma heterogeneidade entre os tipos fisiográficos de franja, bacia e ribeirão (Santos, 2013) em função dos regimes hídricos nos domínios geomorfológicos, da distância da desembocadura e da topografia local os quais estão submetidos.

A diversidade e heterogeneidade desses ecossistemas exigem uma abordagem abrangente, envolvendo projetos de monitoramento, coleta de dados e a participação ativa das comunidades locais. No entanto, a dificuldade de estudos, criação dos inventários e coleta de dados em campo são decorrentes de obstáculos para o acesso aos locais, mobilidade limitada por conta da influência do ciclo de marés, lama, presença de canais, raízes, insetos entre outros que geram preocupações de segurança (Kauffman, 2012), tornando-se imprescindível a participação da comunidade local no auxílio das ações, pelo simples fato de conhecerem nitidamente o ambiente em que vivem.

Atualmente, o Brasil busca mecanismos de solução ambiental que visam remunerar a preservação de recursos naturais, sendo um deles o mercado regulado de carbono, que propicia a geração de receita para projetos que fomentem a economia verde, ao mesmo tempo que permite o desenvolvimento de regiões ainda não industrializadas, contribuindo com a expectativa da regulamentação do futuro mercado global de carbono,

previsto no artigo 6 do Acordo do Clima.

Segundo o Sistema Nacional de Informações Florestais (2023) a área de floresta do Brasil equivale a 58,5% do seu território, cobrindo uma área de 4,97 milhões de hectares. No entanto, um dos entraves encontrados no país, é que deste total, 3,09 milhões de hectares são considerados florestas públicas (Sistema Nacional de Florestas Públicas, 2016), até então, sendo difícil a geração de créditos de carbono e incentivos a restauração e conservação. Todavia, em 27 de dezembro de 2022, a Medida Provisória nº 1.151, que alterou a Lei de Florestas Públicas, atualizando a Lei Federal nº 11.284 de 2 de março de 2006, atual Lei nº 14.590, de 24 de maio de 2023. A nova alteração dispõe que o contrato de concessão de florestas públicas passa a prever o direito de comercializar créditos de carbono, além de produtos e serviços florestais não madeireiros, o que envolve ações como restauração e reflorestamento de áreas degradadas, atividades de manejo voltadas a conservação da vegetação nativa ou ao desmatamento evitado (Ministério da Economia, 2022).

Artigo 16. A concessão florestal confere ao concessionário somente os direitos expressamente previstos no contrato de concessão.

[...] § 2º Ressalvadas as áreas ocupadas ou utilizadas por comunidades locais, o contrato de concessão poderá prever a transferência de titularidade dos créditos de carbono do poder concedente ao concessionário,

durante o período da concessão, bem como o direito de comercializar certificados representativos de créditos de carbono e serviços ambientais associados, conforme regulamento. (Brasil, 2006, 2023).

De acordo com a referente Medida Provisória os créditos de carbono e serviços ambientais poderão decorrer da redução de emissões ou remoção de gases de efeito estufa; da manutenção ou aumento do estoque de carbono florestal; da conservação e melhoria da biodiversidade, do solo e do clima; ou de benefícios do ecossistema previstos na Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Ministério da Economia, 2022).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais, a concessão florestal é uma das modalidades de gestão de florestas públicas, que permite que União, estados e municípios, mediante licitação, concedam a uma pessoa jurídica o direito de manejar de forma sustentável e mediante pagamento as florestas de domínio público para obtenção de produtos e serviços.

Realizando a interseção dos dados geoespaciais do Cadastro Nacional de Florestas Públicas⁴ e áreas de

Manguezais (ICMBio, 2018), observa-se que dos 3,09 milhões de hectares de Florestas Públicas, 598.439 hectares contemplam áreas de manguezais que por meio dos dispositivos legais, futuramente podem estar gerando créditos de carbono, além de serem focos de projetos para a recuperação ou restauração das áreas degradadas.

Um possível ator social para atuação nos projetos de carbono em manguezais são as instalações portuárias, pois em sua maioria localizam-se próximos as áreas de mangues. Por meio das licitações, os Portos podem reforçar seu compromisso com a agenda 2030, relativas a certificações internacionais, alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, recuperação de áreas degradadas, ações de Educação Ambiental, projetos socioambientais para inserção da comunidade local e geração de renda, monitoramentos constantes em mar e terra, assim, contribuindo para a compensação dos seus impactos no ambiente, inclusive em relação as suas emissões de gases de efeito estufa.

É notório que a legislação e regulamentação dos créditos de

4 O Cadastro Nacional de Florestas Públicas (CNFP) foi instituído pela Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006, regulamentado pelo Decreto nº 6.063, de 20 de março de 2007 e tem seus procedimentos fixados pela Resolução nº 02, de julho de 2007 do Serviço Florestal Brasileiro. É integrado pelo Cadastro Geral de Florestas Públicas da União e pelos cadastros de florestas públicas dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. O Cadastro Geral de Florestas Públicas da União inclui (i) áreas inseridas no Cadastro de Terras Indígenas; (ii) unidades de conservação federais, com exceção das áreas privadas localizadas em categorias de unidades que não exijam a desapropriação; e (iii) florestas localizadas em imóveis urbanos ou rurais matriculados ou em processo de arrecadação

em nome da União, autarquias, fundações, empresas públicas e sociedades de economia mista. As florestas públicas em áreas militares somente são incluídas no Cadastro Geral de Florestas Públicas da União mediante autorização do Ministério da Defesa. As informações referentes às terras públicas levantadas pelo Serviço Florestal Brasileiro são oriundas dos órgãos gestores dessas terras. Foram levantadas as informações da Fundação Nacional do Índio (Terras Indígenas), Instituto Chico Mendes da Conservação da Natureza (ICMBio) e Ministério do Meio Ambiente (Unidades de Conservação Federais) e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (projetos de assentamento e terras arrecadadas não destinadas) (Sistema Nacional de Florestas Públicas, 2016).

carbono na América Latina e Caribe é um tema de crescente importância devido à urgência das questões climáticas. Contudo, é necessário lidar com obstáculos como a falta de alinhamento entre as diferentes regiões e a restrição da capacidade institucional, a fim de melhorar a eficácia dessas políticas e promover uma participação mais ativa no mercado de créditos de carbono na região.

A Corporação Andina de Fomento, auto identificada como o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe, entende que o desenvolvimento de um mercado latino-americano de créditos de carbono pode impulsionar as vantagens naturais da região e atrair investimentos, que impulsionem o surgimento de negócios sustentáveis, atrair tecnologias e mobilizar investimentos privados nacionais e internacionais. No entanto, enfrenta desafios como visões políticas locais, divergências sub-regionais, regulação complexa, recursos limitados, fraquezas institucionais e desigualdades entre os mercados nacionais. Superar esses desafios requer harmonização, mobilização de recursos e criação de instrumentos financeiros competitivos (Banco de

Desenvolvimento da América Latina e Caribe, 2021).

Os países latino-americanos se destacam pela sua vasta biodiversidade e pelas florestas tropicais ainda existentes, configurando-se como uma potência para a mitigação das mudanças climáticas, além disso, os países tem se destacado na conservação da área terrestre e das zonas marinhas e costeiras em áreas protegidas. Segundo Protected Planet (2024), a América Latina e Caribe apresentam 10.552 áreas protegidas, sendo que 5.600.471 km² correspondem a proteção das áreas marinhas e costeiras.

A disponibilidade e diversidade encontradas na América Latina representa um grande potencial para a captura e sumidouro de carbono. Portanto, adotar uma abordagem preventiva e proativa para evitar danos aos ecossistemas é crucial. E para isso é necessário mudar a relação com a natureza e avançar em direção a um futuro mais justo e sustentável, sendo assim, os projetos de carbono azul podem contribuir para os objetivos globais almejados, com a redução dos impactos das alterações climáticas, apoiar a adaptação e garantir resultados sociais, econômicos e ambientais.

Conclusões

Buscou-se identificar a estimativa do potencial do estoque de carbono no ecossistema costeiro de transição, combinando resultados obtidos

na revisão da literatura, obtendo-se um estoque médio de Carbono equivalente de 3,76 bilhões tCO₂eq acumulado ao longo dos anos nas

áreas de mangues somente no Brasil, sendo que 0,6% das emissões de gases de efeito estufa totais são provenientes das perdas deste ecossistema. Para a América Latina e Caribe o potencial ainda é maior, já que os países têm se destacado na conservação da área terrestre e das zonas marinhas e costeiras como áreas protegidas. Segundo Protected Planet (2024), a América Latina e Caribe apresentam 10.552 áreas protegidas, sendo que 5.600.471 km² correspondem a proteção das áreas marinhas e costeiras, justamente onde se encontram os ecossistemas de manguezais com potencial de captura de mais de 8 bilhões tCO₂eq acumulado ao longo dos anos.

A acentuada degradação deste ecossistema, trouxe à tona a importância da proteção e restauração dos manguezais por meio de programas de carbono azul, considerados uma solução viável desde que seja levado em conta, as variações espaciais, gestão sustentável com a participação das partes interessadas, em especial, as comunidades que usufruem destes ecossistemas para sobrevivência.

O período de 2020-2030 é destacado como a Década da Restauração Ecológica dos Ecossistemas, assim como a Década da Ciência e a Década dos Oceanos, de modo a apoiar os esforços para impedir, prevenir ou reverter os danos provocados pela degradação dos ecossistemas em todo o mundo, bem como aumentar a conscientização da importância

da restauração dos ecossistemas. Para alcançar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, é necessário ações imediatas e abordagens multidisciplinares que devem ser implementadas para enfrentar as graves mudanças e perdas nos serviços ecossistêmicos marinhos (Nações Unidas Brasil, 2022), nesse sentido, o programa de carbono azul poderia seguir os parâmetros da estratégia nacional para REDD+ (ENREDD),⁵ conforme sugere estudo (National Geographic, 2024). Outra alternativa para a conservação dos mangues seria a ampliação de áreas protegidas e unidades de conservação marinhas e insulares (Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018: 36).

Sugere-se integrar os manguezais brasileiros nas Contribuições Nacionalmente Determinadas e, posteriormente, utilizá-los no sistema voluntário de crédito de carbono para financiar a preservação das florestas através da iniciativa REDD+. Estudos apontam que evitar a conversão de manguezais em pastagens é equivalente a reflorestar uma área quase 110 vezes maior do que a área degradada de mangues na costa Amazônica, em termos de balanço de emissões e sequestro de gases estufa (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2024).

5 Mais informações sobre a iniciativa estão disponíveis em <http://redd.mma.gov.br/pt/estrategia-nacional-para-redd>

O carbono azul embora negligenciado, atualmente tem como objetivo aumentar a capacidade de restauração e proteção de habitats costeiros e estuarinos, ao mesmo tempo que mitigar os impactos das alterações climáticas. No entanto, para a elaboração dos projetos torna-se necessário avanços em estudos e pesquisas para a construção de portfólios locais para que os projetos levem em consideração

Apesar da sua importância para a mitigação das mudanças climáticas, bem como, para a manutenção da biodiversidade, os entraves para a geração dos créditos de carbono nestes ecossistemas estão atrelados com a incerteza na extensão e nos estoques de carbono, bem como na dificuldade de monitoramento e fonte de financiamento.

Alterações legislativas e introdução do mercado regulado de carbono nos países da América Latina e Caribe podem ser uma alternativa de recursos financeiros para proteção dos manguezais, ao mesmo tempo, que incentivam sua proteção e inclusão de populações vulneráveis na execução de projetos de carbono azul para o desenvolvimento sustentável. No Brasil, a partir do estudo de caso do complexo estuarino Paranaguá, percebe-se que a proteção dos manguezais pode ser uma oportunidade para geração de receitas e prevenção aos impactos das mudanças climáticas. No entanto, dos 1,4 milhão de hectares de manguezais existentes no país, apenas 598.439 hectares estão registrados no Cadastro Nacional de Florestas Públicas, sendo

passível da aplicação da Lei nº 14.590, de 24 de maio de 2023. Não se encontrou dados detalhados referentes aos demais países da América Latina e Caribe, contudo, a área estimada correspondente ao ecossistema manguezais é de mais de três milhões hectares passíveis de implantação de projetos de carbono azul.

Os manguezais não estão incluídos de forma explícita e direta em áreas de proteção citadas como prioritárias para conservação nas metas voluntárias de redução das emissões de gases de efeito estufa, apresentadas pelo Brasil e outros países durante a assinatura do Acordo de Paris. Apesar de estar elencado no artigo 4 da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, como uma das obrigações a promoção da gestão sustentável, bem como promover e cooperar na conservação e fortalecimento, conforme o caso, de sumidouros e reservatórios de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, incluindo a biomassa, as florestas e os oceanos como também outros ecossistemas terrestres, costeiros e marinhos, não se identifica nenhum plano nacional ou diretrizes regionais para a inclusão dos manguezais nas comercializações de mercados de carbono, conseqüentemente os estímulos para a promoção de projetos, recuperação e restauração destes ecossistemas tornam-se longínquos.

O mercado nacional ainda enfrenta barreiras técnicas e políticas, além dos desafios com alto custo de monitoramento, identificação e

mitigação dos fatores a montante da perda de ecossistemas, investimento inicial necessário para projetos de restauração e estimativa (e potencialmente mitigação) do efeito da subida do nível do mar nos ecossistemas existentes. No entanto, espera-se que nos próximos anos sejam realizados investimentos que amadureçam esse processo no mercado interno para incentivar a

preservação do carbono azul por meio dos parâmetros da estratégia nacional para REDD+, o qual oferece incentivos financeiros a países em desenvolvimento para que preservem suas florestas e evitem o desmatamento, resultando na redução das emissões de gases de efeito estufa e contribuindo para a mitigação climática.

Bibliografía

Alvarez, D. de F. (2022). *Muito além do carbono azul: O caso MarVivo na Baía Magdalena (México)*. Tese de mestre. Fundação Getulio Vargas.

Atwood, T. et al. (2017). Padrões globais nos estoques e perdas de carbono no solo dos manguezais. *Nature Climate Change*, 7, 523-528. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>

Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (2021). *Rumo a um mercado de carbono latino-americano*. Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe. <https://www.caf.com/pt/conhecimento/visoes/2021/12/rumo-a-um-mercado-de-carbono-latino-americano/>

Bird, P., Dohl Prolo, C. e Tattarletti, O. (2023). *Resumo dos resultados da COP 27*. LACLIMA. <https://laclima.org/observatorio-do-acordo-de-paris/>

Braga, M., Santos, J., Moro, M. e Branco, M.S. (2024). Manguezais como estoques de carbono. *Caderno de Geografia*, 34(77), 450-469. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2024v34n77p450>

Brasil (2012). *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-*

67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

_____. (2017a). *Decreto nº 9.172, de 17 de outubro de 2017. Institui o Sistema de Registro Nacional de Emissões - Sirene, dispõe sobre os instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima a que se refere o inciso XIII do caput do artigo sexto da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, e altera o decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a referida Política.* https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9172.htm

_____. (2017). *Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016.* https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm

_____. (2022). *Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022. Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.* <https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.075-de-19-de-maio-de-2022-401425370>

_____. (2023). *Lei nº 14.590, de 24 de maio de 2023. Altera a Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, a Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007, que dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, e a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima.* https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14590.htm

_____. (2006). *Lei nº 1.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nos 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências.* https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11284.htm

Caneparo, S.C. (2001). Análise da dinâmica espacial e dos impactos ambientais causados pela ocupação antrópica em áreas de manguezais de Paranaguá Paraná, através de técnicas de geoprocessamento. Em *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 10. Foz do Iguaçu, Brasil.

Comissão Econômica para América Latina e Caribe (CEPAL) (2024). *Anuário Estadístico de América Latina y el Caribe 2020*. CEPAL. <https://statistics.cepal.org/yearbook/2020/index.html?lang=es>

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (2024). *Manguezais do Brasil oferecem alto potencial de redução de emissões de gases estufa*. Agência Gov. <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202403/manguezais-do-brasil-oferecem-alto-potencial-de-mitigacao-de-emissoes-de-gases-estufa-na-zona-costeira>

Escobar, H. (19 de dezembro de 2022). *Recheados de «carbono azul», manguezais ganham destaque no combate às mudanças climáticas*. Jornal da USP. <https://jornal.usp.br/ciencias/recheados-de-carbono-azul-manguezais-ganham-destaque-no-combate-as-mudancas-climaticas/>

Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018). *Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica mapeamento dos sistemas costeiros*. SOS Mata Atlântica e INPE. http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/SOSMA_Atlas-da-Costa_Final.pdf

Gerhardt, T.E. e Silveira, D.T. (Orgs.). (2009). *Métodos de pesquisa*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Global Forest Watch (2019). *Mangrove Forests*. Global Forest Watch. <https://data.globalforestwatch.org/documents/d9bad342fe4846ecb83fc72b0e1fffe7/about>

Gomes, M.A.F. e Pereira, L.C. (2011). *Áreas frágeis no Brasil: Subsídios à legislação ambiental*. Documentos 87. Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48747/1/documentos-87.pdf>

Gomes, M.A.F. et al. (2023). *Importância das áreas protegidas (por lei) no planejamento e gestão ambiental sustentáveis, Brasil*. Embrapa.

Hatje, V. et al. (2023). Vegetated Coastal Ecosystems in the Southwestern Atlantic Ocean are an Unexploited Opportunity for Climate Change Mitigation. *Commun Earth & Environment*, 4(160), (2023).

<https://doi.org/10.1038/s43247-023-00828-z>

Hernández Solano, J. (2017). *Efeito das mudanças climáticas na decomposição de matéria orgânica e sucessão ecológica em manguezais*. Tese de mestre. Universidade de São Paulo.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) (2018). *Atlas dos Manguezais do Brasil*. ICMbio. https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/atlas-1/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). Summary for Policymakers. Em Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (Eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report* (pp. 1-42). IPCC.

Jakovac, C.C. et al. (2020). Costs and Carbon Benefits of Mangrove Conservation and Restoration: a global analysis. *Ecological Economics*, 176, 106758. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106758>

Kauffman, J.B. e Donato, D.C. (2012). Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. *Working Paper 86*. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/WP86CIFOR.pdf

Kauffman, J.B., Hernández Trejo, H., García, M.C., Heider, C. e Contreras, W.M. (2016). Carbon Stocks of Mangroves and Losses Arising from their Conversion to Cattle Pastures in the Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology Management*, 24, 203-216.

<https://doi.org/10.1007/s11273-015-9453-z>

Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (LAGEAMB) (2021). *Saúde dos Manguezais de Paranaguá: um olhar sobre os bosques antropizados*. LAGEAMB e Universidade Federal do Paraná. https://lageamb.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2019/05/cadernoManguezal_LAGEAMB_UFPR_2021-compactado.pdf

Marconi, M. de A. e Lakatos, E.M. (2022). *Metodologia científica*. Grupo GEN e Atlas.

Mariano Neto, M. e Silva, J.B. da (2023). Estimativas dos estoques de carbono em ecossistema de manguezal no Brasil: Uma revisão. *Geoambiente On-line*, 45.

Mesquita, J.L. (2 de dezembro de 2022). *Manguezais do Brasil e o carbono azul, oportunidade que não podemos perder*. Estadão. <https://marsemfim.com.br/manguezais-do-brasil-e-o-carbono-azul/>

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) (2015). *Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência. Setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas*. Ministério da Ciência e Tecnologia. https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario3/rr_lulucf_mudanca_de_uso_e_floresta.pdf

Ministério da Economia (28 de dezembro de 2022). *Governo edita MP que permite a comercialização de créditos de carbono em concessões florestais*. Ministério da Economia. <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2022/dezembro/governo-edita-mp-que-permite-a-comercializacao-de-creditos-de-carbono-em-concessoes-florestais>

Ministério do Meio Ambiente (2024). *Portal Dados Abertos*. Ministério do Meio Ambiente. <https://dados.mma.gov.br/>

_____. (2014). *REDD+ Na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima*. Ministério do Meio Ambiente. <http://redd.mma.gov.br/images/publicacoes/reddnotainformativa-04-reddnaunfcc.pdf>

Nações Unidas (26 de julho de 2022). *Dia Internacional para Conservação dos Manguezais destaca impacto do clima*. ONU News <https://news.un.org/pt/story/2022/07/1796462>

Nações Unidas Brasil (5 de setembro 2022). *Década para a Restauração de Ecossistemas: “É hora de unir esforços”*. Nações Unidas Brasil <https://brasil.un.org/pt-br/197897->

d% C3% A9cada-para-restaura% C3% A7% C3% A3o-de-ecossistemas- % E2% 80% 9C% C3% A9-hora-de-unir-esfor% C3% A7os%E2%80%9D

_____. (26 de julho de 2023). *Dia Internacional para Conservação dos Manguezais*. Nações Unidas Brasil <https://brasil.un.org/pt-br/240340-dia-internacional-para-conserva%C3%A7%C3%A3o-dos-manguezais>

National Geographic (4 de março de 2024). *Os manguezais do Brasil representam bancos de carbono azul inexplorados, afirma novo estudo dos Exploradores da National Geographic*. National Geographic. <https://news.nationalgeographic.org/os-manguezais-do-brasil-representam-bancos-de-carbono-azul-inexplorados-afirma-novo-estudo-dos-exploradores-da-national-geographic/>

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdés, L., de Young, C., Fonseca, L. e Grimsditch, G. (Eds.). (2009). *Blue Carbon. The Role of Healthy* United Nations Environment Programme, GRID-Arendal. <https://www.grida.no/publications/145>

Protected Planet (2024). *Protected Areas*. Protected Planet. www.protectedplanet.net

Rovai, A.S., Twilley, R.R., Worthington, T.A. e Riul, P. (2022). Brazilian Mangroves: Blue Carbon Hotspots of National and Global Relevance to Natural Climate Solutions. *Frontiers In Forests And Global Change*, 4, 1-11. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.787533>

Santos, N.M. dos (2013). *Os manguezais do complexo estuarino de Paranaguá: Variações inter décadas, distribuição da biomassa aérea e formas de uso da madeira*. Dissertação. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia.

Sistema Nacional de Florestas Públicas (2016). *Cadastro Nacional de Florestas Públicas – Painel interativo 2016*. <https://snif.florestal.gov.br/en/component/content/article/139-gestao-florestal/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/440-painel-interativo-4b?Itemid=&tipo=tableau>

Sistema Nacional de Informações Florestais (2023). *Florestas no Brasil*. <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/os-biomas-e-suas-florestas#:~:text=A%20%C3%A1rea%20de%20floresta%20do,apenas%20%25%20s%C3%A3o%20florestas%20plantadas>

Unesco (2022). *Dia Internacional para a Conservação do Ecossistema de Manguezais*. Unesco. <https://www.unesco.org/pt/node/66733?hub=66903>

Universidade Federal do Espírito Santo (5 de novembro de 2021). *Mudanças climáticas causam perda de 20% do estoque de carbono de mangue capixaba*. Universidade Federal do Espírito Santo. <https://www.ufes.br/conteudo/mudancas-climaticas-causam-perda-de-20-do-estoque-de-carbono-de-mangue-capixaba#:~:text=Os%20mangues%20t%C3%A3o%20despertado%20grande,a%20caatinga%20e%20o%20cerrado>

Verra. (s.d.). Verified Carbon Standard. Verra. <https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/>

Vida Manglar (2023). *Vida Manglar*. Vida Manglar. <https://vidamanglar.co/indexEn.html#proyecto>

Vila Nova, F.V.P., Torres, M.F.A., Coelho, M.P. e Santana, M.N.G. de (2013). Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada no monitoramento dos manguezais: Litoral sul de Pernambuco-Brasil. *Revista Geografares*, 15, 36-67. <https://doi.org/10.7147/GEO15.5665>

World Meteorological Organization (2020). *State of Climate Services: Risk Information and Early Warning Systems*. WMO.

World Rainforest Movement (2014). «Carbono Azul» e «REDD Azul» transformando os territórios marinho-costeiros em mercadoria. World Rainforest Movement. https://www.wrm.org.uy//pt/files/2014/11/Carbono_Azul_e_REDD_Azul.pdf