



Análise Bibliométrica dos Serviços Ecossistêmicos dos Solos de Planícies Costeiras¹

Léya Jéssyka Rodrigues Silva Cabral², Gustavo Souza Valladares³

2) Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA/UFPI. Av. Universitária, 1310 - Ininga, Teresina - PI, 64049-494, Email: leyarodriguescabral@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7141-9210>); (3) Professor Associado da Universidade Federal do Piauí, CCHL/UFPI, Campus Universitário Ministro Petrônio Portella s/n - Ininga, Teresina - PI, 64049-550 Email: valladares@ufpi.edu.br (<https://orcid.org/0000-0002-4884-6588>).

Artigo recebido em 11/06/2025 e aceito 06/03/2023

RESUMO

Solos de ambientes costeiros são fundamentais devido à sua relevância ambiental, econômica e social. Neste contexto, os serviços ecossistêmicos do solo surgem como uma ferramenta estratégica para compreender os diversos benefícios que esses ecossistemas fornecem. O objetivo desta pesquisa é realizar uma análise bibliométrica sobre os serviços ecossistêmicos dos solos de planícies costeiras em escala global, com um marco temporal de 2020 a 2025, através das bases de dados Web of Science e Scopus, englobando os diferentes ambientes costeiros. A metodologia consiste em uma busca de artigos científicos através de uma sequência de *string* padrão para as bases de dados Web of Science e Scopus, com uma chave temporal de seis anos, para que englobasse artigos entre os anos de 2020 a abril de 2025. A análise de união e retirada de duplicidade foi realizada pelo software R, utilizando o ambiente RStudio. Ao final, foram encontrados 232 artigos de acordo com a temática dos serviços ecossistêmicos dos solos. Foram discutidos artigos com maiores números de citações dentro da comunidade acadêmica, bem como identificação de produções com autorias ou coautorias nacionais. A análise da pesquisa revelou o crescimento da temática de serviços ecossistêmicos dos solos e como o termo *Blue Carbon* está em ascensão nos diferentes âmbitos de pesquisa. Importante ressaltar a gama de estudos que englobam os solos, bem como a sua interdisciplinaridade, na busca para esta análise bibliométrica. A pesquisa reitera a importância de uma universalização dos termos serviços ecossistêmicos dos solos, já que é visível um crescimento da produção acadêmica mundialmente, refletindo uma ausência de consenso conceitual entre os pesquisadores.

Palavras-chaves: ambientes costeiros, função do solo, sequestro de carbono

Bibliometric Analysis of Soil Ecosystem Services in Coastal Plains

ABSTRACT

Soils in coastal environments are fundamental due to their environmental, economic, and social relevance. In this context, soil ecosystem services emerge as a strategic tool for understanding the various benefits these ecosystems provide. The objective of this research is to carry out a bibliometric analysis of soil ecosystem services in coastal plains on a global scale, within the time frame from 2020 to 2025, using the Web of Science and Scopus databases and encompassing the different coastal environments identified in the literature. The methodology consists of a search for scientific articles using a standard string sequence for the Web of Science and Scopus databases, with a six-year temporal framework covering articles published from 2020 to April 2025. The process of merging records and removing duplicates was carried out using the R software within the RStudio environment. In the end, 232 articles related to the topic of soils ecosystem services were identified. The most highly cited articles within the academic community were discussed, as well as publications involving Brazilian authorship or co-authorship. The analysis revealed the growth of the soil ecosystem services theme and showed how the term *Blue Carbon* has been gaining prominence across different research fields. It is important to highlight the wide range of studies involving soils, as well as their interdisciplinarity, within the scope of this bibliometric analysis. The research reiterates the importance of standardizing the terminology related to soil ecosystem services, since there is a clear increase in academic production worldwide, reflecting the absence of conceptual consensus among researchers.

Keywords: coastal environments, soil function, carbon sequestration

Introdução

A natureza e as propriedades dos solos têm sido fatores decisivos no desenvolvimento cultural e econômico das civilizações. Seu desenvolvimento pode ser entendido por dois estágios fundamentais. Primeiramente de forma empírica, ligados à produção de pigmentos, para serem usados em cerâmicas, pinturas rupestres e artesanato, e com sua evolução voltadas as práticas agrícolas. O segundo mais recente atrelado a necessidade do estudo e interpretação, passando-se a tirar conclusões sobre funções do solo, fundamentados na experimentação e aplicação do método científico, permitindo desenvolvimento da agricultura. (Kampf e Curi, 2012; Lepsch, 2021).

O processo de formação do solo é lento e gradual, assim como muitos habitats e ecossistemas. Estes, por sua vez, estão sob forte pressão devido as diversas atividades antropocêntricas. A quase exclusão da importância e do valor dos ecossistemas e dos recursos como os solos na tomada de decisões econômicas intensifica as pressões de degradação (Kampf e Curi, 2012; Lepsch, 2021)..

Os serviços ecossistêmicos (SE) são definidos como os benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas, incluindo bens e processos que sustentam a vida e o bem-estar, como produção de alimentos, regulação do clima, ciclagem de nutrientes e valores culturais. Essa ideia ajuda a mostrar que a natureza não apenas existe como suporte físico, mas também desempenha funções essenciais para a sociedade (MEA, 2005).

E dentro da temática de SE temos os serviços ecossistêmicos (SE) dos solos sendo amplamente adotados pelos cientistas, organizações não governamentais e governos, assim como ganhando impulso e aceitação, proporcionando múltiplos benefícios aos seres humanos. No entanto, até o momento, ainda não há consenso sobre uma estrutura abrangente para sua classificação e valoração econômica. (Jónsson et al., 2016).

A maioria dos processos ecossistêmicos, tanto em ecossistemas naturais quanto manejados, tem o solo como centro regulador crítico e dinâmico. O solo não apenas abriga uma grande proporção da biodiversidade da Terra, mas também fornece o substrato físico para a maioria das atividades humanas (Barrios et al., 2007).

A degradação acelerada dos recursos naturais é fruto da dinâmica do uso e cobertura das terras, manejo inadequado do solo, da água e da biodiversidade, sendo motivo de preocupação mundial nas últimas décadas. A conversão de

florestas para agricultura e pecuária, além do processo de urbanização e industrialização, vem impactando negativamente os ecossistemas terrestres e aquáticos (Dominati et al., 2010).

No meio rural, desmatamentos, práticas agropecuárias inadequadas e o uso indiscriminado de agroquímicos têm levado à degradação dos solos, poluição das águas, perda da biodiversidade, entre outros impactos. Esses processos têm comprometido o funcionamento e a regulação naturais do meio ambiente e, consequentemente, a capacidade deste em suprir os SE (Dominati et al., 2010).

O aumento da população intensificou o uso dos solos, sendo necessária a adoção de métodos mais eficientes para expansão de fronteiras agrícolas, ao crescimento urbano e as mudanças do uso e cobertura das terras. Essas explorações acabam levando a alterações das propriedades, funções e SE dos solos, transformando-os em solos degradados (Baveye et al., 2016; Dominati et al., 2010).

O estudo dos SE, embora relativamente recente, ganhou uma repercussão mundial. Contudo, o estudo dos SE dos solos, substrato básico para muitos ecossistemas e atividades humanas, têm sido considerados uma caixa preta nestes enquadramentos, porque o seu foco está no que acontece acima do solo. E que uma das principais dificuldades na construção de um quadro coerente para os SE dos solos é a confusão criada pela utilização de diferentes terminologias emprestadas de pelo menos três disciplinas: ecologia, economia e ciência do solo (Dominati et al., 2010).

Solos saudáveis fornecem SE a nível global e são importantes para o funcionamento dos ecossistemas terrestres. A saúde e a produtividade dos recursos terrestres globais estão diminuindo, enquanto a demanda por esses recursos está aumentando. Estima-se que as ameaças mais significativas das funções do solo em uma escala global sejam a erosão do solo, a perda de carbono orgânico e o desequilíbrio dos nutrientes (Cowie et al., 2018; Montanarella et al., 2016).

Abordar a temática dos SE dos solos evidencia a importância do solo para o bem-estar humano, contribui para melhoria do diálogo entre a ciência e a tomada de decisões e incentivam a tradução dos resultados científicos em políticas públicas. Pois esses serviços correspondem aos benefícios gerados pelos solos a partir de suas propriedades, funções e processos, contribuindo para atender necessidades humanas e para manter o funcionamento dos ecossistemas. (Dominati et al., 2010; Rodrigues et al., 2021).

Quando destacamos a planície costeira,

enquadrando todos seus ambientes, destacamos a sua elevada relevância ecológica por se tratarem como zonas de transição entre os sistemas terrestres e marinhos, abrigando ecossistemas altamente dinâmicos e produtivos. Nesses ambientes, os solos exercem papel fundamental na provisão de serviços ecossistêmicos, atuando no sequestro e armazenamento de carbono, na ciclagem de nutrientes, na manutenção da biodiversidade e na proteção da linha de costa (Arkema et al., 2024; Ferreira et al., 2024).

Além disso, manguezais, apicuns, pradarias marinhas e planícies de maré têm sido reconhecidos como importantes ecossistemas de *blue carbon*, em razão da elevada capacidade de acumular carbono em solos alagados e pouco oxigenados. Apesar dessa relevância, esses ambientes encontram-se sob crescente pressão de mudanças no uso da terra, expansão aquícola e agrícola, urbanização, erosão costeira e elevação do nível do mar, fatores que comprometem a estabilidade dos solos e a manutenção de seus serviços ecossistêmicos (Arkema et al., 2024; Ferreira et al., 2024; Hu et al., 2024; Maxwell et al., 2024).

A análise bibliométrica toma espaço na comunidade acadêmica por ser definida como uma abordagem quantitativa e sistemática, voltada à identificação de padrões de publicação, tendências temáticas, impacto por citações e estruturas intelectual, social e conceitual de um campo de pesquisa (Öztürk et al, 2024; Passas, 2024; Hoang, 2025).

Sua relevância para a ciência tem crescido devido ao rápido aumento de publicações em periódicos, congressos e outros veículos de publicação nos últimos anos, tornando a leitura tradicional defasada, enquanto a bibliometria permite organizar grandes números documentais, reconhecer autores, periódicos, países e temas centrais, além de evidenciar lacunas e frentes emergentes de investigação. Por isso, ela tem sido considerada uma ferramenta metodológica robusta para compreender a evolução do conhecimento e apoiar agendas de pesquisa mais consistentes e transparentes (Öztürk et al, 2024; Passas, 2024; Hoang, 2025).

De modo geral, a análise bibliométrica é conduzida a partir de etapas: definição do tema e da estratégia de busca, seleção das bases de dados, chave temporal, exportação dos registros, limpeza e padronização dos metadados, remoção de duplicidades e, por fim, aplicadas análises que permitem identificar a produção científica de uma área, os autores mais influentes, os trabalhos mais citados, as redes de colaboração, palavras-chaves, países e universidades com maiores publicações

(Donthu et al, 2021; Lim et al, 2024).

Para essa finalidade, destaca-se o pacote *bibliometrix*, operacionalizado em ambiente RStudio, por meio do software R, bem como sua interface gráfica *biblioshiny*, por oferecer suporte à importação e combinação de dados de bases como Web of Science e Scopus, além de possibilitar análises bibliométricas e visualizações de forma estruturada e transparente. Assim, o uso do *bibliometrix* amplia a confiabilidade analítica e fortalece a bibliometria como instrumento de avaliação e síntese do conhecimento científico (Aria, 2017; Lim et al, 2024).

Diante de todas as afirmativas e o crescimento sobre o estudo dos SE dos solos, é essencial entender como essa área tem evoluído em toda comunidade científica. Nesse sentido, uma análise bibliométrica torna-se relevante por permitir identificar tendências, lacunas, temas emergentes e os principais destaques científicos envolvidos nessa agenda de pesquisa.

Assim a pesquisa tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sobre os SE dos solos de planícies costeiras em escala global, com um marco temporal de janeiro de 2020 a abril de 2025, através das bases de dados Web of Science e Scopus englobando os diferentes ambientes costeiros encontrados. Além da pesquisa quantitativa e exploratória será realizada uma análise dos dez artigos mais citados, com o intuito de identificarmos quais termos e contribuições estão sendo realizadas sobre os SE dos solos de planícies costeiras, além da identificação de produções com autorias ou coautorias brasileiras.

Material e métodos

A pesquisa caracteriza-se como uma análise bibliométrica de abordagem quantitativa, voltada para a identificação de padrões de publicações, temas recorrentes e tendências da produção científica sobre serviços ecossistêmicos em diversos ambientes costeiros. O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da base de dados Web of Science (WoS) e Scopus através do Portal de periódicos da Capes, acessando o CAFE (Comunidade Acadêmica Federada), que permite acesso a recursos e serviços digitais através de login institucional.

A estratégia inicial foi definida a partir de pesquisas sobre os termos que englobassem o tema da pesquisa: SE dos solos em planícies costeiras, por meio de buscas bibliográficas preliminares, além de buscas com variantes ortográficas de termos aplicados na região, bem como termos em inglês que se encaixassem na pesquisa (Tabela 1).

Embora a pesquisa tenha partido do

interesse nos serviços ecossistêmicos dos solos em planícies costeiras, é importante reiterar a contemplação dos diferentes ambientes costeiros associados, como manguezais, estuários, marismas, apicuns, uma vez que a literatura internacional aborda esses sistemas de forma

integrada. Dessa forma, o estudo adotou um recorte abrangente de ambientes costeiros, permitindo melhor representação da produção científica sobre os serviços ecossistêmicos dos solos nesse conjunto de ecossistemas.

Tabela 1- Definição dos termos através de pesquisas sobre a temática

Conceito	Termos relacionados (sinônimos ou equivalentes)
Serviços Ecossistêmicos	Ecosystem services, ecosystem functions, soil ecosystem services.
Solo	Soil, soil functions, soil processes.
Área	Coastal, coastal zone, coastal area, coastal environment, coastal ecosystem, coastal plain.
Ambientes costeiros	Mangrove, salt marshes, tidal salt marshes, tidal flat, estuary.

Fonte: Autores, 2025

Através da combinação desses termos, desenvolvemos uma sequência de *strings* padrão para as bases de dados Web of Science e Scopus, com uma chave temporal de seis anos, para que englobasse artigos entre os anos de 2020 a abril de 2025 (data em que a base de dados foi consultada). A delimitação temporal foi adotada com o objetivo de atualização do panorama literário, em relação aos estudos de Rodrigues (2021), que realizou uma revisão sistemática dos SE do solo em regiões tropicais até o ano de 2019.

Dentro da temática procuramos selecionar

palavras-chaves a partir da Tabela 1, o (*) funciona como um truncamento de busca, que permite pesquisar todas as derivações da palavra raiz, ampliando ainda mais o resultado da pesquisa. Na base de dados WoS, a pesquisa é realizada por tópico (TS), onde a filtragem das palavras-chaves é buscada no título, resumo, palavra-chave plus (palavras definidas pela base de dados) e palavras-chave do autor, o mesmo se aplica para Scopus, porém sua seleção não é definida como TS e sim (TITLE-ABS-KEY) por fim o *string* definida abaixo:

("ecosystem service" OR "ecosystem function*" OR "soil ecosystem service*") AND ("soil*" OR "soil function*") AND ("coastal" OR "coastal plain*" OR "coastal zone" OR "coastal area" OR "coastal environment") AND ("mangrove*" OR "salt marshes" OR "tidal marshes" OR "tidal flat" OR "estuary*")*

A pesquisa foi realizada nas bases de dados através dos mecanismos de buscador simples. A busca por palavras em português não foi utilizada, pois as bases de dados já selecionam artigos em diferentes línguas. Como critério de exclusão foram retirados trabalhos repetidos, temática fora da problemática estudada, trabalhos com anos inferiores a 2020 e trabalhos tidos como revisão.

Ao selecionar a procura de artigos na base de dados da Scopus (Elsevier), inicialmente encontramos um total de 195 artigos, através dos

filtros “tipo de documento”, na própria revista é possível selecionar apenas artigos. Nesta busca de dados geral a base de dados armazena artigos, capítulos de livros, revisões de literatura e artigos de conferências.

Selecionando somente em artigos, tivemos um resultado de 166 produções. Na WoS, tivemos um total de 201 artigos encontrados, com o mesmo tipo de filtragem de documentos, tivemos um total de 185 arquivos do tipo artigos (Figura 1).

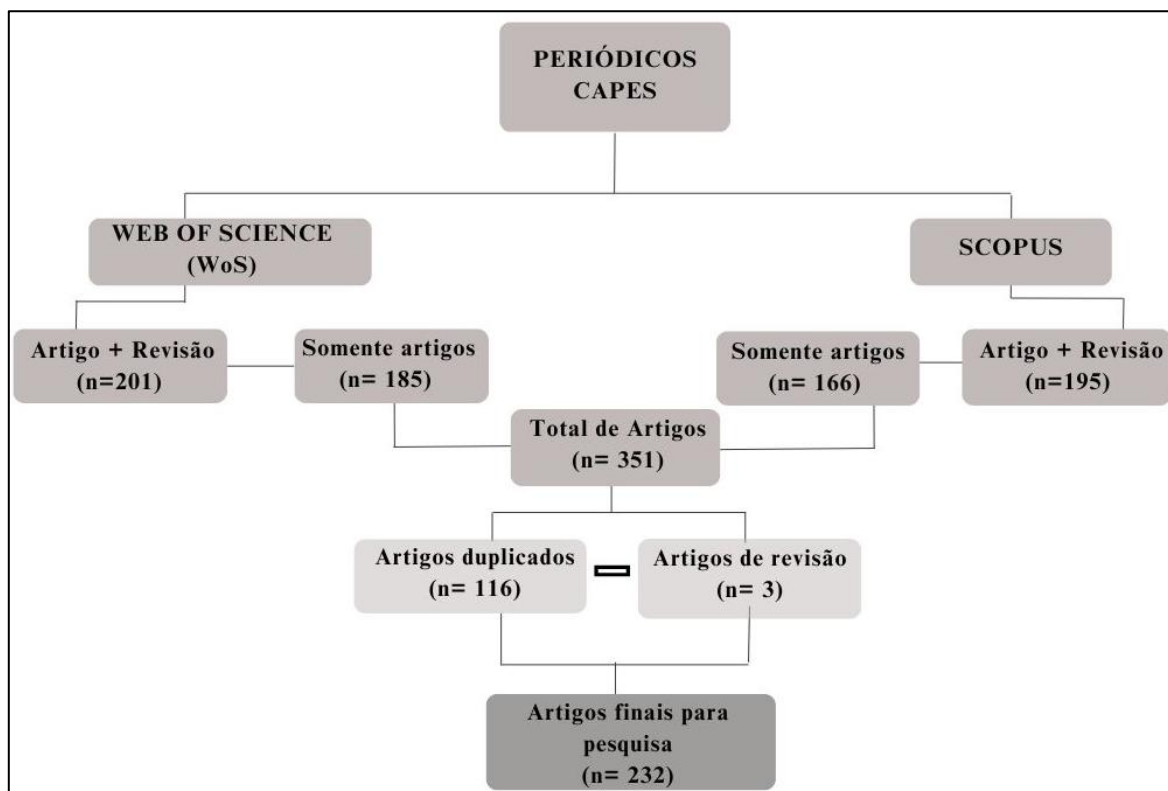


Figura 1- Fluxograma de análise bibliométrica

Fonte: Autores (2025)

O total de artigos (n=351), foram exportados em formato de arquivo “.csv” (texto separado por vírgulas, em português), para os arquivos do Scopus e txt (texto sem formatação). Para a WoS, a distinção dos arquivos se dá devido a diversas tentativas com erros no ambiente RStudio. Nestes arquivos contam com as informações de citações bibliográficas, as referências, o resumo dos artigos, palavras-chaves, ano de publicação, revista publicada, total de citações, o DOI (*Digital Object Identifier*), língua que o artigo foi escrito e instituições que os autores estão lotados ou estudam.

Foi desenvolvido um *script* com o auxílio de Pereira (2022), e rodado no ambiente de desenvolvimento integrado RStudio, através da linguagem de programação R versão 4.5.0 (R Core

Team, 2025). No ambiente RStudio utilizou-se o pacote *Bibliometrix*, proposto para realizar análises abrangentes de mapeamento científico (Aria; Cuccurullo, 2017).

Como etapa inicial os arquivos exportados das bases Web of Science, Scopus, foram convertidos através do primeiro comando com a expressão “convert2df”, este comando é usado para converter os dados brutos em uma data frame estruturado no R, que pode então ser analisado com as funções do pacote. Logo após realizada um comando de união e remoção das referências duplicadas.

Os dados finais foram então salvos em um arquivo no formato “.csv”, o qual pode ser facilmente convertido em uma planilha para ser usada no próximo passo (Quadro 1).

Quadro 1: Script para a conversão de dados, união e remoção de duplicidades dos dados.

```

install.packages ("bibliometrix")
library (bibliometrix)
Scpus <- convert2df("scopus.csv", dbsource = "scopus", format = "csv")
wos <- convert2df("savedrecs.txt", dbsource = "wos" , format = "plaintext")
U <- mergeDbSources (Scpus, wos, remove.duplicated = TRUE
write.table(P, "dadosgeralse1.csv", sep = ";", row.names = FALSE)

```

Fonte: Adaptado de Pereira (2022).

Com os dados baixados foram realizados

uma conferência dos dados, partindo dos critérios

de inclusão dos artigos na base de dados considerados (a) artigos que se enquadrassem nos ambientes costeiros; (b) artigos que focassem nos solos; (c) artigos que os SE e solos estivessem relacionados, mesmo que com expressões distintas, onde foram encontrados três artigos de revisão e

estes foram excluídos, conforme Figura 1. Com o total de 232 artigos, levamos o arquivo “.csv” novamente par o RStudio, onde foi possível transformar o arquivo em “.rds” (Quadro 2).

Quadro 2: Script para a salvar dados em “.rds” e carregar os dados para leitura no bibliometrix.

```
saveRDS(dados, file = "dados_bibliometrix.rds")
dados <-readRDS("dados_bibliometrix.rds")
biblioshiny()
```

Fonte: Adaptado de Pereira (2022).

Com a leitura dos dados em “.rds” é possível abrir a planilha na interface gráfica com extensão na web, o biblioshiny (Quadro 2), pacote do *Bibliometrix*, capaz de gerar gráficos e tabelas a partir de dados desenvolvidos no RStudio. Na extensão foram criados gráficos com o número de publicações por países e anos; e quais países estão mais ativos sobre a temática; periódicos com maiores números de publicações; criação de nuvem de palavras com os tópicos mais frequentes. Os dados encontrados nessa linguagem gráfica serão apresentados no item a seguir.

Resultados

Com os resultados apresentados é possível perceber o crescimento sobre a temática de SE dos solos, de 2020 a 2025 de forma gradual (Figura 2), com 44 artigos publicados em 2020 e 2021, um declínio em 2023, porém com crescimento de aproximadamente 38% em 2024, em relação ao ano anterior com 50 publicações.

A baixa aparente do ano de 2025, é justificada devido a pesquisa ter sua base de dados consultada até abril do referente ano. Esse crescimento se remete a uma tendência mundial e o interesse pela comunidade acadêmica sobre a temática o estudo dos solos.

Autores relatam que os solos estão sobre ameaças a nível global ,ligados a degradação dos solos, devido a maior procura de alimentos, rações e fibras, ocasionando uma pressão sobre os recursos do solo e da terra, contaminação e

impermeabilização do solo, através de crescimento acelerados de centros urbanos e infraestrutura; erosão dos solos, poluição química e lixiviação. (FAO, 2015; FAO, 2021; Mason et al., 2023).

Os 232 artigos foram publicados em 117 periódicos distintos, em diferentes regiões, em escala global. A Figura 3, representa os principais periódicos com artigos relacionados a temática no período temporal definido, tendo o periódico Science of the Total Environment (STOTEN) com o maior número de publicações.

O periódico apresenta uma temática multidisciplinar de ciências naturais, de pesquisa científica sobre o meio ambiente e sua relação com a humanidade. Com fator de impacto de 8.2 (JCR 2023) e um CiteScore de 17,6, o periódico apresenta grande relevância acadêmica mundial.

Dos 25 artigos citados no periódico, todos seguem o mesmo tema central ligadas aos SE dos solos e ambientes costeiros com foco principal em estoque e sequestro de carbono (Eagle et al., 2022; Lewis et al., 2021; Walden et al., 2024), a interação do solo e comunidades microbianas (Chen et al., 2023), dinâmica dos nutrientes dos solos (Mozdzer et al., 2020; Mozdzer et al., 2021; Hu et al., 2023), *blue carbon* e mudanças climáticas e gradientes ambientais (Young et al., 2021; Perera et al., 2022; Nuyts et al., 2024), bem como degradação de manguezais e formas de restaurações (De et al., 2023; Thomson et al., 2024) e contaminação tanto por metais pesados como por compostos orgânicos (Zeng et al., 2023).

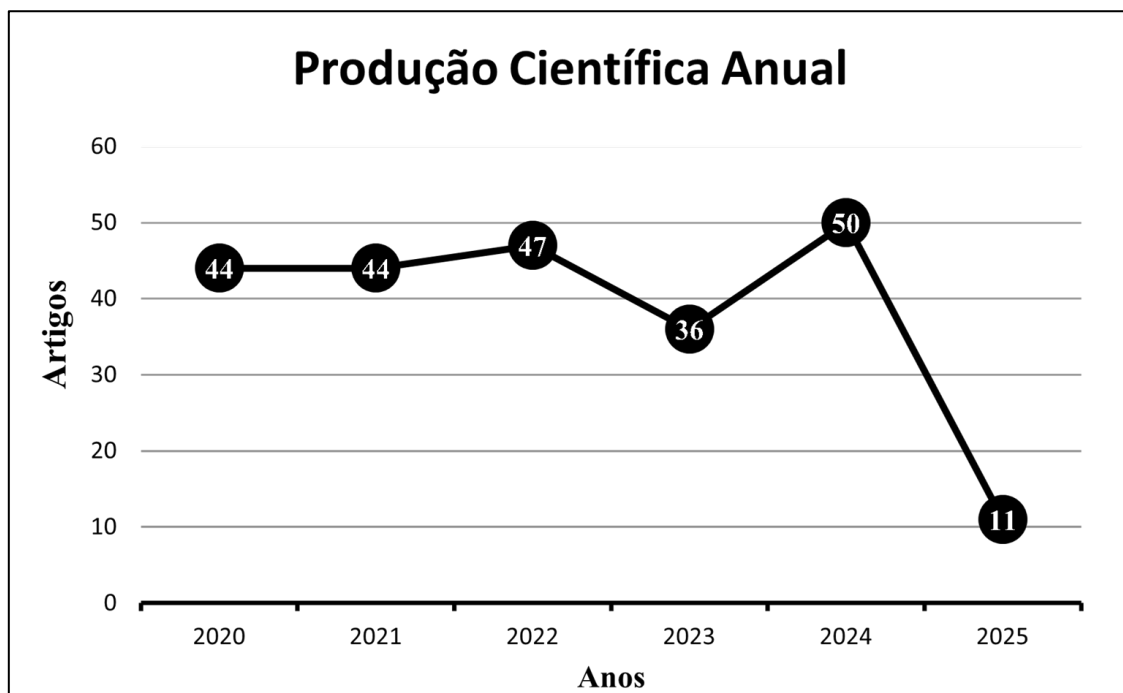


Figura 2 - Produção científica anual Fonte: WoS; Scopus (2025)

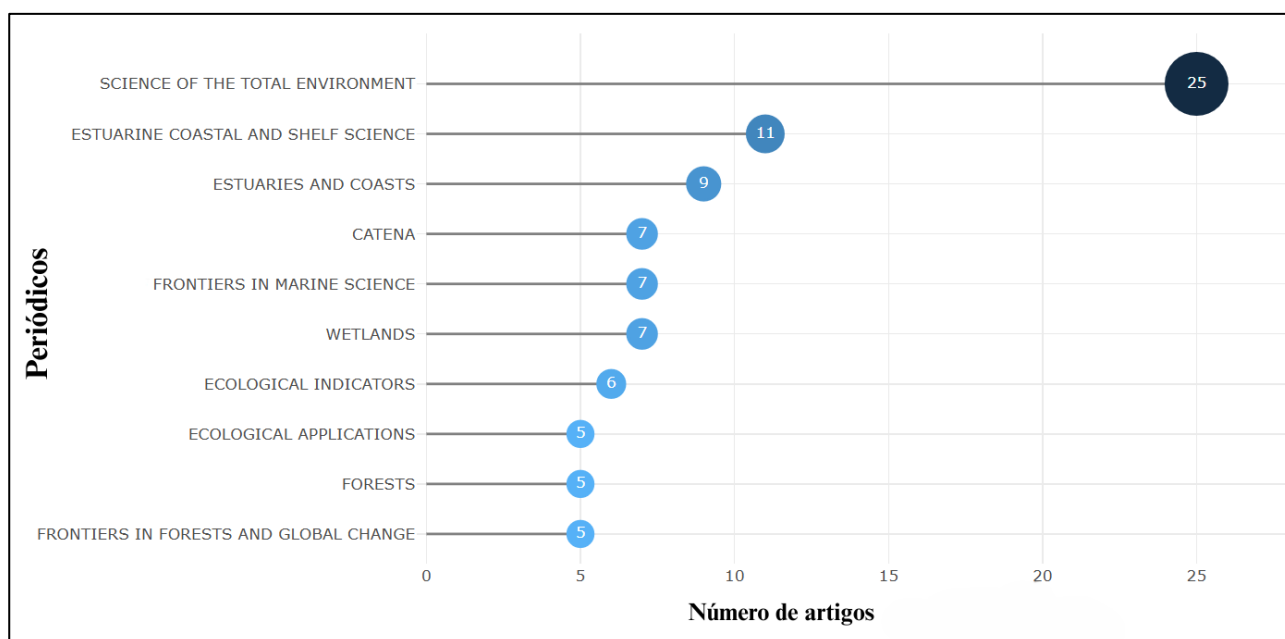


Figura 3: Relevância científica de revistas mundiais sobre a temática de serviços ecossistêmicos dos solos
Fonte: WoS; Scopus (2025)

Quando levamos em comparação os países líderes em pesquisas, temos o total de 39 países com publicações realizadas sobre SE dos solos, tendo de fato as grandes potências mundiais, China com 70 artigos, seguidos dos EUA com 56 artigos (Figura 4).

Logo após temos Austrália com 17 e o Brasil com 8 artigos, essa temática está alinhada as

pautas globais de mudanças climáticas, valoração dos SE e principalmente ao mercado de crédito de carbono. Esse aumento de pesquisa está ligado a investimentos científicos, a melhoria nas infraestruturas de pesquisa e universidades e a colaboração entre os cientistas na busca por compartilhar experiências sobre a temática, através de eventos, publicações e congressos.

Autores expõem que a China é um dos maiores publicadores de artigos sobre a temática e que parte da pesquisa é inacessível a comunidade global por estar escrita em sua língua materna (Constanza e Liu, 2014). Em sua pesquisa (Jiang, 2017) retrata que a pesquisa sobre SE na China tornou-se uma das áreas de rápido crescimento nas últimas décadas, onde o estudo sobre valoração monetária se sobressai.

Os autores ainda relatam que China e EUA, por serem os países de maior produção econômica

e rápido crescimento do PIB, possuem pouca preocupação com externalidades ambientais e sociais, mesmo seguindo protocolos de impactos ambientais (Constanza e Liu, 2014). Na análise geral das publicações é possível perceber a importância de muitos países preocupados com a temática sobre SE dos solos. No Brasil, diversas universidades participam de pesquisas, seja com autoria, como com coautoria em parceria a outros países e universidades.

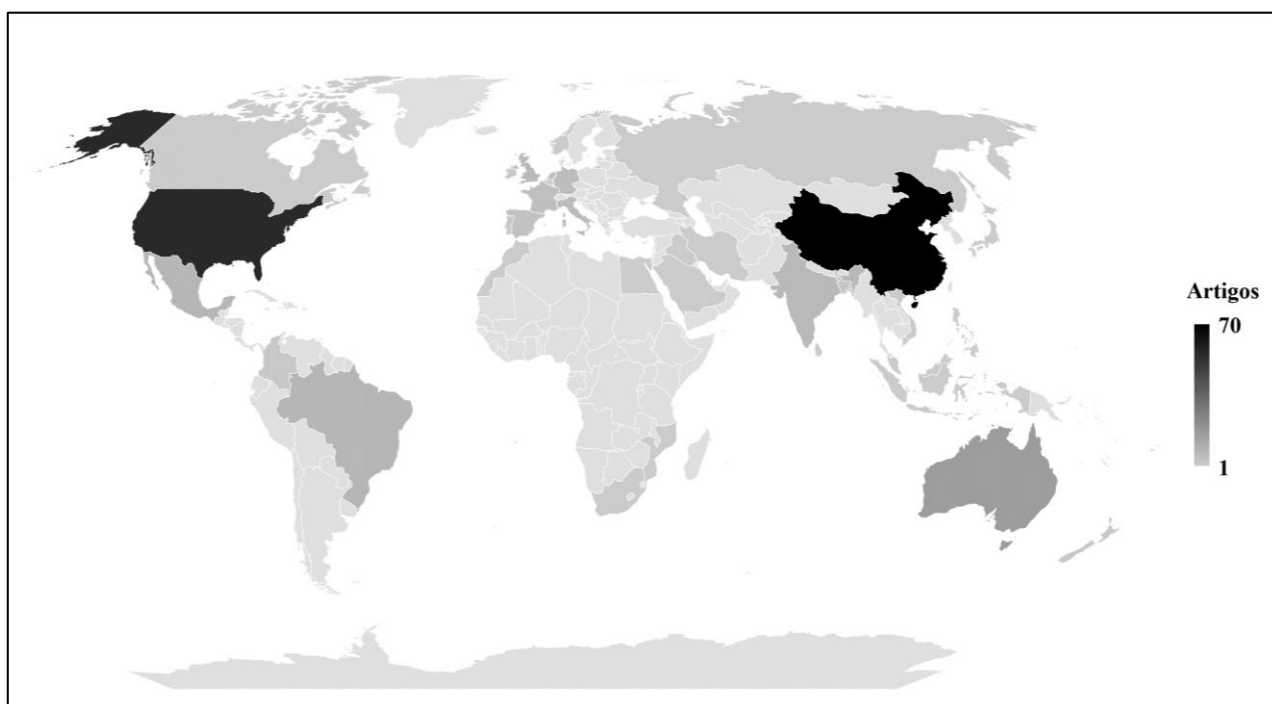


Figura 4: Publicações de artigos sobre a temática de SE dos solos por países
Fonte: WoS; Scopus (2025)

A Figura 5 representa uma nuvem de palavras com as palavras-chaves mais citadas nos 232 artigos estudados. Sua estratégia é ampliar a busca e disseminar a temática da pesquisa em escala global. Os diferentes termos para SE dos solos, como função dos solos, processos de solos, contribuirão para uma melhor indexação dos artigos em diversas bases de dados, refletindo os eixos temáticos abordados em uma posição de trabalho num campo interdisciplinar como a ecologia, as ciências ambientais, agrárias e humanas.

A base de dados expõe dois tipos de palavras-chaves, as palavras-chaves plus, utilizadas como um auxiliar na busca sobre a

temáticas nas bases de dados e as citadas nos artigos pelos autores, da quais utilizamos na Figura 5. No total temos 342 palavras-chaves, inseridas nos 232 artigos. A palavra mais citada foi “*blue carbon*” com 36 repetições em artigos, seguidos de SE, salt marshes e manguezais.

Para as palavras plus da base de dados tivemos os solos como termo mais citado, seguidos por ecossistemas, florestas, carbono e manguezais. Estudos relatam que ecossistemas de *blue carbon*, sequestram e armazenam mais carbono orgânico por unidade/área do que muitos outros ecossistemas vegetados, sendo a maior parte estocada no solo (Russell et al., 2024).

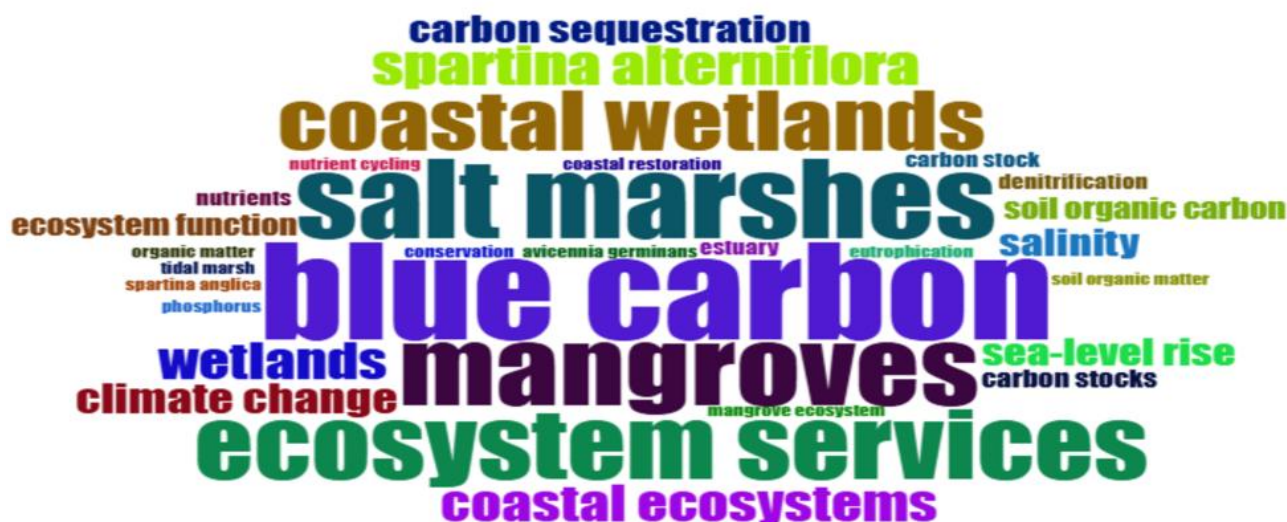


Figura 5: Nuvem de palavras sobre os assuntos mais discutidos dos serviços ecossistêmicos dos solos

Os resultados corroboram que a produção científica sobre os serviços ecossistêmicos dos solos em ambientes costeiros apresenta crescimento recente, com concentração em periódicos principalmente ligados a área ambiental, tendo como forte protagonismo países como China e Estados Unidos, e isso. Observa-se ainda que a literatura recuperada é marcada pela predominância de estudos voltados ao *blue carbon*, ao estoque e sequestro de carbono, à dinâmica de nutrientes e aos manguezais, indicando que os serviços de regulação e suporte se destacam entre os temas mais recorrentes. Esse panorama sugere que o campo vem se consolidando a partir de uma abordagem fortemente associada às mudanças climáticas, à funcionalidade ecológica dos solos e à conservação de ecossistemas costeiros.

Discussão

Procuramos selecionar artigos que englobassem toda a dinâmica da pesquisa, tendo um retorno final de 232 artigos. Com a análise de todos os dados foram selecionados 10 artigos para serem discutidos na pesquisa, o critério dessa seleção foram os artigos com maiores números de citações no decorrer da faixa de tempo proposta na metodologia. Foram inseridas as classes de serviços ecossistêmicos e o tipo de SE dos solos que estes artigos apresentaram, a fim de comprovar que se enquadram na temática da pesquisa, essa

classificação parte de uma adaptação definida pelo modelo metodológico de Haines-Young e Potschin (2018), através da base a classificação CICES (Tabela 2).

Na tabela é possível perceber que a classe que mais se destaca e encontra-se com maior relevância são os serviços de regulação e suporte, voltados para o sequestro e estoque de carbono, formação e manutenção dos solos, e reguladores climáticos.

Grande parte dos trabalhos analisados tem como principal foco o *blue carbon*, devido a pesquisa estar diretamente relacionada a ambientes costeiros. Os manguezais são os principais ecossistemas descritos, devido a sua elevada biomassa, e a forma como essa biomassa, representa o sequestro e estoque de carbono.

Com o artigo com maior número de citações dentro da pesquisa bibliométrica, (Campbell et al., 2022), em “Global hotspots of salt marsh change and carbon emissions”, relatam estudos sobre salt marshes e seus principais pontos críticos através de suas mudanças, relacionadas a perdas, mudanças e recuperação e a emissão de carbono. Sua pesquisa não retrata os SE de forma explícita, porém todo o artigo revela a sua temática sobre os SE dos solos, com foco nas classes de regulação e suporte, quando retrata os serviços de sequestro e estoque de carbono e a proteção dos ambientes costeiros.

Tabela 2 - Classes de SE e o serviço ecossistêmico do solo dos artigos selecionados para a análise.

Referência	Classe de SE	SE do solo	TC*
Campbell et al., 2022.	Regulação e suporte	Sequestro de carbono e estoque de carbono, proteção costeira	112
Huang et al., 2020.	Regulação e suporte	Suporte à regulação da qualidade do solo, regulação biológica, ciclo de nutrientes	80
Adame et al., 2021.	Regulação e suporte / provisão	Sequestro de carbono, regulação da qualidade dos solos, ciclo de nutrientes	77
Lovelock et al., 2023.	Regulação e suporte / provisão	Blue carbon, sequestro de carbono, biomassa	67
Kauffman et al., 2020.	Regulação e suporte / provisão	Blue carbon, sequestro de carbono	56
Zhang et al., 2020.	Regulação e suporte	Nutrição do solo, formação e manutenção dos solos, Regulação do controle de pragas e patógenos	47
Bai et al., 2020.	Regulação e suporte / provisão	Nutrição do solo, formação e manutenção dos solos	47
Ahmed et al., 2022.	Regulação e suporte / provisão	Ecossistema manguezal, nutrição do solo, formação e manutenção dos solos, estoque de carbono, regulação da biota dos solos.	46
Osland et al., 2020.	Regulação e suporte / provisão	Ecossistema manguezal, formação e manutenção dos solos, estoque de carbono. Matéria orgânica e turfa	42
De et al., 2023.	Regulação e suporte	Ecossistema manguezal, manutenção climática, controle de erosão e regulação de enchentes.	42

*TC= total de citações

Fonte: Autores (2025).

A pesquisa retrata que dos anos de 2000 a 2019, houve uma perda de 1.452,84 km², com uma taxa de perda de 0,28% ano⁻¹ causadas por tempestades, erosão costeira e elevação do nível do mar. As perdas globais líquidas resultaram em 16,3 milhões de toneladas de carbono de 2000 a 2019 e uma redução de 0,045 (-0,14–0,115%) e ano⁻¹ de sepultamento de carbono. Rússia e Estados Unidos juntas perderam um total de 64%. Foi estimado o impacto da mudança dos salt marshes no carbono em todo o ecossistema, com perdas globais líquidas resultaram em 16,3 Tg CO₂ e ano⁻¹ de emissões de 2000 a 2019 e uma redução de 0,045 Tg CO₂ e ano⁻¹ de armazenamento de carbono. Demonstrando que a perda global de carbono ainda foi maior do que o ganho.

O segundo artigo “Microbial resistance and resilience in response to environmental changes under the higher intensity of human activities than global average level”, traz a relevância que a comunidade microbiana, responsável pelo serviço de suporte à regulação da qualidade do solo, regulação biológica e os ciclos de nutrientes, que com o aumento das atividades humanas globais, essas comunidades estão sendo drasticamente alteradas e prejudicadas em ecossistemas costeiros subtropicais. Os testes de resistência e resiliência foram testados através de

duas humanas: urbanização e recuperação sob uma intensidade de atividades humanas maior do que a média global, como resultado as comunidades microbianas foram menos resistentes às mudanças ambientais causadas pela urbanização do que àquelas causadas pela recuperação, refletindo nos padrões relacionados ao nitrogênio e carbono. Demonstrando que as comunidades microbianas podem se recuperar a um estado semelhante ao original em um curto período, mesmo sob uma intensidade de atividades humanas maior do que a média global em ecossistemas costeiros (Huang et al., 2020).

O terceiro artigo: Mangroves in arid regions: Ecology, threats, and opportunities, com 77 citações. Enquadra-se na classe dos SE dos solos de regulação e suporte com o serviço de sequestro de carbono, o artigo traz questões sobre os manguezais em regiões semiáridas pelo mundo, entre os problemas enfrentados incluem secas extremas, reduções no aporte de água subterrânea, alterações na hidrologia, flutuações no nível do mar e aumento na carga de nutrientes (Adame et al., 2021).

Os próximos artigos mais citados trazem como destaque da pesquisa o *blue carbon*, presentes em ecossistemas costeiros.

Para Lovelock et al., (2023), em “An

australian blue carbon method to estimate climate change mitigation benefits of coastal wetland restoration”, o *blue carbon* é investigado em zonas úmidas costeiras na Austrália, para estimar os benefícios da mitigação das mudanças climáticas, como forma de apoiar a biodiversidade e fornecer SE adicionais, utilizando dados nacionais e alinhado às diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), através do desenvolvimento de um modelo de contabilização do *blue carbon* (BlueCAM), usado para estimar a redução de fontes e sumidouros de carbono e gases de efeito estufa decorrentes da restauração de zonas úmidas costeiras.

Kauffman et al., (2020), em “Total ecosystem carbon stocks at the marine-terrestrial interface: Blue carbon of the Pacific Northwest Coast, United States”, quantificaram os estoques totais de carbono acima do solo e todo o perfil do solo (até 3 m de profundidade), de ambientes costeiros ao longo de gradientes de elevação crescentes e decrescentes de salinidade.

Os ecossistemas costeiros da América do Norte temperada fornecem uma variedade de SE, onde o estoques de carbono, juntamente com outros serviços ecossistêmicos, sugerem valor na conservação e restauração de áreas úmidas de maré de zona temperada por meio de estratégias de mitigação das mudanças climáticas. No entanto, as descobertas sugerem que os efeitos de longo prazo da elevação do nível do mar, como a inundação das marés e o aumento da salinidade da água, provavelmente diminuirão os estoques de carbono do ecossistema na ausência de zonas de amortecimento de migração de áreas úmidas de encosta.

Zhang et al., (2020) e Bai et al., (2020) trazem em sua temática de pesquisa classe relacionadas a regulação e suporte, com serviços de nutrição, formação e manutenção dos solos, principalmente. Zhang et al (2020), em “Bacterial succession in salt marsh soils along a short-term invasion chronosequence of *Spartina alterniflora* in the Yellow River Estuary, China”, observaram os impactos da invasão de *Spartina alterniflora* nos nutrientes do solo e na composição e estrutura da comunidade bacteriana. Seus resultados exibiram uma mudança ordenada nas propriedades físico-químicas do solo que influencia os processos ecológicos e as funções dos ecossistemas, como o ciclo de nutrientes.

Bai et al. (2020), em “Dynamics of phosphorus fractions in surface soils of different flooding wetlands before and after flow-sediment regulation in the Yellow River Estuary, China”, trazem estudos sobre a dinâmica dos nutrientes dos solos e destaca a importância dessas pesquisas para

as funções dos ecossistemas. Os resultados podem contribuir para o fornecimento de dados básicos sobre frações de fósforo em solos de zonas úmidas estuarinas, e orientar a restauração de água doce e a regulação do fluxo-sedimento para melhorar as funções ecológicas das zonas úmidas estuarinas.

Os três últimos artigos destacam a importância dos SE dos solos em manguezais, com as classes de regulação e suporte; provisão, tendo como os SE dos solos: serviços de nutrição, formação e manutenção dos solos; estoque de carbono, manutenção climática, controle de erosão e regulação de enchentes.

Ahmed et al. (2022), destacam em “Salinity reduces site quality and mangrove forest functions. From monitoring to understanding.” que o aumento da salinidade induzida pelas mudanças climáticas, impede significativamente o crescimento das florestas de mangues e as funções dos ecossistemas, como crescimento e estoques de carbono, e a disponibilidade de nutrientes. Osland et al. (2020) no artigo “Rapid peat development beneath created, maturing mangrove forests: ecosystem changes across a 25-yr chronosequence” desenvolvem pesquisas sobre o rápido desenvolvimento de turfa sob florestas de mangue em uma cronosequência de 25 anos, e que essa velocidade é indicada pelo aumento do nível do mar.

De et al. (2023), “Mangroves in the “Plasticene”: High exposure of coastal mangroves to anthropogenic litter pollution along the Central-West coast of India”, estudam os mangues sobre uma perspectiva de alta exposição dos manguezais costeiros à poluição antropogênica de lixo ao longo da costa centro-oeste da Índia. Os manguezais têm como principal SE dos solos a regulação de enchentes, nesse caso a pesquisa afirma que atualmente os manguezais estão prestando serviços de captação de lixo marinho flutuante e plástico. O plástico dominou 83,02% de todo o lixo depositado no solo da floresta de mangue e 93,4% de todo o lixo emaranhado no dossel do mangue da costa centro-oeste da Índia. O acúmulo de lixo em zonas costeiras é um impacto ambiental de ação antrópica global e determinar a quantidade de lixo e sua provável fonte de entrada é fundamental para mitigar o impacto antropogênico do lixo nos ecossistemas de manguezais, para auxiliar na criação de estratégias adequadas e ações oportunas para o gerenciamento da poluição por lixo marinho e na promoção da conservação dos manguezais.

Artigos com autores brasileiros citados na pesquisa

Na busca pela temática sobre SE dos solos,

foi possível perceber a importância de estudos brasileiros e percebe-se como o país busca está integrado na ideia sobre essa temática, mesmo que de forma discreta. Abaixo na Tabela 3, é possível

destacar os principais autores estão atualmente pesquisando sobre o tema, mesmo que seja em vertente diferentes.

Tabela 3: Artigos com autores brasileiros que estudam sobre a temática de serviços ecossistêmicos dos solos

Referência	Título	Revista	TC*
Rovai et al., 2021	Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil	FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT	38
Bernardino et al., 2022	The novel mangrove environment and composition of the Amazon Delta.	CURRENT BIOLOGY	18
Ward et al., 2023	Vertical accretion rates of mangroves in northeast Brazil: Implications for future responses and management.	ESTUARINE COASTAL AND SHELF SCIENCE	7
Ferreira et al., 2024	How do soil processes control the provision of ecosystem services in coastal wetlands?	ENVIRONMENTAL RESEARCH	5
Barbosa et al., 2021	Padrões Espaciais e Usos da Terra em Manguezais do Delta do Parnaíba.	REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FISICA	3
Rosa et al., 2022	Modelling spatial-temporal changes in carbon sequestration by mangroves in an urban coastal landscape	ESTUARINE COASTAL AND SHELF SCIENCE	2
Nóbrega et al., 2023	Bridging soil biogeochemistry and microbial communities (archaea and bacteria) in tropical seagrass meadows	FRONTIERS IN MARINE SCIENCE	1
Barbosa et al., 2023	Estoques de Blue Carbon como Indicadores da Qualidade Ambiental de Manguezais no Delta Do Parnaíba.	REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FISICA	1
De Medeiros et al., 2020	Anthropic interference in mangrove areas of the Mundaú-Manguaba estuarine lagoon complex (CELMM), Alagoas (Brazil) as a case study		0
Bustamante et al., 2024	Environmental perception of ecosystem services and degrading impacts to the mangrove by the urban population, Babitonga Bay-Brazil.	AMBIENTE E SOCIEDADE	0

*TC= total de citações

Fonte: Autores (2025).

Rovai et al.(2021) pesquisam a combinação de dados publicados e não publicados afim de derivar um inventário sobre estoques de carbono em nível de ecossistema e taxas de sequestro de carbono em manguezais no sistema estuarino da lagoa Cananéia-Iguape, sudeste do Brasil. Os resultados indicam que os manguezais na área de estudo apresentam os maiores estoques de carbono em nível de ecossistema por unidade de área, com 380 (MgC ha⁻¹) megagramas de carbono por hectare, que comparado a outros manguezais brasileiros, os estoques de carbono orgânico do solo representam 70% desse total.

Bernardino et al. (2022) descrevem a

existência de manguezais únicos no Delta do Amazonas, em ambiente essencialmente de maré e de água doce e que mesmo com essas características, provavelmente fornecem serviços ecossistêmicos semelhantes à maioria dos manguezais em todo o mundo, como sequestro de carbono orgânico, proteção dos ecossistemas costeiros contra a erosão e habitats para muitas espécies terrestres e aquáticas.

Ward et al. (2023) discutem os potenciais impactos da elevação do nível do mar sobre os manguezais em três estuários no Nordeste do Brasil. Os resultados apontam que os manguezais urbanos que margeiam o semiárido podem estar

mais ameaçados pela elevação do nível do mar do que outros manguezais na borda marítima, devido a alterações na infraestrutura de suprimento de sedimentos.

Em áreas semiáridas que testemunham diminuição da precipitação, ocasionam estresse hídrico e salino, ocorrendo diminuição no suprimento de sedimentos com as consequentes baixas taxas de acreção vertical pode exacerbar as respostas à elevação do nível do mar e levar à degradação ou perda de manguezais na borda marítima. Em áreas onde a drenagem de grandes conurbações urbanas drena diretamente para áreas de manguezais ou estuários adjacentes, o escoamento de sedimentos de fontes urbanas pode compensar parcialmente outras alterações nos sedimentos disponíveis, porém os manguezais urbanos podem ser estressados como resultado da contaminação por oligoelementos.

Ferreira et al. (2024) ressaltam como os ambientes costeiros (manguezais, pradarias de ervas marinhas e apicuns), nos estados do Ceará (Nordeste do Brasil), Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste do Brasil), Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Sul do Brasil), conhecidos com seus ecossistemas diversos são mal compreendidos e considerados monótonos, onde na verdade sofrem com processos edáficos com erosão, salinização, sedimentação, poluição e desmatamento, acidificação dos oceanos, que acabam influenciando na capacidade desses ecossistemas em fornecer serviços ecossistêmicos do solo.

Os intensos processos de sulfetação e acúmulo de matéria orgânica do solo observados em manguezais evidenciam sua importância para a imobilização de contaminantes e regulação do clima por meio do sequestro de carbono orgânico, em ervas marinhas ressalta sua capacidade de imobilizar contaminantes. Já a calcificação proeminente em apicuns revela seu papel na regulação do clima por meio do sequestro de carbono inorgânico. Esses contraentes revelam a capacidade desses ambientes de fornecerem SE dos solos, tornando-se fundamental para orientar estratégias de gestão nessas áreas.

Barbosa et al. (2021) avaliam os padrões de cobertura e uso da terra na APA do Delta do Parnaíba ao longo das duas últimas décadas, através de imagens de satélite para geração de índices espectrais da vegetação do MapBiomias. A pesquisa revelou uma taxa de desflorestamento em torno de 64,8 Km² ao longo das duas últimas décadas (1999-2019), onde áreas exploradas pelo agronegócio cresceram em 196,9 Km² e florestamento em torno de 194,4 Km². O autor ressalta que pressões antrópicas representa uma série de perdas em serviços ecossistêmicos, se

estendendo aos mais variados usos e coberturas naturais decorrente da distribuição ocupacional desta população.

Rosa et al. (2022) modelam e avaliam as mudanças espaço-temporais nos estoques de *blue carbon* e o potencial de sequestro líquido em florestas de manguezais da cidade de Santos e São Vicente, Brasil, de 1988 a 2050, através de imagens classificadas do MapBiomias e do modelo InVEST Coastal Blue Carbon. O modelo encontrou uma tendência de aumento nos estoques de carbono e sequestro líquido de manguezais em ambos os municípios, com 29% em Santos, e 14% em São Vicente. Já o sequestro líquido de carbono foi de aproximadamente 925.393 Mg CO₂e e 287.130 Mg CO₂e, em Santos e São Vicente, respectivamente, durante um período de 1988 a 2050. A pesquisa apresenta o SE do solo através da quantificação do estoque e a acumulação de carbono do solo em manguezais ao longo de uma paisagem costeira urbana no Brasil e enfatiza o papel atual e futuro dos manguezais na mitigação das mudanças climáticas.

Nóbrega et al. (2023) avaliam se pradarias de ervas marinhas no estuário do estado do Ceará, em uma praia urbanizada do estado de São Paulo e na Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul, apresentam intensidades variáveis de redução de Fe e sulfato, moldando distintas comunidades microbianas. As pradarias de ervas marinhas estão entre os ecossistemas mais valiosos, fornecendo inúmeros serviços e funções ecossistêmicas.

O trabalho foi desenvolvido através de coletas de amostras de solos, resultando em uma ampla variação em resposta às configurações geoambientais. As plantas influenciam as comunidades geoquímicas e microbiológicas do solo, retendo partículas finas, promovendo a oxidação da rizosfera e induzindo condições anóxicas que controlam as formas de Fe e S. Além disso, as mesmas espécies de plantas podem resultar em condições de solo e comunidades microbianas distintas devido às configurações geoambientais. As descobertas revelaram novos insights sobre a heterogeneidade dos solos de pradarias de ervas marinhas e uma melhor compreensão dos processos biogeoquímicos inerentes a esses ecossistemas.

Barbosa et al., 2023 avaliam a qualidade ambiental a partir de análises florísticas, índices fitossanitários da vegetação e estoques de carbono no solo em zonas Blue Carbon dos manguezais limítrofes a APA Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil.

Os procedimentos metodológicos constituíram-se na análise de solos em ocorrências distintas de mangues, para análise e quantificação dos estoques de carbono e levantados de

composição florística.

Os resultados apresentaram que os manguezais em estágio de recuperação de perturbações antrópicas, com 67% das áreas com baixa condição fitossanitária, além da disposição de resíduos, e supressão de espécimes. Os estoques de carbono apresentaram-se mais elevados nos manguezais mais bem consolidados e desenvolvidos com maiores índices de diâmetro a altura do peito e altura total. Os estoques de Blue Carbon representaram importantes indicadores de qualidade ambiental dos manguezais.

O texto ressalta que os serviços ecossistêmicos prestados pelo manguezal são responsáveis por sustentar a linha da costa, absorção e estoque de carbono no solo, berçário de espécies, controle da maré e importantes redutores de impacto ambiental costeiro proveniente dos grandes eventos naturais.

De Medeiros et al. (2020) avaliam os impactos ambientais ocasionados em áreas de mangue no município de Marechal Deodoro/Alagoas, que sofreram modificações resultantes de atividades antrópicas, comparando com área de mangue conservado.

A metodologia se deu através da análise da sequência temporal de imagens aéreas do Google Earth, e análise da qualidade do solo, para avaliação dos indicadores químicos e biológicos nos diferentes sistemas de uso do solo. Os resultados trazem que alterações permanentes afetaram o tipo do solo e a cobertura, com diferenças significativas entre as características químicas e biológicas dos quatro ambientes. O manguezal tem sofrido impactos negativos pelo manejo inadequado, ocupação do solo e modificação da paisagem.

Dentre os atributos químicos e biológicos utilizados para as análises realizadas, o alumínio e os organismos edáficos foram os que permitiram maior contribuição para discriminação do grau de perturbação das áreas de cultivo agrícola, desmatada e transição construção civil/manguezal. A continuidade da intervenção antrópica no mangue dará prosseguimento ao desaparecimento deste ecossistema a longo prazo e de seus serviços ecossistêmicos.

Bustamante et al. (2024) analisaram a percepção ambiental da população urbana costeira quanto à SE dos manguezais no município de Joinville - SC, Brasil (Boa Vista e Comasa) e aos impactos degradantes no ecossistema. A metodologia foi realizada através de questionários aplicados a moradores que sofreram perdas históricas de manguezais.

Os resultados indicam que os serviços ecossistêmicos culturais foram são os mais

percebidos pela população, principalmente os ligados ao lazer. Os SE de provisão foram o segundo mais percebidos, principalmente os atrelados a pesca. Outro foco importante ressaltado na pesquisa são os problemas ambientais que os manguezais enfrentam, principalmente o descarte de resíduos, o preenchimento do aterro de solo do manguezal e a falta de saneamento básico. A pesquisa ressalta a necessidade de promover a educação ambiental, o saneamento básico e a criação de espaços de lazer para aliviar a pressão sobre a área úmida costeira estudada.

Conclusão

A base da pesquisa bibliométrica é completamente quantitativa, revelando número de publicações através de um buscador de palavras-chaves que se interliguem. Analisar dados bibliométricos dos SE dos solos permite mapear lacunas, tendências, temas emergentes a fim de ampliar uma visão integrada sobre a temática.

É importante frisar que a temática de SE dos solos, ainda age de forma tímida durante a pesquisa. Mesmo que a temática seja ampla, os diversos autores utilizam termos diferentes para identificar os serviços que os solos prestam para a sociedade, como: funções ecológicas, funções ecossistêmicas, o que acaba dificultando a pesquisa, por deixarmos passar artigos importantes, por autores não terem utilizado os termos corretos. É importante que os autores entrem em consenso sobre o termo SE dos solos, pois facilitaria a busca, seleção e citações de artigos.

A temática do Blue Carbon está em ascensão nos diferentes âmbitos de pesquisa, assim como a temática dos solos e suas funções. Importante ressaltar a gama de estudos que englobam os solos, bem como a sua interdisciplinaridade, na busca para esta análise bibliométrica. Os solos de ambientes costeiros, desempenham serviços cruciais para a o bem-estar da humanidade, os solos de mangues são os maiores armazenadores de carbono do mundo, auxiliam na regulação hídrica e climática, dão suporte a biodiversidade e a ciclagem de nutrientes, bem como a provisão de alimentos. E mesmo com tanta importância, não possui o reconhecimento científico que merece e quando lhe é dado este sempre vem fragmentado.

A análise bibliométrica carrega consigo a ideia de poder catalogar todas as informações do estudo pesquisado, identificando tendências, lacunas, temas emergentes, com autores e regiões com mais influências sobre a temática. Os resultados indicam que China e Estados Unidos

carregam ainda o peso de maiores pesquisadores sobre o estudo sobre SE dos solos. O trabalho oferece novos *insights* sobre a dinâmica dos solos e seus serviços ecossistêmicos, potencialmente orientando futuros trabalhos sobre a temática.

Referências

- Adame, M. F., Reef, R., Santini, N. S., Najera, E., Turschwell, M. P., Hayes, M. A., ... & Lovelock, C. E. (2021). Manguezais em regiões áridas: Ecologia, ameaças e oportunidades. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248, 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106796>
- Ahmed, S., Sarker, S. K., Friess, D. A., Kamruzzaman, M., Jacobs, M., Islam, M. A., ... & Pretzsch, H. (2022). Salinity reduces site quality and mangrove forest functions: From monitoring to understanding. *Science of the Total Environment*, 853, 158662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158662>
- Arkema, K. K., Field, L., Nelson, L. K., Ban, N. C., Gunn, C., & Lester, S. E. (2024). Advancing the design and management of marine protected areas by quantifying the benefits of coastal ecosystems for communities. *One Earth*, 7(6), 989–1006. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.04.019>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Bai, J., Yu, L., Ye, X., Yu, Z., Wang, D., Guan, Y., ... & Liu, X. (2020). Dynamics of phosphorus fractions in surface soils of different flooding wetlands before and after flow-sediment regulation in the Yellow River Estuary, China. *Journal of Hydrology*, 580, 124256. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124256>
- Barbosa, D. L. S., Almeida, K. de S., Sousa Junior, E. L., & Iwata, B. de F. (2023). Estoques de blue carbon como indicadores da qualidade ambiental de manguezais no Delta do Parnaíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16, 1844–1860. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p1844-1860>
- Barbosa, D. L. S., Almeida, K. de S., Sousa Junior, E. L., Sousa, R. C. de, & Iwata, B. de F. (2021). Padrões espaciais e usos da terra em manguezais do Delta do Parnaíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 3881–3890. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p3881-3890>
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64(2), 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Baveye, P. C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 41. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>
- Bernardino, A. F., Mazzuco, A. C. A., Souza, F. M., Santos, T. M., Sanders, C. J., Massone, C. G., ... & Kauffman, J. B. (2022). The novel mangrove environment and composition of the Amazon Delta. *Current Biology*, 32(16), 3636–3640.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.06.071>
- Bustamante, J. da M., Prates, R. C., & Cremer, M. J. (2024). Environmental perception of ecosystem services and degrading impacts to the mangrove by the urban population, Babitonga Bay-Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 27, e00052. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc00501vu27L3OA>
- Campbell, A. D., Fatoyinbo, L., Goldberg, L., & Lagomasino, D. (2022). Global hotspots of salt marsh change and carbon emissions. *Nature*, 612(7941), 701–706. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05355-z>
- Chen, Y., Zhen, Z., Li, G., Li, H., Wei, T., Huang, F., ... & Zhang, D. (2023). Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) degradation and microbial community change in mangrove rhizosphere gradients. *Science of the Total Environment*, 871, 162022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162022>
- Costanza, R., & Liu, S. (2014). Ecosystem services and environmental governance: Comparing China and the US. *Asia & the Pacific Policy Studies*, 1(1), 160–170. <https://doi.org/10.1002/app5.16>
- Cowie, A. L., Orr, B. J., Castillo Sanchez, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., ... & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for land degradation neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- De, K., Sautya, S., Dora, G. U., Gaikwad, S., Katke, D., & Salvi, A. (2023). Mangroves in the “Plasticene”: High exposure of coastal mangroves to anthropogenic litter pollution along the Central-West coast of India. *Science*

- of the Total Environment, 858, 160071.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160071>
- Dominati, E., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858–1868.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Eagle, M. J., Kroeger, K. D., Spivak, A. C., Wang, F., Tang, J., Abdul-Aziz, O. I., ... & Mann, A. G. (2022). Soil carbon consequences of historic hydrologic impairment and recent restoration in coastal wetlands. *Science of the Total Environment*, 848, 157682.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157682>
- FAO. (2021). The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- FAO. (2015). Status of the world's soil resources – Main report: Technical summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ferreira, T. O., Queiroz, H. M., Ruiz, F., Nóbrega, G. N., Cherubin, M. R., De Souza Júnior, V. S., ... & Otero, X. L. (2024). How do soil processes control the provision of ecosystem services in coastal wetlands? *Environmental Research*, 255, 119078.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119078>
- Hillmann, E. R., et al. (2020). Estuarine submerged aquatic vegetation habitat provides organic carbon storage across a shifting landscape. *Science of the Total Environment*, 717, 137217.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137217>
- Hoang, A.-D. (2025). Evaluating bibliometric reviews: A practical guide for peer review and critical reading. *Evaluation Review*, 49(6), 1074–1102.
<https://doi.org/10.1177/0193841X251336839>
- Hu, M., Yan, R., Wu, H., Ni, R., Zhang, D., & Zou, S. (2023). Linking soil phosphorus availability and phosphatase functional genes to coastal marsh erosion. *Science of the Total Environment*, 898, 165559.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165559>
- Hu, M., Wang, J., Sardans, J., Wu, H., Ni, R., Guo, P., ... & Tong, C. (2024). Coastal conversion alters topsoil carbon, nitrogen and phosphorus stocks. *Science of the Total Environment*, 944, 174011.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174011>
- Huang, L., Bai, J., Wen, X., Zhang, G., Zhang, C., Cui, B., & Liu, X. (2020). Microbial resistance and resilience under human activity intensity. *Global Change Biology*, 26, 2377–2389. <https://doi.org/10.1111/gcb.14995>
- Jiang, W. (2017). Ecosystem services research in China: A critical review. *Ecosystem Services*, 26, 10–16.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.012>
- Jónsson, J. Ö. G., & Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, 145, 24–38.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>
- Kauffman, J. B., et al. (2020). Total ecosystem carbon stocks at the marine-terrestrial interface. *Global Change Biology*, 26(10), 5679–5692.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15248>
- Lepsch, I. F. (2021). 19 lições de pedologia (2ª ed.). Oficina de Textos.
- Lewis, D. B., et al. (2021). Carbon and nitrogen pools in mangrove saltmarsh ecotone. *Science of the Total Environment*, 798, 149328.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149328>
- Lovelock, C. E., et al. (2023). An Australian blue carbon method. *Restoration Ecology*, 31(7), e13739. <https://doi.org/10.1111/rec.13739>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Montanarella, L., et al. (2016). World's soils are under threat. *SOIL*, 2(1), 79–82.
<https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>
- R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation.
- Rodrigues, A. F., et al. (2021). Systematic review of soil ecosystem services. *Royal Society Open Science*, 8(3), 201584.
<https://doi.org/10.1098/rsos.201584>
- Rosa, L. N., De Paula Costa, M. D., & De Freitas, D. M. (2022). Modelling spatial-temporal changes in carbon sequestration by mangroves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 276, 108031.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108031>
- Rovai, A. S., Coelho-Jr, C., De Almeida, R.,

- Cunha-Lignon, M., Menghini, R. P., Twilley, R. R., ... & Schaeffer-Novelli, Y. (2021). Ecosystem-level carbon stocks in mangroves. *Forest Ecology and Management*, 479, 118553.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118553>
- Russell, S. K., Gillanders, B. M., Detmar, S., Fotheringham, D., & Jones, A. R. (2024). Environmental drivers of variability in blue carbon soils. *Estuaries and Coasts*, 47(1), 48–59. <https://doi.org/10.1007/s12237-023-01260-4>
- Thomson, T., Ellis, J. I., Fusi, M., Prinz, N., Lundquist, C. J., Bury, S. J., ... & Pilditch, C. A. (2024). Effects of catchment land use on mangrove forests. *Science of the Total Environment*, 940, 173579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173579>
- Walden, L., Serrano, O., Shen, Z., Zhang, M., Lavery, P., Luo, Z., ... & Rossel, R. A. V. (2024). Mid-infrared spectroscopy and coastal soils. *Science of the Total Environment*, 949, 174871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174871>
- Ward, R. D., De Lacerda, L. D., Da Silva Cerqueira, A., Silva, V. H. M. C., & Hernandez, O. C. (2023). Vertical accretion rates of mangroves in northeast Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 289, 108382. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108382>
- Young, M. A., et al. (2021). National scale predictions of blue carbon storage. *Science of the Total Environment*, 800, 149573.
- Zeng, X., et al. (2023). Diversity and functional potential of bacterial communities in contaminated sediments. *Science of the Total Environment*, 886, 163831.
- Zhang, G., Bai, J., Zhao, Q., Jia, J., Wang, W., & Wang, X. (2020). Bacterial succession in salt marsh soils. *Microbial Ecology*, 79, 644–661. <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01430-7>