

Quantificação de Carbono na Restauração Florestal: Uma revisão sistemática de literatura

Jaciely Gabriela Melo da Silva¹, Danilo Ribeiro da Costa², Elisangela Cristina da Silva Costa³, José Mauro Santana da Silva

¹Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis - PPGPUR na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

²Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

³Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

⁴Doutor em Irrigação e Drenagem pela UNESP

Histórico do Artigo: Submetido em: 22/03/2023 – Revisado em: 01/04/2023 – Aceito em: 07/06/2023

RESUMO

O objetivo central deste trabalho é avaliar a disponibilidade de informações sobre a quantificação de carbono na restauração florestal. Especificamente, buscamos responder: (i) Com que frequência a quantificação de carbono em áreas de restauração florestal têm sido alvo de estudos nos últimos anos?; (ii) Quais são os países que mais publicam?; (iii) Quais são as revistas e áreas de pesquisa mais frequentes?; (iv) Qual é o método de restauração mais utilizado e a vegetação mais frequente?; (v) Qual é o software mais usado?; (vi) Qual é o satélite e a metodologia mais predominante? Após a triagem dos dados, apenas 38 estudos foram considerados nas análises deste trabalho. A maioria dos trabalhos (n=15) foram publicados por autores da China, Alemanha (n=4) e USA (n=4). O ano com mais publicações sobre o tema foi 2021 (n=8). As revistas que obtiveram maior número de publicações foram Environmental Research Letters, Forest Ecology and Management e Remote Sensing, com 6 artigos publicados cada uma. No que se refere às áreas de pesquisa, Environmental Sciences (n=16), Biodiversity Conservation, Ecology e Forestry (n=4) obtiveram maior frequência nos resultados de pesquisa. A metodologia de restauração mais citada foi a de Reflorestamento (n=17). O ArcGIS (n=8) e o satélite Landsat (n=17), respectivamente, foram os softwares e os satélites mais utilizados nos artigos. A floresta subtropical (n=7) e a floresta boreal (n=7) apareceram com maior frequência nos trabalhos. A metodologia mais usada foi modelagem (n=13), seguida por classificação supervisionada (n=5). O continente asiático (n=24) foi o lugar mais estudado pelos pesquisadores. Os trabalhos acerca do mapeamento de estudos que abordam a quantificação de carbono em áreas de restauração na base de dados Web of Science foram relativamente poucos. Olhando especificamente para a temática da técnica de restauração florestal por semeadura direta, não foi encontrado nenhum artigo que abordasse essa questão. É necessário testar a quantificação de carbono em diversos métodos de restauração florestal.

Palavras-Chaves: mudanças climáticas, sensoriamento remoto, estado da arte.

Carbon Quantification in Forest Restoration: A systematic literature review

ABSTRACT

The central objective of this study is to evaluate the availability of information on carbon quantification in forest restoration. Specifically, we aim to answer the following questions: (i) How often has carbon quantification in forest restoration areas been studied in recent years? (ii) Which countries publish the most studies? (iii) What are the most frequent journals and research areas? (iv) What are the most commonly used restoration methods and vegetation types? (v) What is the most used software? (vi) What is the most prevalent satellite and methodology? After sorting the data, only 38 studies were included in the analysis. The majority of the papers (n=15) were published by authors from China, followed by Germany (n=4) and the USA (n=4). The year with the most publications on the subject was 2021 (n=8). The journals with the highest number of publications were Environmental Research Letters, Forest Ecology and Management, and Remote Sensing, with 6 articles published in each. In terms of research areas, Environmental Sciences (n=16), Biodiversity Conservation, Ecology, and Forestry (n=4) were the most frequent in the search results. Reforestation (n=17) was the most cited restoration methodology. ArcGIS (n=8) and Landsat satellite (n=17) were the most used software and satellite, respectively, in the articles. The subtropical forest (n=7) and boreal forest (n=7) appeared frequently in the works. The most commonly

Silva, J., Costa, D., Costa, E., Silva, J. (2023). Quantificação de Carbono na Restauração Florestal: Uma revisão sistemática de literatura. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.4, n.1, p.51-62.



used methodology was modeling (n=13), followed by supervised classification (n=5). The Asian continent (n=24) was the most studied by researchers. The number of studies that addressed the quantification of carbon in restoration areas in the Web of Science database was relatively small. Specifically looking at the theme of forest restoration by direct seeding, no articles were found that addressed this issue. It is necessary to test carbon quantification in various forest restoration methods.

Keywords: climate change, remote sensing, state of the art.

1. Introdução

Cada vez mais observa-se o aumento da frequência de eventos climáticos extremos em todas as regiões do planeta (Jacobi; Sulaiman, 2016; Lucon, 2022). Levando a impactos generalizados na segurança alimentar (Alpino et al., 2022), segurança hídrica (Medeiros, 2003), saúde humana, economia, temperatura, elevação dos níveis dos oceanos, intensidade e frequência de eventos climáticos extremos (Braga, 2012), entre outros diversos impactos.

Cientistas mais renomados do mundo afirmam que, as consequências do aumento da temperatura global, serão o aumento na frequência de extremos de calor, fortes chuvas, secas regionais, enfrentamento de escassez de chuva por metade da população global, aumento da propagação de doenças transmitidas por vetores (malária, dengue etc.), dentre outras consequências preocupantes (IPCC 2023). Tais processos são denominados de mudanças climáticas e suas consequências já são observadas. Os gases de efeito estufa são gases residuais que impedem que o calor da terra retorne ao espaço. Esse fenômeno é chamado de aquecimento global e é causado pelo aumento das concentrações globais de determinados gases, ocorridos desde a Revolução Industrial devido às atividades humanas (Lucon, 2022).

Assim, é preciso pensar em soluções de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em curto, médio e longo prazo. Os serviços ecossistêmicos de soluções baseadas na natureza, estimados em US\$170 bilhões, podem ser aliados nesse contexto, o termo “soluções Baseadas na Natureza” foi inicialmente cunhado pela *International Union for Conservation of Nature* (IUCN). Estas soluções visam proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais e alterados que transformam desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, beneficiando assim pessoas e a natureza (IUCN, 2022).

A restauração ecológica é uma atividade que inicia e/ou acelera a recuperação de um ecossistema com respeito à sua saúde, integridade e sustentabilidade. Com frequência, o ecossistema que requer restauração, em um dado momento foi degradado, danificado, modificado ou totalmente destruído como resultado direto ou indireto das atividades humanas. Em alguns casos, esses impactos aos ecossistemas foram causados ou agravados por causas naturais, tais como incêndios, inundações, tempestades ou erupções vulcânicas (SER, 2004).

O Brasil tem grandes quantidades de áreas degradadas que não são capazes de desempenhar um papel ecológico econômico. De acordo com o WRI Brasil (2019) o país se comprometeu com uma agenda que une a recuperação ambiental e desenvolvimento por meio da restauração florestal. Restaurar paisagens e áreas degradadas contribui para mitigar as mudanças climáticas, adaptar sistemas produtivos às novas condições do clima e promover a economia florestal (WRI Brasil, 2019). Restauração florestal ou simplesmente reflorestamento é o caminho de maiores oportunidades de mitigação de baixo custo (Griscom et al., 2017).

Estudos que têm por intuito estimar a biomassa florestal ou quantificar o carbono são de suma importância à medida que auxiliam a diminuir a incerteza em relação aos reservatórios de carbono das áreas florestadas, e, conseqüentemente, ampliam o conhecimento acerca do ciclo global do carbono, além de contribuir para a tomada de decisões quanto ao manejo florestal (Silveira, 2010; Cao et al., 2016).

O objetivo central deste trabalho é avaliar a disponibilidade de informações sobre a quantificação de carbono na restauração florestal. Especificamente, buscamos responder: (i) Com que frequência a quantificação de carbono em áreas de restauração florestal têm sido alvo de estudos nos últimos anos?; (ii) Quais são os países que mais publicam?; (iii) Quais são as revistas e áreas de pesquisa mais frequentes?; (iv)

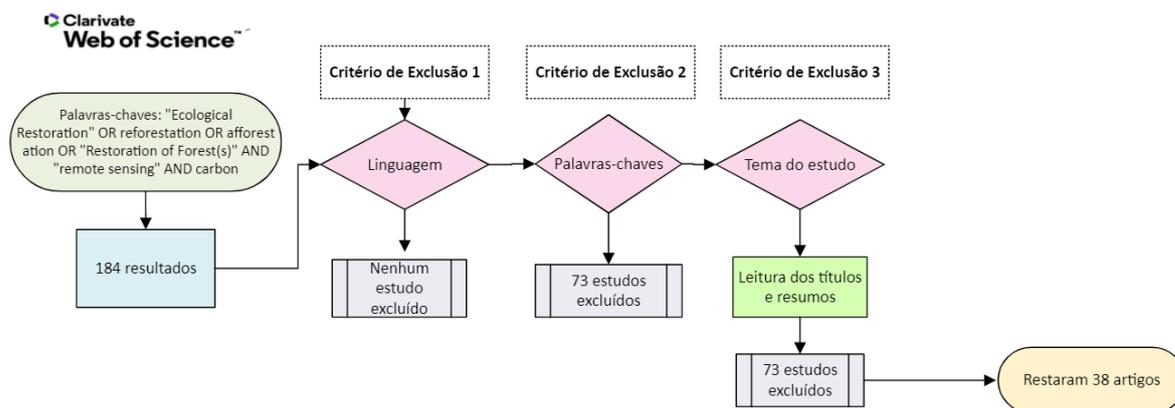
Qual é o método de restauração mais utilizado e a vegetação mais frequente?; (v) Qual é o software mais usado?; (vi) Qual é o satélite e a metodologia mais predominante?

2. Material e Métodos

A revisão sistemática foi realizada utilizando a base de dados Web Of Science para artigos publicados até o período de novembro de 2022. Optou-se em não delimitar um marco inicial, com o objetivo de avaliar a linha temporal de publicações relacionadas ao tema. A escolha da base de dados ocorreu por ser disponibilizada pela Capes e reunir grande quantidade de artigos em diversificadas áreas de conhecimento. Foi seguido o protocolo descrito no livro, “Manual de Produção Científica” (Koller et al., 2014) para a padronização da coleta de dados desta revisão sistemática.

Realizou-se uma busca geral de trabalhos utilizando as seguintes palavras-chaves: Results for “*Ecological Restoration*” OR *Reforestation* OR *Afforestation* OR “*Restoration of Forest(s)*” AND “*remote sensing*” AND *Carbon*. Foi utilizado um conjunto de operadores booleanos: AND e “” com o objetivo de informar ao sistema de busca de que maneira combinar os termos da pesquisa e restringir o campo de busca (Koller et al., 2014). Observa-se o fluxograma da revisão sistemática na figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da Revisão Sistemática



Fonte: Autores (2022)

A busca geral foi realizada em novembro de 2022 e retornou 184 resultados na base de dados do Web Of Science. Com o propósito de refinar os estudos relacionados aos objetivos principais deste trabalho, aplicamos critérios de exclusão aos trabalhos seguindo a metodologia de Koller, Couto e Hohendorff (2014).

Os critérios de inclusão e exclusão estipulados foram: a) Considerar apenas estudos em linguagem acessível para os pesquisadores (inglês, espanhol ou português); b) Conter as palavras-chaves: *Restoration forest*, *remote sensing* e *carbon*; c) Exclusão de estudos que não envolvem a temática de restauração florestal, ou seja, os estudos necessariamente precisam descrever ou citar o método de restauração empregado nas pesquisas.

Esta última busca refinada, após o emprego de tais critérios, resultou em 38 estudos que foram considerados nas etapas seguintes dos métodos para a obtenção de informações mais detalhadas. Avaliou-se esses estudos para mapear a área de pesquisa, o ano de publicação desses trabalhos, as instituições que vêm estudando o tema, os países que mais publicam sobre a temática, a área de estudo, a metodologia de restauração e os softwares mais utilizados, também foram levantados os satélites que apareceram com maior frequência

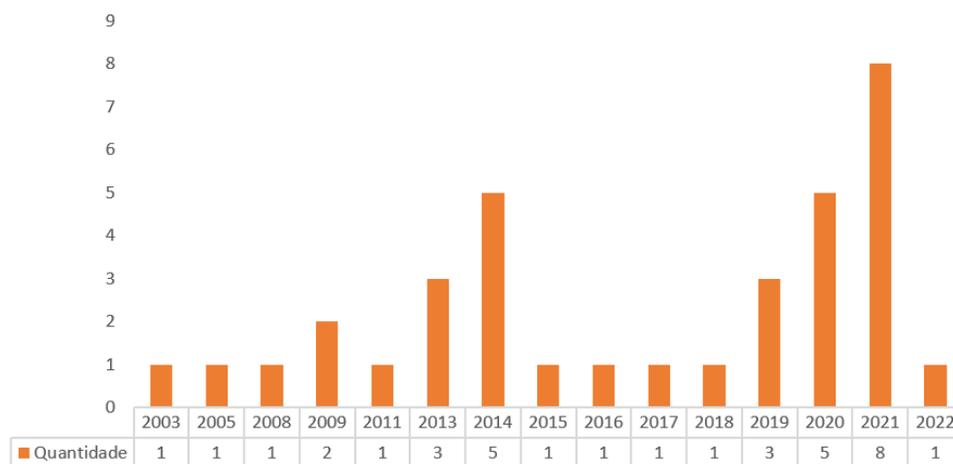
nos estudos, o tipo de vegetação e a metodologia utilizada. A representação gráfica desses dados foi produzida por meio do *Microsoft Office Excel* e o mapa que mostra as áreas estudadas foi elaborado com software GIS QGIS 3.26.2.

3. Resultados e Discussão

Observou-se um aumento no número de publicações sobre o tema no ano de 2021 ($n=8$) (Gráfico 1). Para os anos de 2004, 2006 e 2012 não foram aceitos trabalhos quando considerados os critérios de exclusão.

No ano de 2021 foram publicados mais artigos em relação aos outros anos, teve um aumento de 60% em relação ao ano anterior. Machado e colaboradores (2022) defendem que provavelmente devido a pandemia em 2021, os editores de revistas observaram o aumento significativo na submissão de manuscritos e revisões de literatura (Machado et al., 2022).

Gráfico 1: Número de publicações por ano envolvendo a temática até novembro de 2022



Fonte: Autores (2022)

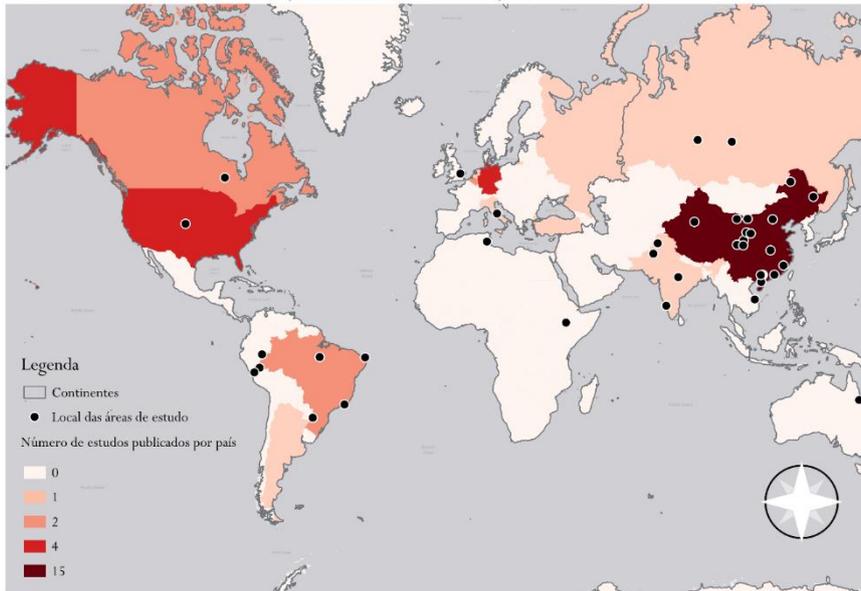
A maioria dos trabalhos foram publicados por autores da China ($n=15$), USA ($n=4$) e Alemanha ($n=4$). Já os países Índia, Escócia, Turquia, Paquistão, Israel, Itália, Rússia, Holanda e Argentina tiveram, apenas um artigo publicado por autores (Figura 2).

Desde 1990, o governo chinês adotou variadas estratégias para premiar a qualidade e desempenho dos seus cientistas, o que refletiu em um aumento de publicações como jamais vistas nos últimos anos (Oliveira Junior, 2022). Os resultados dessas iniciativas são claramente perceptíveis, pois a China é atualmente o país com maior número de publicações científicas, ultrapassando os Estados Unidos que por muito tempo ficou na liderança de país com mais publicações (Oliveira Junior, 2022).

O continente asiático ($n=24$) foi o lugar mais estudado pelos pesquisadores, na figura 2, observa-se a maior intensidade da coloração vermelha no mapa. A América do Sul é o segundo lugar com maior frequência de trabalhos ($n=7$), o continente Africano ($n=2$), Europa ($n=2$) e Oceania ($n=1$) foram menos estudados.

As revistas que obtiveram maior número de publicações foram *Environmental Research Letters*, *Forest Ecology and Management* e *Remote Sensing*, com 6 artigos publicados cada uma (gráfico 2). Essas revistas são conceituadas nas áreas de sensoriamento remoto e restauração florestal, o que pode ter motivado um número maior de submissões e publicações.

Figura 2: Número de publicações por país envolvendo quantificação de carbono



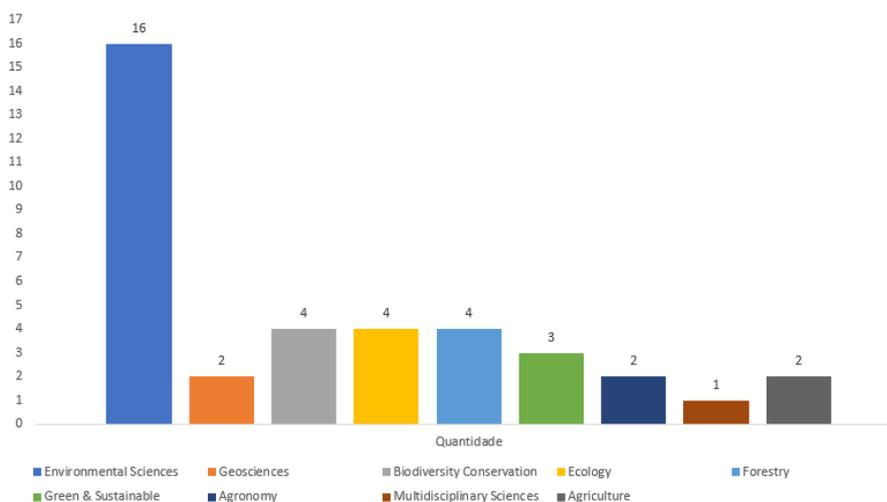
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 2: Revistas com mais publicações



Fonte: Autores (2022)

No que se refere às áreas de pesquisa com mais publicações, Environmental Sciences & Ecology (n=16), Forestry (n=4) e Biodiversity & Conservation (n=4) (gráfico 3). As áreas de Ciências & Ecologia, Silvicultura e Ciências Ambientais e Ecologia foram as áreas de pesquisa mais citadas nos trabalhos. Justamente por envolver sub-temáticas relacionadas ao tema da Revisão Sistemática de Literatura (RSL).

Gráfico 3: Áreas de pesquisa com mais publicações

Fonte: Autora (2022)

O método de restauração mais citado nos trabalhos foi Reflorestamento (n=17), seguida de Plantio (n=6), Florestamento (n=5) e Conservação, com apenas um estudo (gráfico 4).

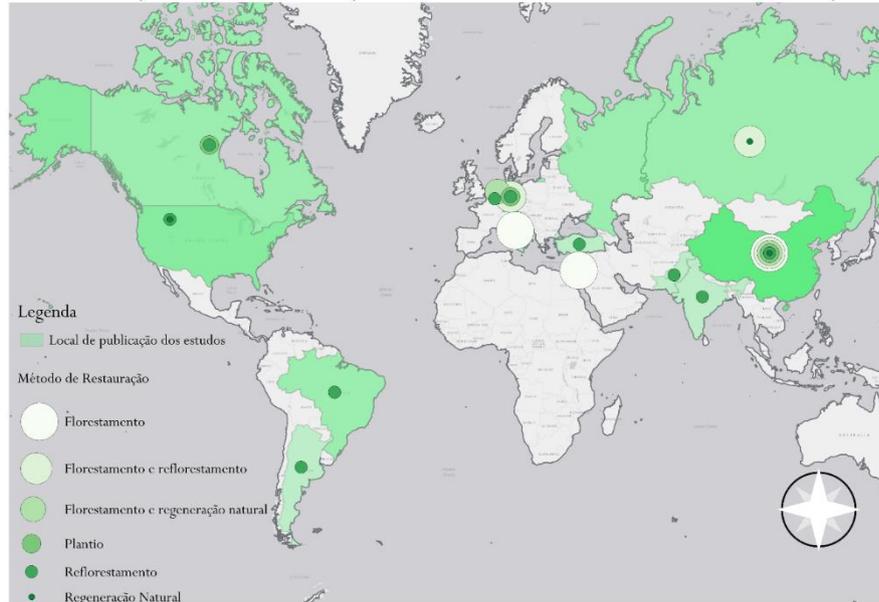
O Reflorestamento é a conversão de terra não-florestada em terra florestada por meio do plantio, semeadura e regeneração induzida pelo homem em áreas florestadas e que foram convertidas em áreas não florestadas (UNFCCC, 1997). Já o florestamento é a conversão induzida de terra que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos, em terra florestada por meio de técnicas de restauração florestal (UNFCCC, 1997). O plantio pode ser adotado tanto no reflorestamento quanto no florestamento.

Desde 1978, a China lançou vários programas de reflorestamento e restauração florestal (Imazon, 2011; LU et al., 2018), por exemplo, o Programa de Desenvolvimento do Cinturão de Proteção e o Programa *Three-North Shelter Belt Development Forest Trends*. Tais programas visam expandir os recursos orientados à proteção de florestas. O Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, (2011); Lu et al., (2018) e Kong et al., (2022) também notaram a contribuição dos novos reflorestamentos para os sumidouros de carbono.

Griscom et al., (2017) defende que a restauração florestal é uma das principais estratégias para a mitigação das mudanças climáticas, pois contribui significativamente para o sequestro de carbono da atmosfera, sendo um caminho de maiores oportunidades de mitigação de baixo custo.

Vale salientar que o reflorestamento tem uma resposta rápida em termos de fixação de carbono, mas também tem a capacidade de devolver quantidades expressivas de CO₂ à atmosfera à medida que a biomassa gerada passa a ser utilizada economicamente (Ab'Sáber et al., 1990). Nos artigos estudados, grande parte dos pesquisadores não foram claros se os reflorestamentos/florestamentos foram implementados com espécies nativas. Sabe-se que o plantio de exóticas possui a motivação do corte para uso econômico, esses plantios podem ser classificados em: Ciclo curto, ciclo médio e ciclo longo, sendo que no ciclo curto, as árvores podem ser colhidas em até 10 anos após o plantio, no ciclo médio podem ser colhidas entre 11 e 20 anos após o plantio e no ciclo longo as árvores podem ser colhidas entre 21 e 55 anos após o plantio. Em todos os ciclos de plantio e corte, as árvores poderão retirar toneladas de CO₂ da atmosfera (entre 6 e 12 toneladas de CO₂ por hectare por ano e sequestrá-las na madeira, nas raízes e no solo (Filho; Sartorelli, 2015).

Figura 3: Áreas de publicação dos estudos organizados por método de restauração

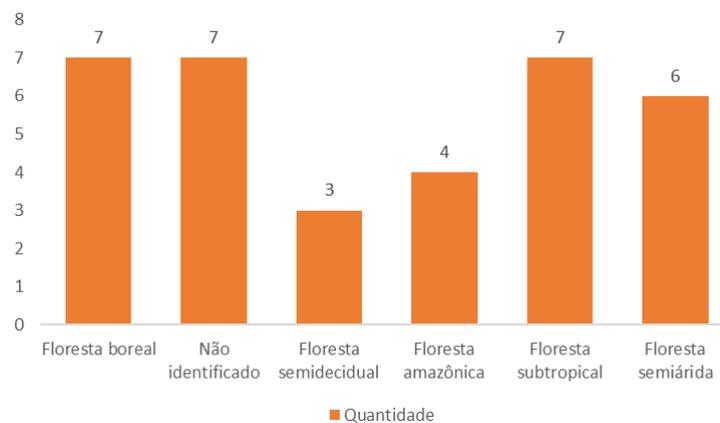


Fonte: Autores (2023)

Avaliando o tipo de vegetação das áreas de estudo dos artigos (gráfico 4), a floresta subtropical (n=7) e floresta boreal (também conhecida como floresta de coníferas) (n=7) foram mais frequentes nos trabalhos, seguida de Floresta semiárida (n=6) e floresta amazônica (n=4). As vegetações com apenas uma citação (florestas semi-perenes, vegetação de dunas, vegetação de mangue e floresta temperada) não foram adicionadas ao gráfico. Não foram identificadas a vegetação em sete estudos.

A vegetação mais predominante nos estudos foi a floresta boreal e subtropical, tais florestas são as mais encontradas no continente asiático. A China possui características climáticas e topográficas muito variadas, o país possui cinco zonas climáticas (temperado, frio, temperado quente, subtropical e tropical), além de abrigar as cadeias de montanhas mais altas do mundo, possui planaltos e desertos e os maiores rios da Ásia (López-Pujol et al., 2006).

Gráfico 4: Tipo de vegetação



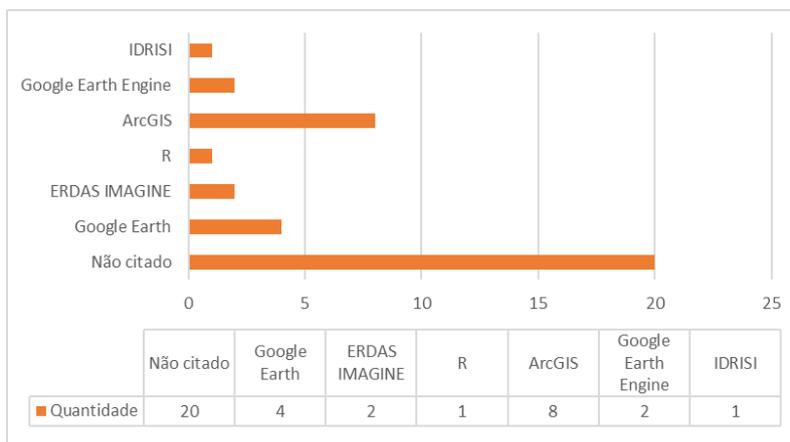
Fonte: Autores (2022)

As florestas da China somam um importante parcela do total de florestas boreais e temperadas no hemisfério norte, resultados obtidos por Wei et al (2013), confirmam uma grande capacidade de armazenamento de biomassa nesses tipos de florestas (Wei et al., 2013).

A maioria dos pesquisadores não listou o software utilizado para a condução dos trabalhos, foram 20 artigos que não fazem menção ao software usado. O ArcGIS (n=8) apareceu em 8 trabalhos, seguido de Google Earth (n=4), Google Earth Engine (n=2) e ERDAS IMAGINE (n=2) citados em dois artigos, o R (n=1) e o IDRISI (n=1) foram citados em um artigo cada (gráfico 5).

O ArcGIS é um dos softwares GIS mais utilizados no mundo pelo ranking “The Top 18 Easiest To Use GIS Software”, elaborado pela empresa G2 - Business Software Reviews (2022), o software *ArcGIS* ocupa o sexto lugar, enquanto, Google Earth ficou em segundo lugar, perdendo apenas para o Google Maps. Digitando *ArcGIS* no campo de buscas (topic) no *Web Of Science* em dezembro de 2022, foram retornados 7.393 resultados, enquanto um de seus concorrentes, o *Google Earth*, obteve 5.489 resultados. Já o QGIS, não citado nos artigos, retornou 1.106 resultados. O Google Earth, que ficou em segundo lugar nos softwares mais utilizados, é um exemplo relevante por conta de sua aplicabilidade no cotidiano à medida em que o aplicativo permite a pesquisa de informações e imagens do espaço geográfico (Neto; Silva, 2017).

Gráfico 5: Softwares usados nos trabalhos

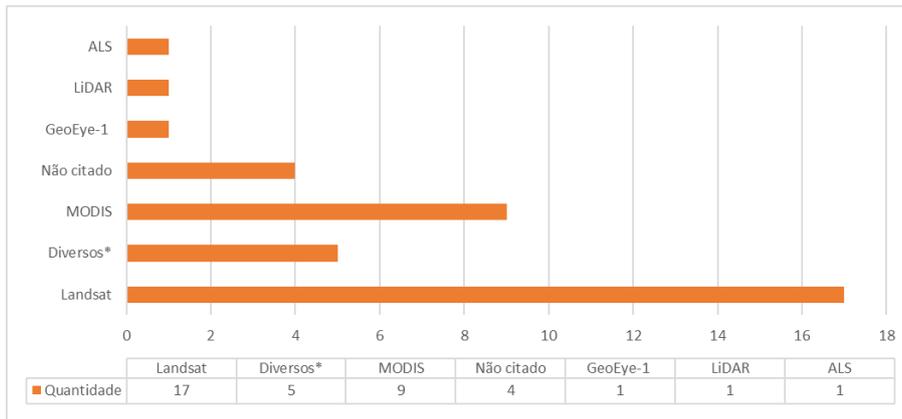


Fonte: Autores (2022)

O satélite Landsat (n=17) apareceu com maior frequência nos artigos, seguido por MODIS (n=9), GeoEye-1 (n=1), LiDAR (n=1) e ALS (*Airborne Laser Scanning*) (n=1) que foram os satélites menos citados nas pesquisas. No item “Diversos” (n=5) os pesquisadores utilizaram mais de dois satélites no decorrer dos trabalhos, nesses casos, os satélites que se encaixam nesse tópico são: Landsat, IKONOS, MODIS e SPOT (gráfico 6).

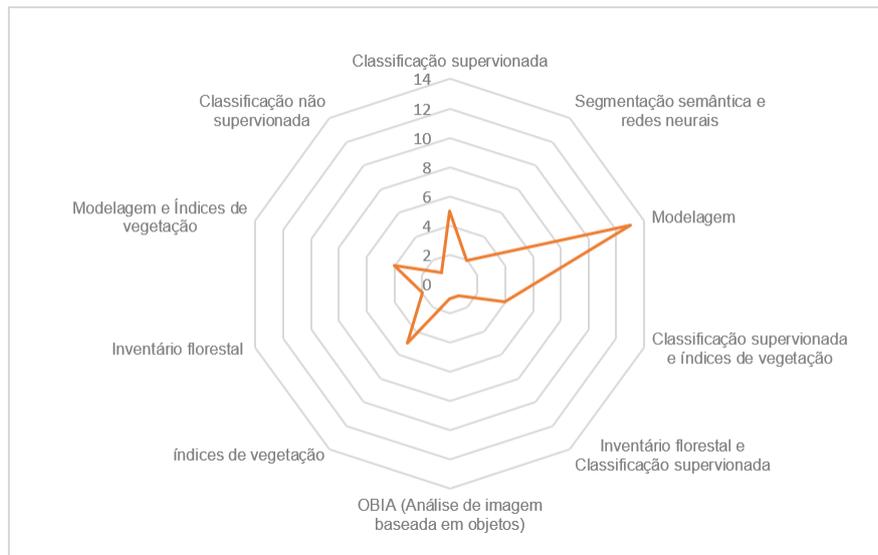
O satélite Landsat foi o primeiro desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas de recursos naturais (INPE, 2013), contribuiu significativamente para a compreensão do ambiente da Terra, gerou usos revolucionários de dados e incentivou uma nova geração de satélites comerciais que fornecem imagens espaciais regionais de alta resolução (Williams et al., 2006). Suas imagens podem ser obtidas gratuitamente, o que também pode ter motivado sua difusão. Sobre a metodologia mais frequente, o Gráfico 7 apresenta tais informações.

Gráfico 6: Satélites ou sensores citados nos artigos



Fonte: Autora (2022)

Gráfico 7: Metodologias mais frequentes nos artigos



Fonte: Autora (2022)

As metodologias mais frequentes nos artigos foram: modelagem (n=13), seguida de classificação supervisionada (n=5) e índices de vegetação (n=5), Modelagem e índices de vegetação (n=4) e Classificação supervisionada e índices de vegetação obtiveram (n=4) menções, OBIA (Análise de imagem baseada em objetos) (n=1) e Classificação não supervisionada (n=1) tiveram apenas uma citação nos trabalhos. A modelagem foi a metodologia mais utilizada, justamente por oferecer uma certa transparência nos valores de acurácia do modelo.

A modelagem é uma técnica amplamente utilizada em estudos ambientais, especialmente na modelagem de sistemas ecológicos e processos ambientais. Modelos matemáticos são utilizados para representar e prever o

comportamento desses sistemas complexos, permitindo a simulação de diferentes cenários e a avaliação do impacto de mudanças ambientais (Adams et al., 2003; Liu et al., 2007; Thuiller et al., 2008).

A classificação supervisionada é uma técnica de aprendizado de máquina usada para classificar dados em diferentes categorias com base em exemplos rotulados previamente, é frequentemente usada na classificação de imagens de satélite, como também para mapeamento da cobertura da terra (Friedl and Brodley, 1997; Congalton and Green, 1999).

A combinação de diferentes metodologias, como modelagem e índices de vegetação, ou classificação supervisionada foram observados em alguns dos artigos avaliados. A combinação dessas técnicas pode levar a resultados mais precisos e completos, permitindo melhor compreensão de sistemas complexos.

4. Conclusão

Os trabalhos acerca do mapeamento de estudos que abordam a quantificação de carbono em áreas de restauração na base de dados *Web of Science* foram relativamente poucos. Olhando especificamente para a temática da técnica de restauração florestal por semeadura direta, não foi encontrado nenhum artigo que abordasse essa questão.

Estudos como este são de suma importância à medida que auxiliam a reduzir as incertezas nos estoques de carbono florestal e, assim, ampliam o conhecimento acerca do ciclo do carbono, contribuindo, dessa forma, para a elaboração de políticas públicas e tomadas de decisão.

Acredita-se que trabalhos que detalhem quais índices de vegetação mais eficientes para o estudo da temática de carbono, os modelos e algoritmos usados na classificação supervisionada são importantes para entendermos os sucessos e insucessos dos pesquisadores da área. Por isso, é necessário testar a quantificação de carbono em diversos métodos de restauração florestal.

5. Referências

Ab'Sáber, A., Goldemberg, J., Rodés, L., & Zulauf, W. (1990). **Identificação de áreas para o florestamento no espaço total do Brasil**. <https://doi.org/10.1590/S0103-40141990000200005>

Adams, R. M., Chen, C. C., & McCarl, B. A. (2003). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate research*, 24(2), 97-111. <https://doi.org/10.3354/cr024097>

Alpino, T., Mazzoto, M., Barros, D., & Freitas, C. (2022). **Os impactos das mudanças climáticas na Segurança Alimentar e Nutricional: Uma revisão da literatura**. 27. <https://doi.org/DOI: 10.1590/1413-81232022271.05972020>

Braga, R. (2012). **Mudanças climáticas e planejamento urbano: Uma análise do Estatuto da Cidade**. https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/planejamentoterritorialegeoprocessamento640/md_roberto_artigos_artig_anppas.pdf

Cao, L., COOPS, N., INNES, J., & SHEPPARD, S. (2016). **Estimation of forest biomass dynamics in subtropical forests using multi-temporal airborne LiDAR data**. 178, 158–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.012>

Congalton, R. G., & Green, K. (1999). Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. **Lewis Publishers**.

Friedl, M. A., & Brodley, C. E. (1997). Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, 61(3), 399-409. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00049-7)

Filho, E. M. C.; Sartorelli, P. A. R. **Guia de árvores com valor econômico**. , 2015. Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2015/11/Guia_de_arvores_com_valor_economico_Agroicone.pdf >

G2 - Business Software Reviews. (2022). **The Top 18 Easiest To Use GIS Software**. https://www.g2.com/categories/gis?rank=4&tab=easiest_to_use#rank-4

Griscom, , Peter W. Ellisa, , Richard A. Houghtonc, , Guy Lomaxa, , Daniela A. Mitevad, William H. Schlesingere,1, David Shochf, , Juha V. Siikamäkig, , Pete Smithh, , Peter Woodburyi, , Chris Zganjara, Allen Blackmang, , João Camparij, , Richard T. Conantk, , Christopher Delgadol, , Patricia Eliasa, , Trisha Gopalakrishnaa, Marisa R. Hamsika, , Mario Herrerom, Joseph Kieseckera, , Emily Landisa, ... Griscoma, B. W. (2017). **Natural climate solutions**. 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

IMAZON. (2011). **Um resumo do Status das florestas em Países selecionados**. <https://imazon.org.br/um-resumo-do-status-das-florestas-em-paises-selecionados/>

IPCC. **AR6 Synthesis Report Climate Change 2023**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>>

INPE. (2013). **Landsat**. <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>

IUCN. (2022) IUCN. About Nature-based Solutions. Disponível em: <<https://www.iucn.org/our-work/nature-based-solutions>>. Acesso em: 27 dez. 2022.

Jacobi, P. R.; Sulaiman, S. N. Governança ambiental urbana em face das mudanças climáticas. **Revista USP**. n. 109, 2016.

Koller, S. H., Couto, M. C. P. de P., & Hohendorff, J. V. (Orgs.). (2014). **Manual de produção científica**. Penso. https://www.biosanas.com.br/uploads/outros/artigos_cientificos/18/6505082c2a7c23986651c7b1f7a4a92e.pdf

Kong, L., Lu, F., Enming, R., & Zhiyun, O. (2022). Carbon Sink under Different Carbon Density Levels of Forest and Shrub, a Case in Dongting Lake Basin, China. **Sensoriamento Remoto para Mapeamento de Vegetação e sua Aplicação no Balanço de Carbono**. <https://doi.org/10.3390/rs14112672>

Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., ... & Ostrom, E. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. **Science**, 317(5844), 1513-1516. <https://doi.org/10.1126/science.1144004>

López-Pujol, J., ZHANG, F.-M., & GE, S. (2006). Plant biodiversity in China: Richly varied, endangered, and in need of conservation. 15, 3983–4026. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-3015-2>

Lu, F., Sun, W., Zhu, J., Liu, G., & Zhou, W. (2018). Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010. 115(16), 4039–4044.

- Lucon, O. (2022). **Mudanças Climáticas**: Roteiro de Estudos.
- Machado, G., David, J., & Morgon, N. (2022). Perspectivas para 2022. 45(2), 137–137. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170873>
- Medeiros, Y. (2003). **Análise dos Impactos das Mudanças Climáticas em Região Semi-árida**. 8(2), 127–136.
- Neto, D. R. S. L.; Silva. TERRITÓRIO NO ENSINO DE GEOGRAFIA: algumas considerações sobre a mediação pedagógica com o Google Earth. **Pesquisar**, v. 1, n. 2, p. 2359–1870, 2017.
- Oliveira Junior, O. N. de. (2022). **O valor do conhecimento e o domínio da China**. <https://jornal.usp.br/?p=500101>
- ONU BRASIL. (2021). **Começa a Década da ONU da Restauração de Ecossistemas**. <https://brasil.un.org/pt-br/130341-comeca-decada-da-onu-da-restauracao-de-ecossistemas>
- SER, S. for E. R. I. (2004). **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**.
- Silveira, P. (2010). **Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial**. 40(4). <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v40i4.20330>
- Thuiller, W., Albert, C., Araujo, M. B., Berry, P. M., Cabeza, M., Guisan, A., Hickler, T., Midgley, G.F, J. Paterson, F. M. Schurr, M. T. Sykes, N.E. Zimmermann. (2008). Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, 9(3-4), 137-152. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.09.004>
- UNFCCC. (1997). **Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change**. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/cop3/107a01.pdf#page=24>
- Wei, Y., Li, M., Chen, H., & Lewis, B. (2013). **Variation in Carbon Storage and Its Distribution by Stand Age and Forest Type in Boreal and Temperate Forests in Northeastern China**. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072201>
- Williams, D. L., Goward, S., & Arvidson, T. (2006). **Landsat**. 10, 1171–1178. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.10.1171>
- WRI BRASIL. (2019). **Restauração Florestal: Beabá da restauração em 7 perguntas**. Programa de Florestas. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/o-beaba-da-restauracao-o-que-e-restauracao-florestal-em-7-perguntas>