

PADRÕES E TENDÊNCIAS NA MODELAGEM DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO COM DADOS ESPECTRAIS: UMA REVISÃO ABRANGENTE

Bruna Suellen Oliveira Mota¹

Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha²

Deorgia Tayane Mendes de Souza³

Rodrigo Nogueira Vasconcelos⁴

RESUMO

O Carbono Orgânico do Solo (COS) é um elemento essencial para superar e/ou mitigar muitos desafios socioambientais. Esta pesquisa analisa o conhecimento produzido no âmbito dos modelos de predição para COS por meio de dados espectrais de sensoriamento proximal, com a identificação de padrões e tendências em estudos globais desde o início do século XXI. Foram coletados 434 artigos na base Scopus, filtrados e analisados por meio de redes, mapas, gráficos e tabelas. Observou-se um aumento nas publicações ao longo dos anos; principais periódicos de indexação em que a *Geoderma* se destacou; a distribuição geográfica das publicações; com predominância de China e Austrália e diversidade de métodos multivariados, pré-tratamentos espectrais e métricas de desempenho, com destaque de PLSR, SG e R², respectivamente. Essas análises orientam futuras pesquisas diante das lacunas identificadas.

PALAVRAS-CHAVE: Revisão de literatura; Carbono Orgânico do Solo; Espectrorradiometria; Quimiometria e Modelos Preditivos.

PATTERNS AND TRENDS IN SOIL ORGANIC CARBON MODELING WITH SPECTRAL DATA: A COMPREHENSIVE REVIEW

ABSTRACT

Soil Organic Carbon (SOC) is an essential element for overcoming and/or mitigating many environmental challenges faced by society. In this sense, the present research aimed to analyze scientific publications focused on predictive models, SOC and spectroradiometry, in order to

¹Mestre em Ciências Ambientais (PPGM/UEFS) doutoranda no Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente/ Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana (PPGM/UEFS), Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: bsomota@uefs.br

²Doutor em Geologia (IGEO/UFBA), Professor do PPGM/Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: wrocha@uefs.br

³Doutora em Geociências Aplicadas e Geodinâmica (PPGGAG/UnB), Professora do PPGM/ Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, Bahia, Brasil e do Departamento de Educação, Ciência e Cultura (DEDC-11) da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Campus Serrinha. E-mail: dtmsouza@uefs.br

⁴Doutor em Ecologia (PGEc/UFBA), Professor do PPGM/ Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil. E-mail: rnvuefsppgm@gmail.com

identify patterns and trends, based on studies conducted worldwide since the beginning of the XXI century. The Scopus database was used to obtain documents of the article type only, and as a result of the searches, a total of 434 works were obtained, which underwent the filtering process, and then the metrics were generated, such as networks, map, graph and table. An increase in publications was observed over the years; the main indexing journals, with *Geoderma* standing out; the geographical distribution of publications, with China and Australia showing predominance; and a diversity of multivariate methods, spectral pre-processing techniques, and performance metrics, with PLSR, SG, and R^2 standing out, respectively. These analyses help guide future research in light of the identified gaps.

KEYWORDS: Literature Review; Soil Organic Carbon, Spectroradiometry; Chemometrics and Predictive Models.

PATRONES Y TENDENCIAS EN EL MODELADO DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO CON DATOS ESPECTRALES: UNA REVISIÓN INTEGRAL

RESUMEN

El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es un elemento esencial para superar y/o mitigar muchos desafíos socioambientales. En este sentido, la presente investigación tuvo como objetivo analizar publicaciones científicas centradas en modelos predictivos, COS y espectrorradiometría, con el fin de identificar patrones y tendencias, basándose en estudios realizados a nivel mundial desde el inicio del siglo XXI. Se utilizó la base de datos Scopus para obtener documentos únicamente del tipo artículo y, como resultado de las búsquedas, se obtuvo un total de 434 trabajos, los cuales pasaron por un proceso de filtrado y posteriormente se generaron métricas, tales como redes, mapas, gráficos y tablas. Se observó un aumento en las publicaciones a lo largo de los años; las principales revistas indexadas, destacándose *Geoderma*; la distribución geográfica de las publicaciones, con predominio de China y Australia; y una diversidad de métodos multivariados, técnicas de preprocesamiento espectral y métricas de rendimiento, destacándose PLSR, SG y R^2 , respectivamente. Estos análisis ayudan a orientar futuras investigaciones a la luz de las brechas identificadas.

PALABRAS-CLAVE: Revisión de Literatura; Carbono Orgánico del Suelo; Espectrorradiometría; Quimiometría y Modelos Predictivos.

INTRODUÇÃO

As condições climáticas atuais, tem gerado preocupações e mobilizações em escala global. Conforme Olsson et al. (2019) descrevem no capítulo 4 do relatório do IPCC, no sentido da degradação da terra, que agricultura é a atividade que mais afeta o solo, sendo um agente de

forte influência para as dinâmicas climáticas, uma vez que consiste em um dos compartimentos terrestres que possuem maior capacidade de estocagem de carbono (JANZEN 2005; MACHADO, 2005; ROMÃO, 2012; GUO, et al., 2019). Assim, as formas de manejo agrícola, podem causar tanto intensificação, quanto redução das taxas de carbono liberadas para a atmosfera na condição de Dióxido de Carbono (CO₂), um Gás de Efeito Estufa (GEE). Além dos benefícios propiciados para o dinâmica térmica do planeta, a presença do carbono no solo, especificamente na forma orgânica, desempenha uma série de funções importantes, incluindo processos físicos e químicos, sendo este um importante indicador de qualidade (ROMÃO, 2012) e segurança desse sistema solo (MCBRATNEY, 2014), visto que desempenha funções significativas para superar e/ou mitigar muitos desafios ambientais que permeiam a sociedade.

Estudos de variáveis que influenciam este cenário ganham força, visto que a obtenção de informações confiáveis a respeito de fenômenos antrópicos e naturais são imprescindíveis para a adoção de medidas favoráveis à mitigação dos efeitos da ação do homem para a dinâmica natural do planeta, sobretudo quando a aquisição de tais informações é realizada com o subsídio de métodos de quantificação limpos, baratos e rápidos. Portanto, conhecer a produção científica a respeito de tais variáveis é um importante indicador para trabalhos futuros, seja pelo modo de realização destes ou pela identificação de lacunas existentes a serem contempladas.

A produção científica versa sobre a disseminação do conhecimento adquirido por meio de pesquisas em âmbito acadêmico e está diretamente relacionada ao desempenho dessas instituições, bem como áreas de interesse de estudo e relevância de investigação (LOPES, et al. 2012). O entendimento desses comportamentos, pode ser adquirido por meio de revisões da literatura (GALVÃO et al., 2017).

Nos últimos anos, tem ganhado destaque o uso de abordagens híbridas de revisão da literatura que combinam análise bibliométrica com elementos de revisão sistemática ou crítica. Esse enfoque integrado permite alinhar a quantificação de tendências e padrões da produção científica fornecida pela bibliometria com a síntese criteriosa e o rigor metodológico característicos das revisões sistemáticas (LINNENLUECKE ET AL. 2020, VASCONCELOS, et al 2024). Em outras palavras, a bibliometria e a revisão sistemática se complementam: a primeira identifica redes de colaboração, temas emergentes, periódicos e países-chave, a segunda assegura critérios explícitos de busca, triagem e avaliação da qualidade dos estudos (CHEN, 2017; FAHIMNIA 2015). Essa complementaridade aumenta a confiabilidade das

conclusões, pois produz uma visão simultaneamente quantitativa e qualitativa do estado da arte, destacando lacunas e oportunidades de pesquisa que nem sempre são evidentes quando se emprega apenas um dos métodos (JOHRI, 2024).

No contexto específico do Carbono Orgânico do Solo (COS) e do uso de dados espectrais (espectrorradiometria) para sua quantificação, a abordagem híbrida é particularmente pertinente. O COS é um indicador central da qualidade do solo e peça-chave no ciclo do carbono, com implicações diretas para mudanças climáticas e serviços ecossistêmicos (GUO, et al., 2019; RIBEIRO *et al.*, LEFÉVRE, 2017). Métodos espectrais (p. ex., espectroscopia no visível-infravermelho próximo e no infravermelho médio, além de sensoriamento remoto óptico) consolidaram-se como alternativas rápidas, de baixo custo e não destrutivas às análises laboratoriais tradicionais, viabilizando estimativas de COS em escalas espacial e temporal amplas (Horst-Heinen et al. 2021). Dado o crescimento acelerado da literatura para COS, já existem revisões que mapeiam a dinâmica de COS, entretanto comumente vinculados a métodos tradicionais de análise e/ou Sensoriamento Remoto como Zhang (2023) e Lima et al. (2025), sem haver ênfase em métodos multivariados enquanto objeto de estudo, a exemplo de Piccini et al. (2024).

Assim, permanecem lacunas quanto à consolidação do estudo de COS associado a modelos de predição por espectrorradiometria, principalmente vinculados a tendências históricas e atuais, padronização de métricas e reproduzibilidade em diferentes contextos edafoclimáticos. Nessa perspectiva, uma revisão híbrida que une mapeamento bibliométrico e síntese sistemática oferece um quadro integrado para: (i) quantificar a evolução do campo; (ii) qualificar o que tem sido feito (métodos, dados e métricas); e (iii) orientar agendas futuras de pesquisa e aplicações.

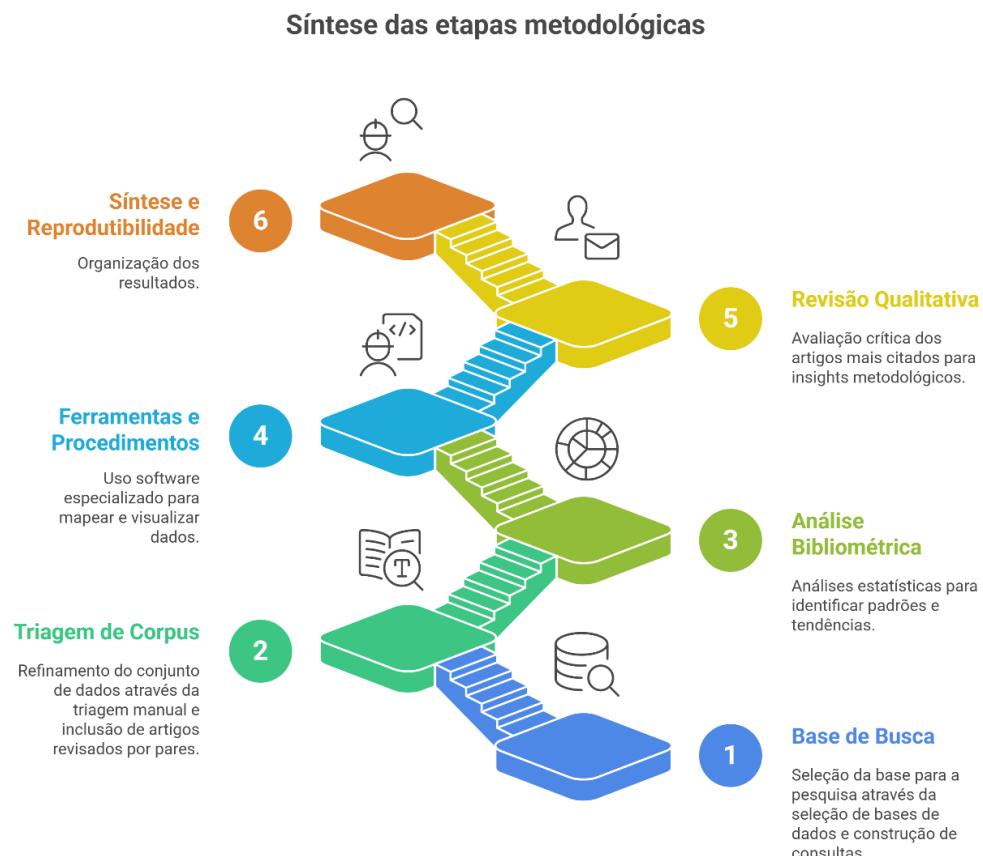
Dado exposto, o presente estudo consiste na realização da análise bibliométrica para investigar como tem ocorrido o comportamento dos estudos que utilizam modelos preditivos por meio de dados espectrais para quantificação do Carbono Orgânico, assim pretende-se analisar artigos indexados na base de dados da Scopus, buscando artigos relacionados a temática no recorte temporal de 2001 à 2021. Esta busca objetiva especializar a realização desses estudos entre os países, investigar o desenvolvimento dessas pesquisas ao longo dos anos e as principais revistas nas quais esses trabalhos encontram-se indexados, e por fim, identificar os principais arcabouços metodológicos relativos ao tema.

MATERIAL E MÉTODO

Adotamos um arcabouço metodológico abrangente e integrativo, que combina técnicas tradicionais de bibliometria com descritores qualitativos e quantitativos Derviş (2019), incorporando elementos de protocolos de revisão sistemática. Essa abordagem híbrida envolveu o exame direcionado de seções específicas de artigos selecionados, a fim de extrair informações detalhadas sobre modelos, variáveis e aplicações relacionadas à modelos preditivos por espectrorradiometria para análise de carbono no solo. Ao integrar múltiplas camadas analíticas, buscamos alcançar uma compreensão robusta e multidimensional do progresso científico nesse campo (Figura 1).

Um aspecto central da metodologia consistiu no desenvolvimento e análise de redes de co-ocorrência, com o objetivo de identificar padrões temáticos, tendências de pesquisa e agrupamentos conceituais associados aos avanços metodológicos associados a modelos preditivos por espectrorradiometria para análise de carbono no solo. A fase inicial da pesquisa contemplou três atividades principais: a seleção da base bibliográfica, a definição de termos semânticos pertinentes e o estabelecimento de critérios de filtragem. Optamos pela base Scopus devido à sua ampla cobertura da literatura revisada por pares e às suas robustas capacidades bibliométricas. Foi construída uma consulta booleana estruturada, incorporando terminologias recorrentes na literatura modelos preditivos por espectrorradiometria para análise de carbono no solo. Essa consulta foi refinada por meio da aplicação de filtros para excluir literatura cinzenta, artigos de revisão, anais de conferências, capítulos de livros e outras fontes não originais (Figura 1).

Figura 1. A figura ilustra a sequência de procedimentos implementados em cada etapa do estudo.



Em nosso estudo, utilizamos o período de publicação até 2021, a fim de evitar redundâncias decorrentes de conteúdos sobrepostos em diferentes formatos. Após a recuperação dos dados relevantes, implementamos um processo criterioso de triagem manual. Foram avaliados títulos e resumos de todos os documentos para verificar sua aderência aos objetivos da pesquisa. Nos casos de ambiguidade, foi realizada a leitura integral dos textos para assegurar a relevância. Essa abordagem garantiu a precisão e a coerência do corpus utilizado nas análises subsequentes (Figura 1).

Com o corpus refinado, realizamos um conjunto de análises bibliométricas, incluindo estatísticas descritivas de publicações, avaliação da produção científica por país, análise de tendências temporais de tópicos-chave, construção de redes de co-ocorrência de palavras-chave, rede de países que mais publicam por ano e suas relações, análise da produtividade de

autores ao longo do tempo e mapeamento das redes de colaboração internacional. Para aprofundar a compreensão das principais contribuições do campo, todos os artigos foram analisados como indicadores de impacto científico. Esses trabalhos de maior relevância passaram por uma análise qualitativa detalhada, que permitiu extrair informações sobre as abordagens de modelagem utilizadas, componentes e variáveis consideradas, fontes de dados, áreas de estudo, técnicas de visualização e número total de citações. Essa revisão focada possibilitou destacar avanços metodológicos e identificar lacunas de conhecimento no âmbito dos modelos preditivos por espectrorradiometria para análise de carbono no solo.

O arcabouço metodológico empregado nesta pesquisa, juntamente com as questões norteadoras, as fontes de dados, encontra-se resumido na Tabela 1 e na Figura 1, reforçando a transparência e a reproduzibilidade do estudo.

Tabela 1- Aborda as questões norteadoras da pesquisa e respectivas fonte de aquisição de respostas

QUESTÕES NORTEADORAS	FONTE DE ANÁLISE
Tendência de desenvolvimento das pesquisas?	Todos os artigos
Quais são as técnicas utilizadas para construção dos modelos de predição para Carbono Orgânico solo?	Artigos lidos
Quais os cálculos para avaliar o desempenho dos modelos?	Artigos lidos
Quais as técnicas de pré-processamento aplicadas aos espectros?	Artigos lidos
Quais os países que publicam e a relação entre eles?	Todos os artigos
Quais os principais periódicos alvo de indexação?	Todos os artigos

Base bibliográfica

Este estudo utilizou a base Scopus como principal fonte de dados bibliográficos, selecionada por sua ampla cobertura e recursos analíticos avançados. Lançada em novembro de 2004 e desenvolvida pela Elsevier, a Scopus consolidou-se como uma das plataformas de indexação científica mais abrangentes disponíveis (ELSEVIER, 2020). A base disponibiliza dados de citação a partir de 1996, permitindo análises detalhadas de tendências globais de

pesquisa e da produção científica em múltiplas áreas do conhecimento (ELSEVIER, 2020). Atualmente, indexa mais de 53 milhões de registros provenientes de mais de 24.000 periódicos científicos revisados por pares, abrangendo um amplo espectro disciplinar. Sua interface online conta com recursos avançados de busca, incluindo operadores booleanos estruturados e filtros específicos por campo, o que possibilita a recuperação eficiente, reproduzível e metodologicamente consistente da literatura (ELSEVIER, 2020).

As características da Scopus tornam-na particularmente vantajosa para revisões sistemáticas e análises bibliométricas, oferecendo tanto cobertura abrangente quanto precisão na identificação de contribuições acadêmicas relevantes. Dessa forma, selecionamos a Scopus como a única fonte de dados para este estudo (Figura 1), de modo a construir um corpus robusto e de alta qualidade, capaz de representar adequadamente o estado atual da pesquisa científica sobre predição para COS por meio de dados espectrais de sensoriamento proximal (ELSEVIER, 2020).

Estratégia de busca

A estratégia de busca foi elaborada a partir da seleção de palavras-chave, termos compostos e operadores booleanos, de modo a maximizar a recuperação de registros relevantes e de alta precisão. A formulação da consulta constituiu uma etapa crítica para a definição do escopo e dos limites da revisão bibliográfica. A seguinte string de busca foi utilizada para assegurar uma base abrangente e tematicamente consistente: TITLE-ABS-KEY(("Soil" OR "Pedology") AND ("Spectral" OR "Spectrum" OR "Spectroradiometer*") AND ("Organic Carbon") AND ("Prediction*" OR "Predict" OR "Predictions" OR "Predictive Models")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")).

Após definida a *query string* de busca, foram inseridos filtros para refinar a pesquisa e remoção de resultados os quais não eram condizentes com o que era pretendido. Posteriormente, a exclusão áreas não condizentes com os termos, como: Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Immunology and Microbiology, Mathematics, Business, Management and Accounting, Health Professions, Medicine e Neuroscience. E a última seleção foi referente ao tipo do documento, admitindo-se apenas artigos.

A triagem inicial foi realizada manualmente, por meio da análise detalhada de títulos e resumos. Em situações de incerteza quanto à relevância dos trabalhos para no âmbito dos

modelos preditivos por espectrorradiometria para análise de carbono no solo, foi conduzida a leitura integral dos artigos. Estudos que não atendiam aos critérios de inclusão, como literatura cinzenta, artigos de revisão, anais de conferências, capítulos de livros e monografias, foram excluídos a fim de manter o corpus restrito a artigos originais publicados em periódicos revisados por pares.

O corpus refinado foi então analisado para identificar as publicações mais citadas, consideradas representativas das contribuições de maior relevância no campo. Essa estratégia permitiu destacar trabalhos seminais e avanços metodológicos que moldam o estado da arte associado aos modelos preditivos por espectrorradiometria para análise de carbono no solo.

Análise dos dados

Para a análise quantitativa e estatística das publicações recuperadas, utilizamos o pacote Bibliometrix no R (Aria et al., 2017) e o software VOSviewer (versão 1.6.17) (Van Eck & Waltman, 2021). O Bibliometrix é uma estrutura de código aberto desenvolvida para análises cienciométricas e bibliométricas, permitindo avaliar métricas de publicação, produtividade de autores, padrões de colaboração e desempenho de citações. O VOSviewer, por sua vez, é direcionado à construção e visualização de redes bibliométricas, possibilitando a exploração gráfica das relações entre periódicos, pesquisadores, instituições, países e termos textuais extraídos das publicações (Van Eck & Waltman, 2021).

Para a geração de redes de coocorrência de termos, foram extraídas informações de títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. No VOSviewer (1.6.17), utilizamos a opção *map based on text data* a partir dos arquivos exportados da base bibliográfica. O algoritmo de contagem binária foi aplicado para quantificar a frequência de ocorrência de termos, e um arquivo de tesauro foi criado para reduzir redundâncias e harmonizar variações semânticas. Definiu-se um limiar mínimo de XX ocorrências para inclusão dos termos na rede, assegurando a construção de um mapeamento representativo e consistente dos padrões temáticos presentes no corpus.

As análises referentes à produtividade científica, tendências temporais de publicação, produtividade de autores, artigos mais citados e padrões de colaboração internacional foram conduzidas com o Bibliometrix (Aria et al., 2017). A análise por país foi baseada no campo de metadados C1 (afiliação dos autores), com padronização automatizada pelo software. As

colaborações internacionais bilaterais foram identificadas em artigos com autores vinculados a instituições de diferentes países, contabilizando-se cada par de países uma única vez por publicação. A partir desses dados, foi construída uma matriz de colaboração, representada em uma rede global na qual os nós correspondem a países e as arestas a relações de coautoria, com espessura proporcional ao número de publicações conjuntas.

Para apoiar a etapa de revisão sistemática, selecionamos 320 artigos do total recuperado e organizamos a análise em dois períodos (2001–2010 e 2011–2021). Essa divisão teve como objetivo contemplar artigos mais citados em diferentes períodos, evitando vieses temporais e permitindo observar a evolução do campo ao longo do tempo. Todos os artigos selecionados foram analisados em texto completo, com extração manual dos dados relevantes diretamente do corpo principal dos trabalhos, possibilitando interpretação qualitativa e classificação temática.

Todos os procedimentos estatísticos e as visualizações foram realizados no R versão 4.0.4 (Team, R, 2013, R Core Team, 2020) no ambiente RStudio IDE versão 1.4.1106 (RStudio, 2020), com suporte dos pacotes ggplot2 versão 3.3.5 (Wickham, H., 2018) e Bibliometrix versão 3.1.4 (Aria et al., 2017).

RESULTADOS

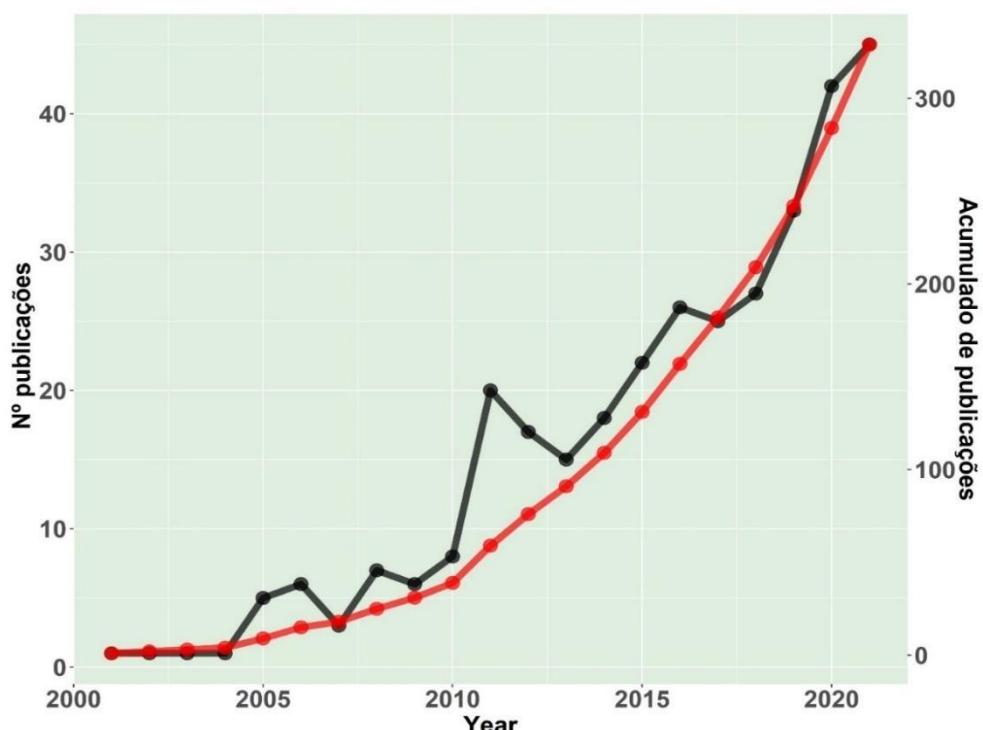
De acordo com as buscas realizadas, o último conjunto de termos selecionado, abrangendo a escala temporal de 2001 a 2021, resultou em 434 artigos. Destes, 114 foram desconsiderados para as análises métricas, após a leitura de títulos e resumos, por apresentarem temáticas mais distantes do objetivo proposto. Assim, 320 artigos foram utilizados na elaboração dos produtos subsequentes, sendo divididos em dois períodos: o primeiro compreendendo 2001 a 2010 e o segundo, 2011 a 2021.

A Figura 2, demonstra o avanço das publicações relacionadas à predição de carbono orgânico no solo por meio de dados espectrais, considerando a escala temporal de vinte e um anos. Observa-se uma constante evolução das pesquisas, apesar de algumas variações, com tendência a um crescimento significativo nos próximos anos.

Considerando as duas escalas temporais selecionadas para análise, no período de 2001 a 2010, nota-se uma menor intensidade de publicações e algumas variações ao longo dos anos, registrando apenas um artigo nos quatro primeiros anos e oito em 2010. Entretanto, a partir

desse ano observa-se um crescimento expressivo, com 20 publicações em 2011, ano de início do segundo período. Esse aumento significativo pode estar relacionado à recente emissão de CO₂ registrada pelo relatório do IPCC (IPCC, 2018) para 2010, gerando uma maior preocupação e atenção com estudos voltados à dinâmica do carbono.

Figura 2- Gráfico de desempenho de publicações indexadas na base de dados Scopus, durante os anos de 2001 a 2021.



Dentre os dados apresentados na Tabela 2, destacam-se as 15 revistas com maior número de publicações indexadas no banco de dados, totalizando 236 artigos, o que corresponde a 71% do total. Observa-se a predominância de periódicos voltados a área de Sensoriamento Remoto e Ciência Do Solo com destaque para *Geoderma* (65 publicações), *Soil Science Society Of America Journal* (27) e *Remote Sensing* (24), que concentram maior número de trabalhos indexados.

Entretanto, também foram identificados periódicos de áreas correlatas, como Meio Ambiente, Engenharia e Agricultura, embora em menor frequência, com menos de sete artigos cada. Ressalta-se ainda, que apesar de algumas revistas apresentarem poucas publicações,

possuem alto fator de impacto, como a exemplo da *Remote Sensing Of Environment* que registra apenas 5 publicações indexadas, mas apresenta fator de impacto 10.164 conforme informações disponibilizadas pela *Elsevier*.

Tabela 2- Relação das 15 revistas por ordem de quantidade de documentos publicados a respeito de predição de carbono orgânico por espetrorradiometria, durante o período de 2001 e 2021

Documentos By Afiliation	Documentos publicados	Citação	Fator de impacto
Geoderma	65	5830	6.114
Remote Sensing	24	366	10.164
Soil Science Society Of America Journal	27	783	2.307
European Journal Of Soil Science	23	942	4.940
Soil And Tillage Research	17	625	5.374
Journal Of Near Infrared Spectroscopy	10	281	1.372
Comunications in Soil Science and Plant Analysis	6	25	1,26
Computers And Electronics In Agriculture	6	224	5.565
Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering	6	56	1.65
Soil Science	6	271	1.16
Biosystems Engineering	5	437	4.123
Canadian Journal of Soil Science	5	107	1.53
Catena	5	57	5.198
Land Degradation And Development	5	31	4.977
Remote Sensing Of Environment	5	375	10.164
Science Of The Total Environment	5	108	796
Applied and Environmental Soil Science	4	97	2.00
International Journal of Applied Earth Observation	4	159	5.933
Journal of Plant Nutrition and Soil Science	4	160	2.426
Revista Brasileira de Ciencia do Solo	4	19	1.683

A rede apresentada na Figura 3, indica a distribuição de publicações por países bem como as relações entre eles, onde os nós representam a intensidade de publicação, as linhas demonstram as conexões entre os autores de acordo com a localidade e as cores, o período de publicação. Enquanto a Figura 4, mostra a espacialização desses dados, indicando o total de trabalhos publicados por cada país.

Observa-se que a China, Alemanha, Estados Unidos e Austrália, apresentaram destaque no quantitativo de publicações, com respectivamente 164, 119, 98 e 78. Apesar do volume expressivo a maioria desses países não apresentam publicações recentes, com a exceção da China, que manteve até cerca de 2018. Em contrapartida, Brasil, Grécia Irã e Índia, embora com menor intensidade de produção, concentram as publicações mais recentes por volta de 2020, sugerindo uma tendência de crescimento da participação desses países na temática analisada, levando em consideração que o último ano da escala temporal compreendida foi 2021.

De modo geral, ocorre uma distribuição mundial desigual dos artigos publicados a respeito de modelos preditivos para quantificação de COS, por dados espectrais, sendo menos expressivo, tanto no continente africano quanto na América. A América Central não representa nenhum quantitativo e a América do sul, apenas 5 países ainda com poucos artigos.

Figura 3-Rede de países que mais publicam por ano e suas relações.

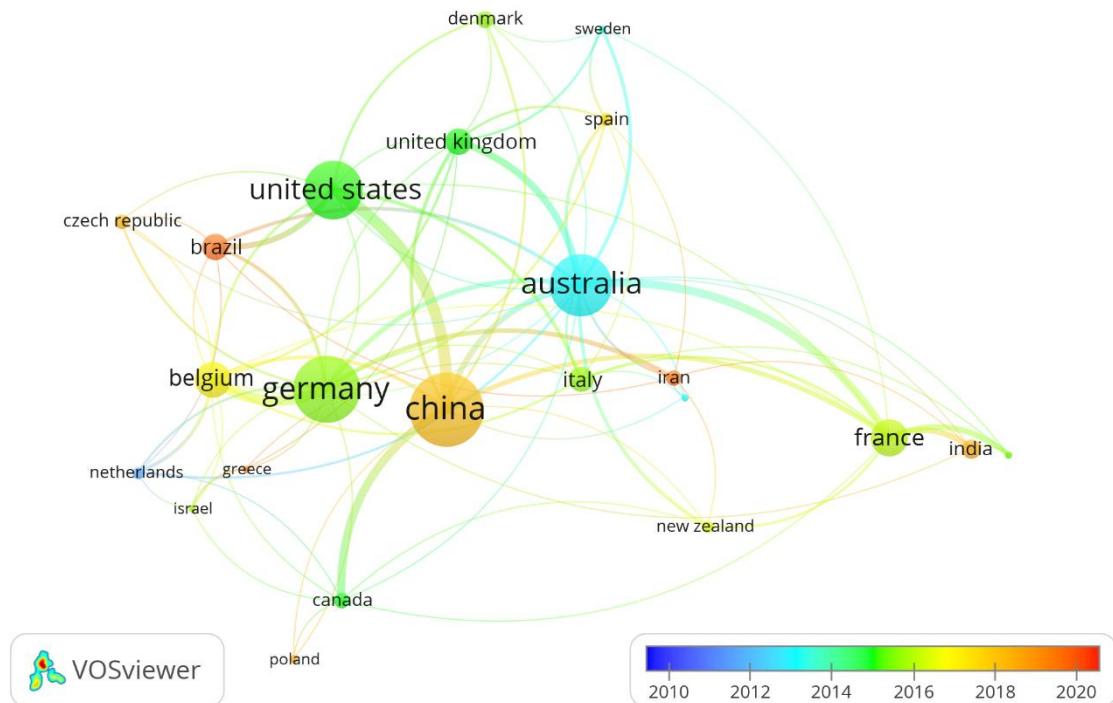
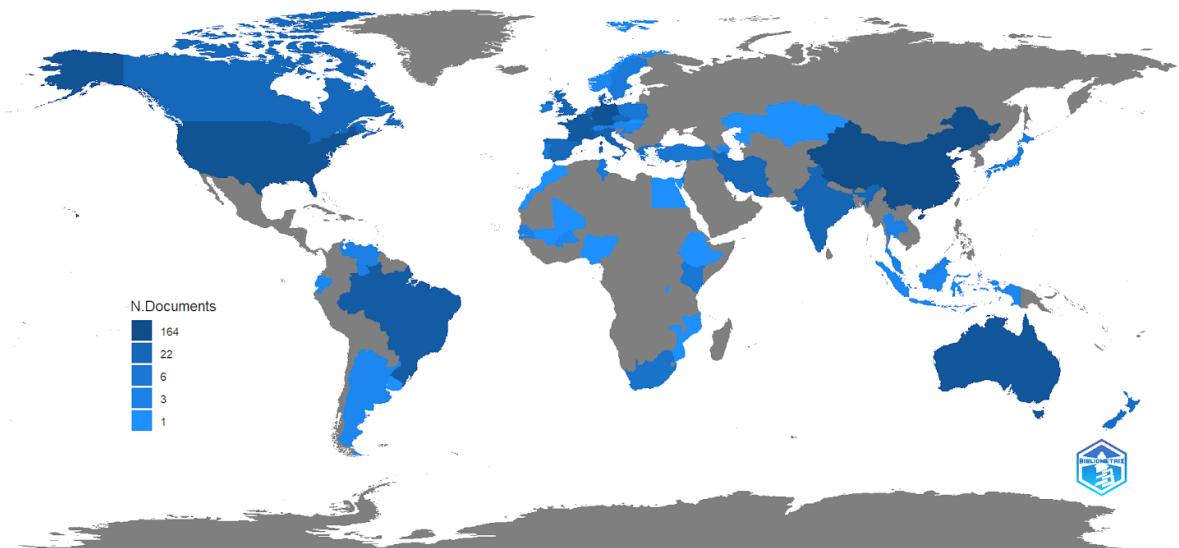


Figura 4- Distribuição mundial de quantidade de publicações por países

Country Scientific Production



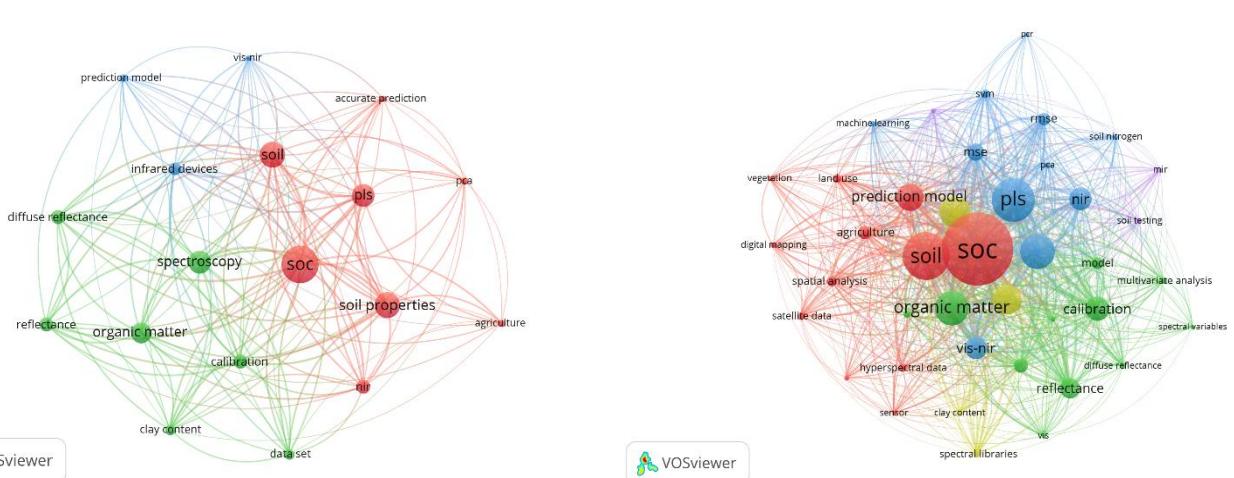
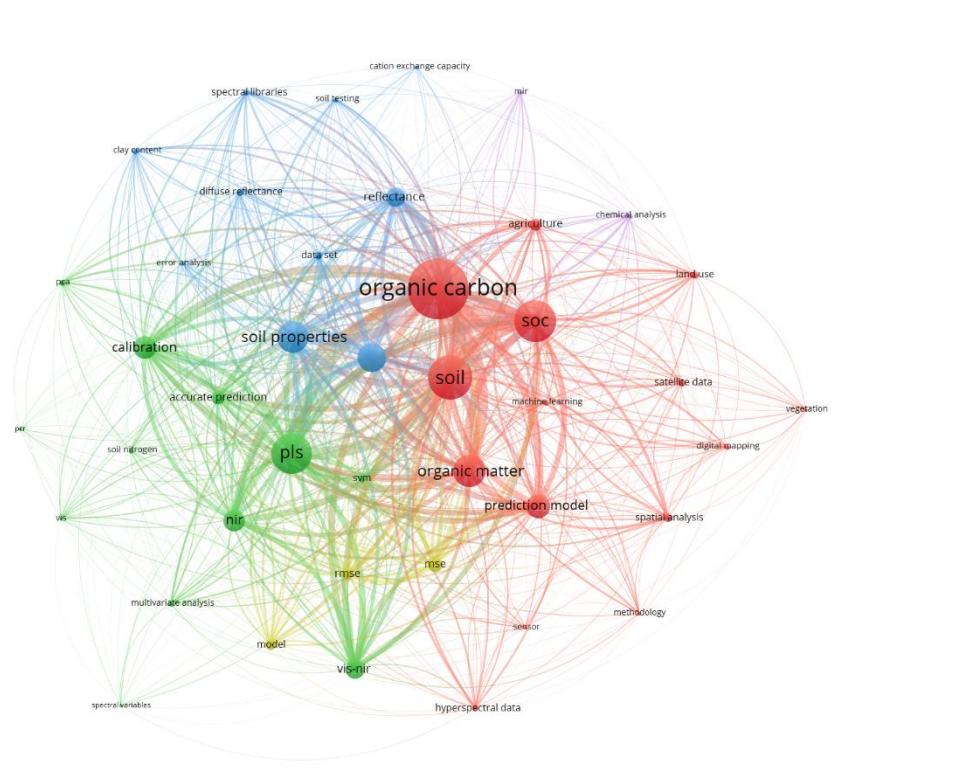
Conforme com a Figura 5a, a rede de distribuição de co-ocorrência dos termos mais utilizados nos artigos obtidos, as palavras de destaque são SOC, Carbono Orgânico, Solos, Matéria orgânica, Modelos preditivos, Propriedades do solo e PLS, estando em conformidade com as palavras chave utilizadas para a equação de busca na *Scopus database*, com o acréscimo de alguns outros termos, que apesar de não constar na equação demonstram grande relevância, em razão do destaque recebido na rede.

As palavras apresentadas, estão divididas em 4 *clusters* principais, onde o amarelo refere-se a termos estatísticos e o cluster verde apresenta variáveis similares, com a inclusão de comprimentos de ondas como NIR e VIS-NIR, contatando uma certa confusão na distinção dos termos já que ambos os *clusters* poderiam estar unificados. Enquanto o cluster azul apresenta características espectrais como por exemplo, comprimento de ondas, reflectância, biblioteca espectral, dentre outras, e o vermelho, atributos voltados a pedologia com por exemplo, SOC, Carbono orgânico, Solo e matéria orgânica os quais, apresentam menor densidade de palavras.

As redes demostradas na 5b e c refere-se aos períodos, exibem variados comportamentos. A Figura 5b, representa o primeiro período, em que a rede é menos densa e

apresenta apenas três *clusters*, o que ocorre em razão da menor quantidade de artigos publicados nesse período, somando 39. Em contrapartida, a rede referente ao segundo período, exibe uma maior densidade, se assemelha a rede geral tanto em questão de quantidade de *clusters*, quanto pelas palavras de destaque, o que ocorre em razão da predominância no quantitativo de artigos para esse período, com aproximadamente 82%.

Figura 5- Rede de distribuição de termos em relação a sua frequência nos artigos científicos. A- Para todos os anos do estudo; b- Primeiro período compreendido entre 2001- 2010; c) segundo período, 2011-2021



De acordo com a porcentagem de artigos previamente estabelecido para leitura na íntegra, realizou-se a leitura 12 artigos referente ao primeiro período, e 79 ao segundo, buscando

analisar as metodologias associadas e principalmente, os métodos multivariados usados para calibração, de modo a identificar as tendências.

Houve predominância de publicações com alto quantitativo de citações durante o ano de 2011, contabilizando nove, dos quais a *Geoderma* e *European Journal of Soil Science* são os principais repositórios. Entretanto, a *Geoderma* foi a revista primordial na divulgação do conhecimento científico criado sobre o tema no período temporal observado, visto que contabilizou 15 artigos do total lido, incluindo o trabalho com maior número de citações. Essa elevada taxa de trabalhos indexados atribui grande importância a essa revista quando comparada às demais.

O quantitativo de citações apresenta relação direta com a relevância do conteúdo abordado nas pesquisas. Nesse sentido, entre os artigos analisados por meio da leitura, observou-se a predominância de trabalhos com alto impacto no primeiro período, principalmente sob a autoria de Viscarra Rossel, Gomez e Mouazen. Destaca-se que o primeiro autor contribuiu com dois artigos com citações expressivas em ambos, quando comparado aos demais. O principal artigo é intitulado *Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties* (VISCARRA ROSSEL et al., 2006), que obteve 1315 citações, e o segundo mais citado foi *Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra*, com 708 (VISCARRA ROSSEL et al., 2006) do, ambos publicados na revista *Geoderma* (Tabela 2). Fica destacado a contribuição pioneira deste, inclusive quando observado o segundo período, com outra publicação de destaque em 2012 no *European Journal of Soil Science*.

De acordo com a leitura dos artigos, observou-se a utilização de inúmeros métodos, sejam de calibração, pré-tratamento e métricas de desempenho (Tabela 3), em que houveram ênfase tanto no sentido comparativo, quanto de influência de propriedades específicas (como teor de argila e umidade) para a previsão. Dentre os modelos de calibração identificados, Regressão de Mínimos Quadrados Parciais (PLSR) apresentou maior destaque, sendo observado desde o primeiro artigo publicado, aos mais recentes (Tabela 3). No segundo período, houve variação entre os métodos não lineares, exibindo tanto o aumento da aplicação, como por exemplo, *Support Vector Machine* (SVM), quanto a manutenção do quantitativo no caso de Random Forest (RF), até a diminuição com Redes Neurais Artificiais (ANN) e Splines de Regressão Adaptativa Multivariada (MARS) (Tabela 3). Além disso, houve também a

utilização de métodos que não haviam sido obtidos no conjunto lido para o primeiro período, o que não descarta ocorrência, mas reflete a sua representatividade.

Em relação aos tipos de pré-tratamento, foram identificados diversos métodos, com destaque a Savitzky e Golay (1964), que permanece amplamente utilizado desde o primeiro período analisando, apresentando crescimento no mais recente. Outros métodos exibiram o comportamento semelhante, como a Transformação Variável Normal Padrão (SNV), Reamostragem, Normalização, Absorbância, Correção de Dispersão Multiplicativa (MSC) e Primeira Derivada (PD).

As métricas de desempenho seguiram a mesma tendência, com grande variedade de equações identificadas. Entre as mais utilizadas destacam-se o Desvio Residual De Predição (RPD), Erro Quadrático Médio (RMSE), Coeficiente de Determinação (R^2), que se mantêm representativas desde o primeiro período analisado.

Tabela 3- Relação dos métodos multivariados, pré-tratamentos e métricas de desempenho mais utilizadas em porcentagem (%), considerando os 33 artigos lidos na íntegra.

Métodos multivariados	Primeiro período	Segundo período
Regressão por mínimos quadrados (PLSR)	83,0%	82,2%
Regressão por Componentes Principais (PCR)	16,6%	2,5%
Regressão por Máquina de Vetor de Suporte (SVMR)	8,3%	12,6%
Florestas Aleatórias (RF)	8,3%	8,8%
Redes Neurais Artificiais (ANN)	16,6%	7,6%
Regressão Linear Multipla (MLR)	16,6%	5,0%
Splines de Regressão Adaptativa Multivariada (MARS)	8,3%	0,0%
Redes Neurais Convolucionais (CNNs)	0,0%	1,3%
Árvores Impulsionadas (BT)	8,3%	0,0%
Média do Modelo Baysiano (BMA)	0,0%	1,3%
Regressão de Processo Gaussiano (GPR)	0,0%	1,3%
Cubist	0,0%	3,8%
Aprendizagem Baseada em Espectro (SBL)	0,0%	1,3%
Pré-tratamentos	Primeiro período	Segundo período
Suavização (SMO)	33,3%	7,6%
Savitzky-Golay (SG)	25,0%	59,5%
Transformação Variável Normal Padrão (SNV)	33,3%	49,3%

Correção de Dispersão Multiplicativa (MSC)	8,3%	27,8%
Absorbância (A)	16,6%	27,8%
Remoção do Contínuo (CRR)	8,3%	6,3%
Normalização por Intervalo (NBR)	0,0%	1,3%
Segunda Derivada (SD)	8,3%	8,8%
Primeira Derivada (PD)	8,3%	25,3%
Análise por Componentes Principais (PCA)	8,3%	3,8%
Reamostragem (R)	16,6 %	49,3%
Normalização (N)	8,3%	13,9%
Ortogonalização de Parâmetros Externos (EPO)	0,0 %	3,8%
Centralização Média (MC)	8,3%	1,3%
Remoção de tendência (Drending)	0,0 %	5,0%
Padronização Direta por Parte (PDS)	0,0 %	1,3%
Transformada Discreta de Wavelet (DWT)	0,0 %	2,5%
Subtração Constante (SCO)	0,0 %	1,3%
Subtração de Função Linear (SLF)	0,0 %	1,3%
Métricas de desempenho	Primeiro período	Segundo período
Desvio Residual De Predição (RPD)	58,3%	62,0%
Erro Quadrático Médio (RMSE)	50,0%	65,8%
Coeficiente de Determinação (R^2)	66,6%	73,4%
Razão do Desempenho para o Intervalo Interquartil (RPIQ)	8,3%	17,7%
Erro Médio (EM)	8,3%	11,3%
Erro Padrão (SE)	0,0%	2,5%
Erro de Calibração (SEC)	8,3%	3,8%
Erro de Validação (SEP)	16,6%	3,8%
Erro de Validação Cruzada (SECV)	8,3%	1,3%
Critério de Informação de Akaike (AIC)	16,6%	1,3%
Desvio Padrão do Erro (SDE)	8,3%	2,5%
Razão entre a Amplitude e o Erro (RER)	16,6%	1,3%
Viés (BIAS)	0,0 %	7,6%
Coeficiente de Correlação de Concordância (ρ_c)	0,0 %	2,5%
<i>Pronounced Pearl</i> (PRL)	0,0 %	1,3%

DISCUSSÃO

Como apontam Oliveira (2008) e Ramirez -López (2019), a disseminação da estatística multivariada nas últimas décadas resultaram na atribuição de destaque dos estudos voltados aos modelos preditivos aplicados ao solo, o que pode justificar o comportamento crescente de publicações, conforme exibido no gráfico (Figura 2). Em paralelo, outro fator significativo para esse crescimento, foram as mobilizações realizadas mundialmente em resposta à detectada aceleração de emissões de carbono para a atmosfera como, por exemplo, a criação do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) em 1988 e o Protocolo de Kyoto, em 1997.

O primeiro artigo publicado no âmbito de pesquisa analisado pelo presente estudo foi *Quantification of carbon derived from lignite in soils using mid-infrared spectroscopy and partial least squares*, por Rumpel *et al.* (2001), na revista *Organic Geochemistry*, e possui 49 citações, sendo esta, a única publicação realizada durante o referido ano. O mesmo ocorreu nos anos subsequentes, em que 2002, 2003 e 2004, também possuíram baixo quantitativo de publicações, apenas uma ao ano, como demonstrado pelo gráfico na Figura 2, entretanto os artigos de 2002 e 2003, já possuíram citações superiores a 200, demonstrando uma maior adesão e utilização de estudos nesse âmbito de pesquisa. O aumento de publicações registrado de 2004 para 2005 pode ser explicado em razão do Protocolo de Kyoto, que apesar de criado em 16 de fevereiro de 1997, entrou em vigor apenas em 16 de fevereiro de 2005. Outro aspecto possível de influência para tal cenário, foi o aumento de concentração de CO₂ na atmosfera, que registrou 380 ppmv, em 2005, sendo este um aumento de 100 ppmv quando comparado ao século passado (TEIXEIRA, 2009).

É notório que a partir do ano de 2013 há um aumento significativo no quantitativo de publicações, o que pode ser explicado em razão da velocidade da emissão de CO₂, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o maior registrado desde 1984. Analisando as publicações indexadas nos anos subsequentes, pode-se observar uma predominância de temas relacionados a avaliação de desempenho, teste de novos modelos e aprimoração de métodos, como forma de melhorar e potencializar a obtenção de dados. A exemplo desses trabalhos, tem-se Tekin, Tümsavas e Mouazen (2014), Karunaratne *et al.* (2014); Römer (2014), Srivastava *et*

al. (2015); Yang, Jing (2015); Guy, Siciliano, Lamb (2015), Ji, Viscarra Rossel, Shi (2015); Rodionov *et al.* (2015) e Poggio, Brown, Bricklemeyer (2015).

A partir das leituras realizadas, observou-se nas publicações do primeiro período a notória falta de ênfase no COS, pois em boa parte dos artigos o termo foi encontrado em pesquisas referentes às propriedades do solo de modo geral, e o carbono orgânico de modo secundário, enquanto entre 2011 a 2021, existem artigos voltados aos atributos do solo, porém com menor frequência, estando estes concentrados nos anos iniciais. Assim, o segundo período possui predominância de estudos específicos para COS, e até mesmo suas frações, podendo inferir a tendência atual de interesse para com estudos direcionados a esse componente. Essa inferência pode ser comprovada por Dotto (2019), quando afirma que estudos recentes tendem a enfatizar o constituinte carbono orgânico, em razão da relevância desta fração para a qualidade do solo, sendo cada vez mais presente em estudos de mapeamento digital do solo.

Entre as diversas áreas associadas aos estudos do carbono, é comum a relação com o Nitrogênio, fatores climáticos, fertilidade, cultivos e demais atributos do solo, tais como granulometria, teor de umidade e pH. Entretanto, houve destaque em relação à frequência de pesquisas relativas ao COS em áreas agrícolas, o que permitiu constatar tanto o interesse nas predições de COS para avaliar a sustentabilidade dos solos, quanto a potencialidade de cultivos e manejos em armazenar ou liberar carbono, podendo citar a exemplo os trabalhos recentes realizados por Yang *et al.* (2021), Zhang *et al.* (2021), Zepp *et al.* (2021), Guo *et al.* (2021), Ball *et al.* (2020) e Rieffolo *et al.* (2020). Além disso, o termo “agricultura” foi evidente em ambas as redes de ocorrência denotadas na Figura 5, se fazendo presente durante toda a escala temporal analisada, estando em conformidade com a análise realizada por Olsson *et al.* (2019), quando atribui a essa atividade, grande responsabilidade as taxas de emissão ou armazenamento de COS.

Em ambos os períodos houve predominância das publicações indexadas na Revista GEODERMA, que conforme observado na Tabela 2 é bastante representativa no âmbito de modelos preditivos para COS por espectrorradiometria, possuindo 65 artigos publicados, e o fator de impacto associado é de 6,1.

No sentido da espacialização das publicações, considerando o primeiro período, 75% dos artigos analisados foram provenientes da Austrália, enquanto no segundo, aproximadamente 17% para o mesmo país. Este fato, relaciona-se a falta de artigos recentes

publicados, o que pode ser comprovado por meio da Figura 2, ratificando que as publicações antecedem o ano de 2014. Em contrapartida o Brasil apesar de baixo quantitativo, se destaca entre os países que realizaram publicações mais recentes, sendo o último realizado aproximadamente em 2020, e os principais autores de destaque são Dalmolin, Demattê e Ten Catten.

Nessa perspectiva, a literatura sobre COS revela um padrão geográfico marcado pela concentração da produção científica principalmente em países como China, Estados Unidos, Austrália e nações europeias (LIMA et al., 2025 e GE et al., 2024). Essa distribuição evidencia a liderança desses centros de pesquisa, mas também destaca a sub-representação de regiões tropicais e em desenvolvimento, onde a variabilidade edáfica é alta e o conhecimento ainda é limitado, estando em conformidade com o que é apresentado por Ge et al. (2024).

Essa distribuição, pode ocorrer em razão da dificuldade de acesso ao arsenal técnico e tecnológico, reflexo do financiamento destinado a esses países no campo científico. Essa desigualdade geográfica não deve ser interpretada com irrelevância, visto indica a necessidade de ampliar iniciativas de cooperação internacional e de fortalecer bibliotecas espectrais em regiões pouco exploradas, a fim de garantir maior representatividade global dos modelos, a exemplo de iniciativas como por exemplo, Viscarra Rossel et al (2016), que desenvolveram biblioteca espectral e analítica laboratorial de solos, a escala global.

Do ponto de vista metodológico, observa-se uma diversidade de técnicas aplicadas, que vão desde abordagens lineares clássicas, como PLSR e PCR, até algoritmos não lineares de aprendizado de máquina, como Random Forest, SVM e redes neurais (DOTTO et al, 2018). Enquanto métodos lineares ainda se destacam pela robustez e facilidade de aplicação, estudos comparativos mostram ganhos consistentes em desempenho quando são empregados modelos não lineares, especialmente em cenários de maior complexidade espectral ou em casos de biblioteca global, a exemplo do trabalho desenvolvido por Padarian et al. (2019), que obteve resultado superior para CNN em comparação com PLSR. Sobretudo, as redes neurais e técnicas mais avançadas, embora promissoras em termos de acurácia, ainda apresentam limitações relacionadas à necessidade de grandes conjuntos de dados e à menor interpretabilidade. Tal fato, contribui para manter os métodos lineares como linha de base amplamente utilizada, em conformidade com os resultados obtidos por Chinilin, et al (2023).

Outro aspecto relevante refere-se à representatividade dos modelos em função da distribuição geográfica dos dados de calibração. Modelos construídos a partir de bibliotecas globais oferecem maior amplitude de aplicação, mas tendem a perder precisão quando utilizados em contextos locais não suficientemente representados (BEM-DOR, 2017). Nesse sentido, estratégias de segmentação regional ou de aprendizado por transferência têm se mostrado alternativas eficazes, permitindo o ajuste de modelos globais com um número reduzido de amostras locais, conforme apontam trabalhos comparativos entre bibliotecas locais e globais como Padarian (2019) e Guerrero (2014). Esse movimento reforça a importância de equilibrar abrangência e especificidade, de forma a garantir a robustez dos modelos em diferentes condições pedoambientais ou quando possível, combinar dados de escala global e local, diante da estratégia de *spiking*, como sugere Kuang e Mouazen (2013).

No sentido dos tipos de pré-tratamento, foram identificados inúmeros, com destaque ao filtro de suavização de Savitzky e Golay (1964) que se mantém frequente em muitos desde o primeiro período analisando, dentre outros como Reamostragem, normalização, absorbância, *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) e *Standard Normal Variates* (SNV). Muitos dos trabalhos analisados, realizam a utilização simultânea de mais de uma técnica, como por exemplo Dotto (2018), que desenvolveu seu trabalho pautado influência de sete tipos de pré-tratamento para o sucesso do modelo com base na utilização de sete. A seleção do pré-tratamento tende a contribuir com o ajuste do modelo, de modo a

Foram múltiplos os tipos de modelagem utilizadas para realização das previsões, envolvendo principalmente testes para adequação dos modelos desenvolvidos, como o exemplo de Viscarra Rossel (2010), um dos trabalhos mais relevantes, comparou diferentes algoritmos para estimar Carbono Orgânico Do Solo (COS), Teor de Argila (CC) e pH medido em água (pH).

Dessa forma, o fato de tais trabalhos apresentam relevância notória, principalmente associado as citações, reforça a importância destes como estudos de base para outros subsequentes, e a necessidade de pesquisas voltadas a esse campo já que essa área vem avançando ao longo do tempo.

Por fim, é importante destacar o avanço das aplicações práticas dos modelos, tanto em políticas públicas quanto na agricultura de precisão e gestão ambiental. Na agricultura, a possibilidade de obter dados de COS a baixo custo viabiliza práticas de manejo localizado e

otimização do uso de insumos, enquanto no campo ambiental a espectroscopia oferece suporte para programas de sequestro de carbono e restauração de solos (SRIVASTAVA 2015; REYS, 2024, CONFORTI E BUTTAFUOCO, 2018). O mesmo pode se destacar no sentido de potencial para contribuir aos desafios climáticos destacados pelo IPCC (2018), como forma de monitoramento do COS, fornecendo informações pertinentes a estratégias de mitigação, implementação de inventários, e até possíveis dados que contribuam para o mercado de carbono.

Nesse sentido, a modelagem espectral do COS deixa de ser apenas uma frente de investigação acadêmica e vem se consolidando como ferramenta aplicada, com implicações diretas para a ciência do solo, a segurança alimentar e as estratégias globais de mitigação das mudanças climáticas (NAWAR E MOUAZEN, 2019).

Na condução deste estudo, reconhecemos que a utilização da base Scopus pode representar uma limitação, uma vez que diferentes bases bibliográficas apresentam particularidades quanto à cobertura temporal, geográfica e de periódicos indexados. Optamos pela Scopus por ser a mais ampla em número de títulos ativos (mais de 25.000 em 2023) e por disponibilizar ferramentas analíticas consolidadas. Destacamos, contudo, que nenhuma base oferece cobertura integral de toda a produção científica e que a incompletude é uma característica intrínseca a revisões híbridas. Nesse sentido, ressaltamos que as tendências e padrões gerais identificados permanecem válidos, mas reconhecemos a relevância de que investigações futuras possam integrar outras bases, como a Web of Science, ou adotar abordagens multi-fonte, de modo a ampliar a abrangência das análises e reduzir possíveis lacunas.

Outra consideração importante refere-se ao fator linguístico. Embora não tenhamos aplicado filtros por idioma, e a estratégia de busca tenha sido estruturada em campos universais como títulos, resumos e palavras-chave, a maior parte das publicações recuperadas corresponde a artigos em inglês. Essa predominância decorre do fato de que a maioria dos periódicos internacionais adota o inglês como idioma padrão de publicação. Reconhecemos essa condição como uma restrição metodológica inerente a estudos dessa natureza, mas entendemos que ela não compromete a identificação das principais tendências gerais e avanços na área. Ressaltamos, ainda, que futuras revisões podem avançar no sentido de incorporar estratégias para ampliar a visibilidade de produções em idiomas locais.

Reconhecemos que a leitura integral de 28% dos artigos recuperados, pode representar uma faixa relativamente estreita do universo total dos artigos retornados. Contudo, em revisões bibliométricas, sistemáticas e híbridas a leitura de todos os trabalhos é impraticável, sendo suficiente identificar o núcleo representativo do campo, suas abordagens e tendências. Destacamos que, embora a ampliação do número de artigos lidos aumente a consistência e a capacidade de generalização dos padrões, a leitura de 91 artigos (28% do total) permitiu captar os elementos centrais do tema e garantindo a validade das conclusões apresentadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o exposto, as análises bibliográficas realizadas demonstraram grande potencial para a compreensão do comportamento mundial das pesquisas sobre modelos preditivos e espetrorradiometria VIS-NIR e MIR para COS, sendo possível concluir por meio dos produtos gerados, que estas encontram-se com uma tendência crescente nos últimos anos analisados, partindo de apenas um artigo no ano de 2001, para 45 para 2021.

Para a realização da bibliometria, a equação de termos utilizada, bem como filtros de busca, possuem uma grande influência nos resultados a serem obtidos, sendo de grande importância a seleção de parâmetros adequados para a obtenção de resultados precisos de acordo com o objetivo de análise.

De acordo com os resultados provenientes dos artigos lidos, bem como, o desempenho crescente das publicações em âmbito científico (Figura 1), aplicação dos modelos preditivos aliados à utilização da espetrorradiometria VIS-NIR e MIR demonstrou de modo geral, resultados eficazes para a quantificação de COS, constatando a existência de diversos métodos de calibração, com destaque para PLSR. Sobretudo, existem outros aspectos de influência para o desempenho do modelo, dentre eles, o conjunto de dados, principalmente a escala e representatividade do conjunto amostral; coleta e tratamento das amostras e tipo de pré-tratamento aplicado, pois apesar de notória a frequência de utilização de SG, muitos estudos comprovaram resultados satisfatórios para outros métodos também.

Portanto, os estudos de revisão permitem identificar as principais tendências das pesquisas desenvolvidas, como, por exemplo, a ampla associação entre COS e produção agrícola. Além disso, proporciona também a orientação de pesquisas posteriores, ao evidenciar

lacunas e áreas ainda carentes de estudo, como é o caso das pesquisas mais recentes sobre o comportamento do COS em ambientes áridos e semiáridos.

REFERÊNCIAS

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*. v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

BALL, K. R.; BALDOCK, J. A.; PENFOLD, C.; POWER, S.A.; WOODIN, S. J.; SMITH, P.; PENDALL, E. (2020) Soil organic carbon and nitrogen pools are increased by mixed grass and legume cover crops in vineyard agroecosystems: Detecting short-term management effects using infrared spectroscopy. *Geoderma*, v. 379, p. 114619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114619>

BEN-DOR, E. Soil spectral library: standard and protocol as an example to other spectral libraries for EO. In: OPTIMISE Annual Workshop and MC Meeting, 2017

CHEN, C. Science mapping: a systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, v. 2, n. 2, p. 1–40, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1515/jdis-2017-0006>

CHINILIN, A. V.; VINDEKER, G. V.; SAVIN, I. Yu. Vis-NIR spectroscopy for soil organic carbon assessment: a meta-analysis. *Eurasian Soil Science*, v. 56, n. 11, p. 1605-1617, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229323601841>

Conforti, M., Matteucci, G., & Buttafuoco, G. (2018). Using laboratory Vis-NIR spectroscopy for monitoring some forest soil properties. *Journal of Soils and Sediments*, 18(5), 1009–1019. DOI: [10.1007/s11368-017-1766-5](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1766-5)

DERVIŞ, H. Bibliometric analysis using Bibliometrix an R Package. *Journal of Scientometric Research*, v. 8, n. 3, 2019, p. 156-160. DOI: <https://doi.org/10.5530/jscires.8.3.32>

DEMATTÊ, J. A. M.; DOTTO, A. C.; BEDIN, L. G.; SAYÃO, V. M.; E SOUZA, A. B. Soil analytical quality control by traditional and spectroscopy techniques: Constructing the future of a hybrid laboratory for low environmental impact. *Geoderma*, v. 337, p. 111-121, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.010>

DOTTO, A.C; DALMOLIN, R.S.D.; CATEN, A. T.; GRUNWALD, S.. (2018) A systematic study on the application of scatter-corrective and spectral-derivative preprocessing for

multivariate prediction of soil organic carbon by Vis-NIR spectra. *Geoderma*, v. 314, p. 262-274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.006>

FAHIMNIA, B.; SARKIS, J.; DAVARZANI, H. Green supply chain management: a review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, v. 162, p. 101–114, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003>

GALVÃO, M. C. B.; PLUYE, P.; RICARTE, I. L. M. Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, Ribeirão Preto, v. 8, n. 2, p. 4–24, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v8i2p4-24>

GE, G.; CHEN, X.; MA, H.; ZHANG, X.; SHI, J.; WANG, X.; ZHAO, X.; WANG, M.; XIAN, F.; LU, Z.; CHENG, Y. *Bibliometric analysis of research trends in agricultural soil organic carbon components from 2000 to 2023*. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 15, p. 1457826, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1457826.

GUERRERO, C., STENBERG, B., WETTERLIND, J., VISCARRA ROSSEL, R. A., MAESTRE, F. T., MOUAZEN, A. M., ... & KUANG, B. Assessment of soil organic carbon at local scale with spiked NIR calibrations: effects of selection and extra-weighting on the spiking subset. *European Journal of Soil Science*, v. 65, n. 2, p. 248-263, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12129>

GUO, L.; PENG, F.; SHI, T.; ZENG, C.; ZHANG, H.; WANG, S. (2021) Exploring influence factors in mapping soil organic carbon on low-relief agricultural lands using time series of remote sensing data. *Soil and Tillage Research*, v. 210, p. 104982. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104982>

GUO, L.; ZHANG, H.; SHI, T.; CHEN, Y.; JIANG, Q.; LINDERMAN, M. Prediction of soil organic carbon stock by laboratory spectral data and airborne hyperspectral images. *Geoderma*, v. 337, p. 32-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.003>

IPCC. (2018) Intergovernmental Panel on Climate Change. *Global Warming of 1.5°C: Summary for Policymakers*. Disponível em: <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9954>, Acesso em: Fev, 2022.

JI W., VISCARRA ROSSEL R.A., SHI Z. (2015) Improved estimates of organic carbon using proximally sensed vis-NIR spectra corrected by piecewise direct standardization. *European Journal of Soil Science*, v. 66, p. 670 – 6781. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12271>

JOHRI, A.; JOSHI, P.; KUMAR, S.; JOSHI, G. Metaverse for Sustainable Development in a bibliometric analysis and systematic literature review. **Journal of cleaner production**, v. 435, p. 140610, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140610>

KARUNARATNE, S. B. et al. BISHOP, T. F. A.; BALDOCK J. A.; ODEH, L. O. A. Catchment scale mapping of measureable soil organic carbon fractions. *Geoderma*, v. 219, p. 14-23, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.005>

KUANG, B.; MOUAZEN, A. M. Effect of spiking strategy and ratio on calibration of on-line visible and near infrared soil sensor for measurement in European farms. *Soil & Tillage Research*, v. 128, p. 125–136, abril 2013. DOI: 10.1016/j.still.2012.11.006

LEFÈVRE, C.; REKIK, F.; ALCÂNTARA, V.; WIESE, L. Soil organic carbon: the hidden potential.: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017.

LINNENLUECKE, M. K.; MARRONE, M.; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. *Australian journal of management*, v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0312896219877678>

LIMA, A. A., LOPES, J. C., LOPES, R. P., DE FIGUEIREDO, T., VIDAL-VÁZQUEZ, E., & HERNÁNDEZ, Z. Soil Organic Carbon Assessment Using Remote-Sensing Data and Machine Learning: A Systematic Literature Review. **Remote Sensing**, v. 17, n. 5, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs17050882>

LOPES, S. C.; COSTA, T.; FERNANDES-LLIMOS, F.; AMANTE, M. J. LOPES, P. F. (2012) A Bibliometria e a Avaliação da Produção Científica: indicadores e ferramentas. In: *Actas do congresso Nacional de bibliotecários, arquivistas e documentalistas*. BAD-Associação Portuguesa de Bibliotecários, Arquivistas e Documentalistas.

LÓPEZ, L. R. (2019) *Pedologia quantitativa: espectrometria VIS-NIR-SWIR e mapeamento digital de solos*. Dissertação de Mestrado.

MATHANKAR, A. R (2018). Bibliometria: Uma Visão Geral. *International Journal of Library & Information Science*, 7(3), p. 9–15. Disponível em: <<http://www.iaeme.com/ijlis/issues.asp?JType=IJLIS&VType=7&IType=3>>

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Regression rules as a tool for predicting soil properties from infrared reflectance spectroscopy. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, v. 94, n. 1, p. 72-79, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2008.06.003>

MCBRATNEY, A., FIELD, D.J., KOCH, A. As dimensões da segurança do solo. *Geoderma*. p.203-213, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013>

NAWAR, S.; MOUAZEN, A. M. On-line vis-NIR spectroscopy prediction of soil organic carbon using machine learning. *Soil and Tillage Research*, v. 190, p. 120-127, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.006>

OLIVEIRA, I. K. Aplicação de quimioterapia e espectroscopia no infravermelho no controle de qualidade de biodiesel e mistura biodiesel/diesel, 110p. Dissertação de Mestrado.. Universidade Estadual de Campinas- Unicamp.2008

OLSSON, L. H.; BARBOSA, S.; BHADWAL, A.; COWIE, K.; DELUSCA, D. FLORES-RENTERIA K.; HERMANS, E.; JOBBAGY, W.; KURZ, D.; LI, D.J.; SONWA, L.; STRINGER, (2019): Land Degradation. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In pres. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-4/> > . Acesso em: Jan, 2022.

PADARIAN, J.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Using deep learning to predict soil properties from regional spectral data. *Geoderma Regional*, v. 16, p. e00198, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00198>

PICCINI, C.; METZGER, K.; DEBAENE, G.; STENBERG, B.; GÖTZINGER, S.; BORŮVKA, L.; SANDÉN, T.; BRAGAZZA, L.; LIEBISCH, F. In-field soil spectroscopy in Vis–NIR range for fast and reliable soil properties spatial variability: a review. *European Journal of Soil Science*, v. 75, n. 2, art. e13481, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13481>

PINHEIRO E.F.M; CEDDIA, M. B.; CLINGENSMITH, C. M.; GRUNWALD, S.; VASQUES, G. M. Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the central Amazon. *Remote Sensing*, v. 9, n. 4, p. 293, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9040293>

POGGIO, M.; BROWN, D. J.; BRICKLEMYER, R. S. (2015) Laboratory-based evaluation of optical performance for a new soil penetrometer visible and near-infrared (VisNIR) foreoptic. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 115, p. 12-20.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.002>

R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing 2020.

RSTUDIO. RStudio: open source & professional software for data science teams. 2020. Disponível em: <https://rstudio.com/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

RIEFOLO, C.; CASTRIGNANÒ, A. COLOMBO, C.; CONFORTI, M.; RUGGIERI, S.; VITTI, C.; BUTTAFUOCO, G. (2020) Investigation of soil surface organic and inorganic carbon contents in a low-intensity farming system using laboratory visible and near-infrared spectroscopy. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 66, n. 10, p. 1436-1448. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1674446>

RIBEIRO, S. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; CHAGAS, C. da S.; FUJII, D. F.; MARQUES, K. P. F.; ROMERO, D. J.; GARCIA, J. R.; FERNANDES FILHO, E. I. Soil organic carbon content prediction using soil-reflected spectra: A comparison of two regression methods. *Remote Sensing*, v. 13, n. 23, p. 4752, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13234752>

RÖMER, C. RODINOV, A.; BHEMANN, J.; PÄTZOLD, S.; WELP, G.; PLÜMER, L. Quantifying moisture and roughness with Support Vector Machines improves spectroscopic soil organic carbon prediction. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 177, n. 6, p. 845-847. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201400152>

REYES, J.; LIEß, M.. Spectral data processing for field-scale soil organic carbon monitoring. *Sensors*, v. 24, n. 3, p. 849, 2024.

SCOPUS (2022): Banco de dados de resumos e citações organizados por especialistas. ELSEVIER. Disponível em: < <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus> > Acesso em: Jan. 2022.

SHI, Y.; BLAINEYB, S.; SUNA C.; JING, P. A literature review on accessibility using bibliometric analysis techniques. *Journal of transport geography*, v. 87, 2020 p. 102810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102810>

SAVITZKY, A., & GOLAY, M. J. E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1964, p. 1627–1639. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>

SRIVASTAVA, R., *et al.* (2015) Development of hyperspectral model for rapid monitoring of soil organic carbon under precision farming in the Indo-Gangetic Plains of Punjab, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 43(4), p.751–759. Disponível em: <<https://doi-org.ez1.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12524-015-0458-0>>, Acesso: 19 de Nov de 2022

TEAM, R. C. The R project for statistical computing, 2013, 1-12. Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

TEKIN, Y; TÜMSAVAS, Z; MOUAZEN, A. M. (2014) Comparing the artificial neural network with parcial least squares for prediction of soil organic carbon and pH at different moisture content levels using visible and near-infrared spectroscopy. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1794-1804. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600014>

VASCONCELOS, R. N.; LIMA, A. T. C.; LENTINI, C. A. D.; MIRANDA, G. V.; MENDONÇA, L. F.; SILVA, M. A.; CAMBUÍ, E. C. B; LOPES, J. M.; PORSANI, M. J. (2020) Oil spill detection and mapping: A 50-year bibliometric analysis. *Remote Sensing*, v. 12, n. 21, p. 3647. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12213647>

VASCONCELOS, R. N.; ROCHA, W. J. S. F.; COSTA, D. P.; DUVERGER, S. G.; SANTANA, M. M. M. de; CAMBUI, E. C. B.; FERREIRA-FERREIRA, J.; OLIVEIRA, M.; BARBOSA, L. da S.; CORDEIRO, C. L. Fire detection with deep learning: A comprehensive review. *Land*, v. 13, n. 10, p. 1696, 2024. DOI: 1696. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101696>

VISCARRA ROSSEL, R. A. WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J. O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, v. 131, n. 1-2, 2006, p. 59-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.007>

VISCARRA ROSSEL, R. A; BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. *Geoderma*, v. 158, n. 1-2, 2010, p. 46-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.025>

VISCARRA ROSSEL, R., BEHRENS, T., BEN-DOR, E., BROWN, D. J., DEMATTÉ, J. A. M., SHEPHERD, K. D., ... & JI, W. A global spectral library to characterize the world's soil. *Earth-Science Reviews*, v. 155, p. 198-230, 2016.

YANG, A.; JING, J. Comparative assessment of two methods for estimation of soil organic carbon content by Vis-NIR spectra in Xinjiang Ebinur Lake Wetland. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, v. 31, 2015, p. 162 – 168. DOI: [10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.023](https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.023)

YANG, C.; FENG, M.; SONG, L.; WANG, C.; YANG, W.; XIE, Y.; JING, Y.; XIAO, L.; ZHANG, M.; SONG, X.; SALEEM, M. Study on hyperspectral estimation model of soil organic carbon content in the wheat field under different water treatments. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 2021, p. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98143-0>

ZEPP, S.; HEIDEN, U.; BACHMANN, M.; WIESMEIER, M.; STEININGER, M.; WICKHAM, H. Ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. *R package version 3.6.1* 2018, DOI:10.1093/bioinformatics/btr406

ZBOROWSKI HORST-HEINEN, T., DINIZ DALMOLIN, R. S., SAMUEL-ROSA, A., AND GRUNWALD, S.: The interplay among analytical method, preprocessing, and modeling on soil organic carbon Vis-NIR-SWIR predictions, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-7851. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7851>

ZHANG, H.; SHI, P.; CRUCIL, G.; WESEMAEL, B. V.; LIMBOURG, Q.; OOST, K. V. Evaluating the capability of a UAV-borne spectrometer for soil organic carbon mapping in bare croplands. *Land Degradation & Development*, v. 32 (n. 15), 2021, p. 4375-4389. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4043>

ZHANG, F.; LIU, Y.; ZHANG, Y. Bibliometric analysis of research trends in agricultural soil organic carbon mineralization from 2000 to 2022. *Agriculture*, v. 13, n. 6, p. 1248, 2023. DOI: DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13061248>

ANEXOS

Tabela S1 – Artigos lidos na íntegra conforme classificação de citações. Informa o período de grupo de leitura 1 ou 2, autores, ano de publicação, número de citações e DOI.

Período	Autores	Ano	Citações	DOI
1	Viscarra Rossel R.A., Walvoort D.J.J., McBratney A.B., Janik L.J., Skjemstad J.O.	2006	1315	10.1016/j.geoderma.2005.03.007
1	Rossel R.A.V., Behrens T.	2010	708	10.1016/j.geoderma.2009.12.025
1	Gomez C., Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B.	2008	361	10.1016/j.geoderma.2008.06.011

1	Mouazen A.M., Kuang B., De Baerdemaeker J., Ramon H.	2010	318	10.1016/j.geoderma.2010.03.001
1	Islam K., Singh B., McBratney A.	2003	267	10.1071/SR02137
1	Dunn B.W., Beecher H.G., Batten G.D., Ciavarella S.	2012	224	10.1071/EA01172
1	Viscarra Rossel R.A.	2008	204	10.1016/j.chemolab.2007.06.006
1	Brown D.J., Brickleyer R.S., Miller P.R.	2005	184	10.1016/j.geoderma.2005.01.001
1	Cozzolino D., Morón A.	2006	171	10.1016/j.still.2004.12.006
1	Morgan C.L.S., Waiser T.H., Brown D.J., Hallmark C.T.	2009	146	10.1016/j.geoderma.2009.04.010
1	McBratney A.B., Minasny B., Viscarra Rossel R.	2006	138	10.1016/j.geoderma.2006.03.051
1	Brown D.J.	2007	124	10.1016/j.geoderma.2007.04.021
2	Morellos A., Pantazi X.-E., Moshou D., Alexandridis T., Whetton R., Tziotzios G., Wiebensohn J., Bill R., Mouazen A.M.	2016	193	10.1016/j.biosystemseng.2016.04.018
2	Minasny B., McBratney A.B., Bellon-Maurel V., Roger J.-M., Gobrecht A., Ferrand L., Joalland S.	2011	192	10.1016/j.geoderma.2011.09.008
2	Rossel R.A.V., Webster R.	2012	191	10.1111/j.1365-2389.2012.01495.x
2	Nocita M., Stevens A., Noon C., Van Wesemael B.	2013	176	10.1016/j.geoderma.2012.07.020
2	Vohland M., Ludwig M., Thiele-Bruhn S., Ludwig B.	2014	165	10.1016/j.geoderma.2014.01.013
2	Summers D., Lewis M., Ostendorf B., Chittleborough D.	2011	150	10.1016/j.ecolind.2009.05.001
2	Vohland M., Besold J., Hill J., Fründ H.-C.	2011	142	10.1016/j.geoderma.2011.08.001
2	Baldock J.A., Hawke B., Sanderman J., MacDonald L.M.	2013	136	10.1071/SR13077
2	Gholizadeh A., Žižala D., Saberioon M., Bor?vka L.	2018	124	10.1016/j.rse.2018.09.015
2	Castaldi F., Palombo A., Santini F., Pascucci S., Pignatti S., Casa R.	2016	123	10.1016/j.rse.2016.03.025
2	Kuang B., Mouazen A.M.	2011	114	10.1111/j.1365-2389.2011.01358.x
2	Gomez C., Lagacherie P., Coulouma G.	2012	109	10.1016/j.geoderma.2012.05.023
2	Ramirez-Lopez L., Behrens T., Schmidt K., Stevens A., Demattê J.A.M., Scholten T.	2013	96	10.1016/j.geoderma.2012.12.014
2	Padarian J., Minasny B., McBratney A.B.	2019	95	10.1016/j.geodrs.2018.e00198

2	Dotto A.C., Dalmolin R.S.D., ten Caten A., Grunwald S.	2018	95	10.1016/j.geoderma.2017.11.006
2	Bartholomeus H., Kooistra L., Stevens A., van Leeuwen M., van Wesemael B., Ben-Dor E., Tychon B.	2011	91	10.1016/j.jag.2010.06.009
2	Kuang B., Tekin Y., Mouazen A.M.	2015	84	10.1016/j.still.2014.11.002
2	Knox N.M., Grunwald S., McDowell M.L., Bruland G.L., Myers D.B., Harris W.G.	2015	78	10.1016/j.geoderma.2014.10.019
2	Li S., Shi Z., Chen S., Ji W., Zhou L., Yu W., Webster R.	2015	71	10.1021/es504272x
2	Xie H.T., Yang X.M., Drury C.F., Yang J.Y., Zhang X.D.	2011	70	10.4141/CJSS10029
2	Wijewardane N.K., Ge Y., Morgan C.L.S.	2016	68	10.1016/j.geoderma.2015.12.014
2	Ge Y., Morgan C.L.S., Ackerson J.P.	2014	67	10.1016/j.geoderma.2014.01.011
2	Kuang B., Mouazen A.M.	2013	67	10.1016/j.biosystemseng.2013.01.005
2	Vohland M., Emmerling C.	2011	67	10.1111/j.1365-2389.2011.01369.x
2	Genot V., Colinet G., Bock L., Vanvyve D., Reusen Y., Dardenne P.	2011	63	10.1255/jnirs.923
2	Pinheiro E.F.M., Ceddia M.B., Clingensmith C.M., Grunwald S., Vasques G.M.	2017	62	10.3390/rs9040293
2	Ge Y., Morgan C.L.S., Grunwald S., Brown D.J., Sarkhot D.V.	2011	62	10.1016/j.geoderma.2010.12.020
2	Wenjun J., Zhou S., Jingyi H., Shuo L.	2014	60	10.1371/journal.pone.0105708
2	Debaene G., Nied?wiecki J., Pecio A., Zurek A.	2014	60	10.1016/j.geoderma.2013.09.022
2	Guerrero C., Stenberg B., Wetterlind J., Viscarra Rossel R.A., Maestre F.T., Mouazen A.M., Zornoza R., Ruiz-Sinoga J.D., Kuang B.	2014	59	10.1111/ejss.12129
2	Lu P., Wang L., Niu Z., Li L., Zhang W.	2013	58	10.1016/j.gexplo.2013.04.003
2	Tekin Y., Tumsavas Z., Mouazen A.M.	2012	58	10.2136/sssaj2011.0021
2	Zhou Y., Hartemink A.E., Shi Z., Liang Z., Lu Y.	2019	57	10.1016/j.scitotenv.2018.08.016
2	Guerrero C., Wetterlind J., Stenberg B., Mouazen A.M., Gabarrón-Galeote M.A., Ruiz-Sinoga J.D., Zornoza R., Viscarra Rossel R.A.	2016	57	10.1016/j.still.2015.07.008
2	Bayer A., Bachmann M., Müller A., Kaufmann H.	2012	54	10.1155/2012/971252
2	Askari M.S., Cui J., O'Rourke S.M., Holden N.M.	2015	53	10.1016/j.still.2014.03.006

2	Clairotte M., Grinand C., Kouakoua E., Thébault A., Saby N.P.A., Bernoux M., Barthès B.G.	2016	52	10.1016/j.geoderma.2016.04.021
2	Winowiecki L., Vågen T.-G., Huisng J.	2014	52	10.1016/j.geoderma.2015.03.010
2	Kuang B., Mouazen A.M.	2012	50	10.1111/j.1365-2389.2012.01456.x
2	Nocita M., Kooistra L., Bachmann M., Müller A., Powell M., Weel S.	2011	50	10.1016/j.geoderma.2011.09.018
2	Nawar S., Mouazen A.M.	2019	48	10.1016/j.still.2019.03.006
2	Kuang B., Mouazen A.M.	2013	48	10.1016/j.still.2012.11.006
2	Nawar S., Mouazen A.M.	2018	46	10.1016/j.compag.2018.06.042
2	Ji W., Viscarra Rossel R.A., Shi Z.	2015	45	10.1111/ejss.12271
2	Grinand C., Barthès B.G., Brunet D., Kouakoua E., Arrouays D., Jolivet C., Caria G., Bernoux M.	2012	45	10.1111/j.1365-2389.2012.01429.x
2	Cambou A., Cardinael R., Kouakoua E., Villeneuve M., Durand C., Barthès B.G.	2016	44	10.1016/j.geoderma.2015.07.007
2	Towett E.K., Shepherd K.D., Sila A., Aynekulu E., Cadisch G.	2015	44	10.2136/sssaj2014.11.0458
2	Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A.	2012	44	10.1016/j.geoderma.2012.03.011
2	Moura-Bueno J.M., Dalmolin R.S.D., ten Caten A., Dotto A.C., Demattê J.A.M.	2019	42	10.1016/j.geoderma.2018.10.015
2	Dotto A.C., Dalmolin R.S.D., Grunwald S., ten Caten A., Pereira Filho W.	2017	42	10.1016/j.still.2017.05.008
2	Stumpe B., Weihermüller L., Marschner B.	2011	42	10.1111/j.1365-2389.2011.01401.x
2	Kusumo B.H., Hedley M.J., Hedley C.B., Tuohy M.P.	2011	42	10.1007/s11104-010-0501-4
2	Vašát R., Kodešová R., Klement A., Bor?vka L.	2017	40	10.1016/j.geoderma.2017.03.012
2	Roudier P., Hedley C.B., Lobsey C.R., Viscarra Rossel R.A., Leroux C.	2017	40	10.1016/j.geoderma.2017.02.014
2	Peng Y., Xiong X., Adhikari K., Knadel M., Grunwald S., Greve M.H.	2015	40	10.1371/journal.pone.0142295
2	O'Rourke S.M., Holden N.M.	2011	40	10.1111/j.1475-2743.2011.00337.x
2	Liu S., Shen H., Chen S., Zhao X., Biswas A., Jia X., Shi Z., Fang J.	2019	38	10.1016/j.geoderma.2019.04.003
2	Wijewardane N.K., Ge Y., Wills S., Loecke T.	2016	38	10.2136/sssaj2016.02.0052
2	Knadel M., Stenberg B., Deng F., Thomsen A., Greve M.H.	2013	38	10.1255/jnirs.1035
2	Stevens A., Miralles I., Van Wesemael B.	2012	37	10.2136/sssaj2012.0054

2	Jiang Q., Chen Y., Guo L., Fei T., Qi K.	2016	36	10.3390/rs8090755
2	Karunaratne S.B., Bishop T.F.A., Baldock J.A., Odeh I.O.A.	2014	35	10.1016/j.geoderma.2013.12.005
2	Brodský L., Vašát R., Klement A., Zádorová T., Jakšík O.	2013	34	10.1016/j.geoderma.2012.11.006
2	Yang X.M., Xie H.T., Drury C.F., Reynolds W.D., Yang J.Y., Zhang X.D.	2012	34	10.1111/j.1365-2389.2011.01421.x
2	Guo L., Zhang H., Shi T., Chen Y., Jiang Q., Linderman M.	2019	33	10.1016/j.geoderma.2018.09.003
2	Lobsey C.R., Viscarra Rossel R.A., Roudier P., Hedley C.B.	2017	33	10.1111/ejss.12490
2	Le Guillou F., Wetterlind W., Viscarra Rossel R.A., Hicks W., Grundy M., Tuomi S.	2015	33	10.1071/SR15019
2	Knadel M., Thomsen A., Greve M.H.	2011	33	10.2136/sssaj2010.0452
2	Conforti M., Matteucci G., Buttafuoco G.	2018	32	10.1007/s11368-017-1766-5
2	Rienzi E.A., Mijatovic B., Mueller T.G., Matocha C.J., Sikora F.J., Castrignanò A.	2014	32	10.2136/sssaj2013.09.0408
2	Hutengs C., Seidel M., Oertel F., Ludwig B., Vohland M.	2019	31	10.1016/j.geoderma.2019.113900
2	Wijewardane N.K., Ge Y., Wills S., Libohova Z.	2018	31	10.2136/sssaj2017.10.0361
2	Rodionov A., Welp G., Damerow L., Berg T., Amelung W., Pätzold S.	2015	31	10.1016/j.still.2014.08.007
2	Rodionov A., Pätzold S., Welp G., Pallares R.C., Damerow L., Amelung W.	2014	31	10.2136/sssaj2013.07.0264
2	Knadel M., Gislum R., Hermansen C., Peng Y., Moldrup P., de Jonge L.W., Greve M.H.	2017	30	10.1016/j.biosystemseng.2017.01.007
2	Sarathjith M.C., Das B.S., Wani S.P., Sahrawat K.L.	2016	30	10.1016/j.geoderma.2015.12.031
2	Brickleyer R.S., Brown D.J., Barefield J.E., Clegg S.M.	2011	30	10.2136/sssaj2009.0244
2	Castaldi F., Chabriat S., Chartin C., Genot V., Jones A.R., van Wesemael B.	2018	29	10.1111/ejss.12553
2	Vohland M., Ludwig M., Harbich M., Emmerling C., Thiele-Bruhn S.	2016	29	10.1255/jnirs.1233