**JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH**
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/10.52832/jesh.v6i4.780
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

# EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO ($N_2O$) NA AGRICULTURA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

## SCIENTIFIC PRODUCTION ON NITROUS OXIDE ($N_2O$) IN AGRICULTURE: A GLOBAL BIBLIOMETRIC ANALYSIS FROM 2022 TO 2026

## PRODUCCIÓN CIENTÍFICA SOBRE ÓXIDO NITROSO ($N_2O$) EN LA AGRICULTURA: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO MUNDIAL DE 2022 A 2026

**Marciano Tuchtenhagen da Fonseca[1]; Marcos Jardel Matias Soares[2]; Mélory Maria Fernandes de Araujo[3]; Thomaz Burgueño de Alpoim[4]; Daiane Aparecida Krewer[5]; Tainara Hartwig da Silva[6]; Letiele Nunes de Freitas[7]; Luciene da Silva Pizani Rodrigues[8]; Lizete Stumpf[9]; Ezequiel Cesar Carvalho Miola[10]**

[1]Engenheiro Agrônomo, Mestrando no Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [2]Mestre em Agronomia (PPGSPAF UFPEL), Doutorando no Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, (PPGMACSA) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [3]Engenheira Hídrica, Doutora em manejo e conservação do solo e da água, Universidade federal de pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [4]Engenheiro Agrônomo, Mestrando no Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [5]Bióloga, Doutoranda em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [6]Graduanda, Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [7]Graduanda, Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [8]Graduanda, Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [9]Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Professora Adjunta da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil; [10] Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria, Professor Adjunto da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
*Autor correspondente: marcianomtf@gmail.com

**Recebido**: 27/09/2026 | **Aprovado**: 05/10/2026 | **Publicado**: 06/10/2026

**Resumo:** O óxido nitroso ($N_2O$) é um importante gás de efeito estufa associado principalmente às atividades agrícolas, especialmente ao uso de fertilizantes nitrogenados e aos processos microbiológicos do solo, como nitrificação e desnitrificação. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise bibliométrica da produção científica mundial sobre as emissões de $N_2O$ em função do uso do solo na agricultura no período de 2022 a 2026. A pesquisa foi conduzida na base de dados *Web of Science*, utilizando os softwares RStudio com o pacote Bibliometrix e *VOSviewer* para organização e interpretação dos dados. Foram identificados 997 artigos científicos no período analisado, com crescimento contínuo das publicações entre 2022 e 2025. A China destacou-se como principal país produtor de informações sobre o tema, seguida pelos Estados Unidos, Alemanha e Canadá. O Brasil apresentou participação relevante entre os países emergentes. Os periódicos com maior número de publicações foram *Science of the Total Environment* e *Agriculture, Ecosystems & Environment*. A análise de palavras-chave revelou predominância dos termos *denitrification, nitrification, greenhouse gas emissions, soil* e *fertilizer,* indicando foco nos mecanismos de emissão de $N_2O$ e em estratégias de mitigação. Conclui-se que o tema apresenta elevada relevância científica e caráter multidisciplinar, com tendência de expansão nos próximos anos, impulsionado pela busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.
Palavras-chave: gases de efeito estufa; fertilizantes nitrogenados; manejo do solo; sustentabilidade agrícola.

**Abstract:** Nitrous oxide ($N_2O$) is an important greenhouse gas mainly associated with agricultural activities, especially the use of nitrogen fertilizers and soil microbial processes such as nitrification and denitrification. In this context, the objective of this study was to carry out a bibliometric analysis of global scientific production on $N_2O$, soil, agriculture, and the nitrogen cycle from 2022 to 2026. The research was conducted using the *Web of Science* database, with RStudio software through the Bibliometrix package and *VOSviewer* for data organization and interpretation. A total of 997 scientific articles were identified during the analyzed period, with continuous growth in publications between 2022 and 2025. China stood out as the leading country in scientific production, followed by the United States, Germany, and Canada. Brazil showed relevant participation among emerging countries. The journals with the highest number of publications were *Science of the Total Environment* and *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Keyword analysis revealed predominance of the terms *denitrification, nitrification, greenhouse gas emissions, soil, and fertilizer,* indicating a focus on $N_2O$ emission mechanisms and mitigation strategies. It is concluded that this topic has high scientific relevance and a

multidisciplinary character, with an expansion trend in the coming years driven by the search for more sustainable and efficient agricultural systems.
Keywords: greenhouse gases; nitrogen fertilizers; soil management; agricultural sustainability
**Resumen:** El óxido nitroso ($N_2O$) es un importante gas de efecto invernadero asociado principalmente a las actividades agrícolas, especialmente al uso de fertilizantes nitrogenados y a los procesos microbiológicos del suelo, como la nitrificación y la desnitrificación. En este contexto, el objetivo de este estudio fue realizar un análisis bibliométrico de la producción científica mundial sobre $N_2O$, suelo, agricultura y ciclo del nitrógeno en el período de 2022 a 2026. La investigación se llevó a cabo en la base de datos Web of Science, utilizando los programas RStudio con el paquete Bibliometrix y VOSviewer para la organización e interpretación de los datos. Se identificaron 997 artículos científicos en el período analizado, con crecimiento continuo de las publicaciones entre 2022 y 2025. China se destacó como el principal país productor, seguida por Estados Unidos, Alemania y Canadá. Brasil presentó una participación relevante entre los países emergentes. Las revistas con mayor número de publicaciones fueron *Science of the Total Environment* y *Agriculture, Ecosystems & Environment*. El análisis de palabras clave reveló predominio de los términos *denitrification*, *nitrification*, *greenhouse gas emissions*, *soil* y *fertilizer*, indicando enfoque en los mecanismos de emisión de $N_2O$ y en estrategias de mitigación. Se concluye que el tema presenta alta relevancia científica y carácter multidisciplinario, con tendencia de expansión en los próximos años, impulsado por la búsqueda de sistemas agrícolas más sostenibles y eficientes.
**Palabras clave:** gases de efecto invernadero; fertilizantes nitrogenados; manejo del suelo; sostenibilidad agrícola.

## 1 INTRODUÇÃO

Os gases de efeito estufa (GEE) são constituintes e um dos principais componentes que regulam o clima na terra, sendo responsáveis por manter a temperatura média em níveis de manutenção da vida no planeta (Soeder, 2021). O efeito estufa é um fenômeno que ocorre naturalmente devido à capacidade dos gases atmosféricos de absorver e posteriormente reemitir a radiação que é emitida pela superfície da terra, promovendo o seu aquecimento (Philipona *et al.*, 2020). Entre os GEEs os que possuem maior destaque são, o dióxido de carbono ($CO_2$), o metano ($CH_4$) e o óxido nitroso ($N_2O$), cada um deles com diferentes potenciais de aquecimento e tempos diferentes de permanência na atmosfera. Nas condições naturais, esse processo deixa o planeta em equilíbrio térmico, porém, com a intensificação de atividades antrópicas têm promovido alterações significativas na composição e emissões para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (Oshima *et al.*, 2020; Drinkwater *et al.*, 2023).

Após a Revolução Industrial, ocorreu grande aumento nas emissões de $CO_2$, devido à queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural. Outro fator que contribuiu para esse cenário, foi a mudança no uso da terra, com o aumento do desmatamento e a transformação dos sistemas naturais para áreas agrícolas, resultando na liberação de quantidades grandes de carbono que previamente estavam armazenados na biomassa do solo (Filonchyk *et al.*, 2023). O metano tem como origem ou em grande parte de atividades oriundas da agropecuária, advindo de fermentação dos ruminantes, manejo dos dejetos e a decomposição anaeróbia de solos alagados, como as lavouras de arroz irrigado (Smith, Reay & Smith, 2021). Já o óxido nitroso tem sua associação ligado ao uso dos fertilizantes nitrogenados e também a dinâmica dos microrganismos do solo, produzido a partir de processos como a nitrificação e a desnitrificação (Xun *et al.*, 2021).

O solo é onde se concentra o maior compartimento de armazenamento de carbono, estocando uma quantidade significativamente maior que à presente na atmosfera e nos vegetais. A capacidade que o solo possui de atuar como uma fonte ou sumidouro de carbono vai depender diretamente da prática de manejo adotada pelo

agricultor (Lal *et al.*, 2021; Mishra *et al.*, 2025). Nos sistemas agrícolas ditos convencionais, que tem como característica o revolvimento intenso do solo, para o monocultivo e com uma baixa adição de resíduos orgânicos vegetais, ocorre a mineralização da matéria orgânica presente e a liberação de $CO_2$ para a atmosfera. Por outro lado, o uso de práticas conservacionistas, como o plantio direto, a rotação das culturas e o uso de plantas de cobertura, irão favorecer o acúmulo de carbono nestes solos, contribuindo para a diminuição das emissões (Li *et al.*, 2025).

Com isto o objetivo do presente trabalho foi avaliar através do banco de dados da Web of Science, a produção científica sobre emissão de óxido nitroso ($N_2O$).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da pesquisa

O estudo bibliométrico foi realizado utilizando o cruzamento de dados por meio de uma análise bibliométrica na base de dados da *Web Of Science*, pelo Acesso Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), do portal Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A *Web Of Science* é uma plataforma renomada, sua base de dados abrange vasta coleção de literatura revisada por pares, incluindo artigos de revistas científicas, conferências, livros, patentes e outros tipos de documentos acadêmicos, além de ser conhecida pela ampla cobertura global e inclusão de muitas revistas de alto impacto em diferentes áreas do conhecimento. Essas plataformas incluem centenas de periódicos e publicação científica referente ao tema: Dinâmica do nitrogênio e gases de efeito estufa na aplicação de diferentes tipos de fertilizantes.

#### 2.1.1 Estratégia de busca

A busca nas bases de dados foi do tipo avançada, realizada na data de 12 de Abril de 2026, sendo que o período entre os anos de 2022 a 2026 foi assumido como recorte temporal definido a partir das publicações dos últimos 10 anos presentes nas bases de dados utilizadas. A busca baseou-se em categorias como “artigos”, categorias de publicações para obter maior número de trabalhos referentes ao tema.

O procedimento metodológico utilizou uma estratégia de busca generalista, para abranger o maior número de resultados. A busca consistiu na utilização das seguintes palavras-chave: *("nitrous oxide" OR "$N_2O$") AND ("soil" OR "agriculture") AND ("denitrification" OR "nitrification" OR "nitrogen cycle") AND ("greenhouse gas" OR "climate change").* Os procedimentos metodológicos empregados neste estudo são representados pelo fluxograma na Figura 1.

**Figura 1**. Procedimentos metodológicos empregados na pesquisa.




Fonte: Modelo conceitual elaborado pelos autores e gerado visualmente com auxílio de inteligência artificial a partir de prompts desenvolvidos pelos autores.

## 2.2 Área de Estudo e Público alvo

A estratégia de pesquisa utilizada resultou em um total de 997 documentos na base de dados da *Web Of Science*. Como critério de filtragem, foi aplicado à exclusão de estudos considerados menos relevantes.

Para a pesquisa foi utilizado o software RStudio no pacote Bibliometrix, que possibilitou quantificar a produção de artigos científicos publicada entre os anos de 2022 a 2026 em diferentes países (figura 2) e o pacote VOSviewer para identificar termos ou palavras mais usadas em documentos (figura 3).

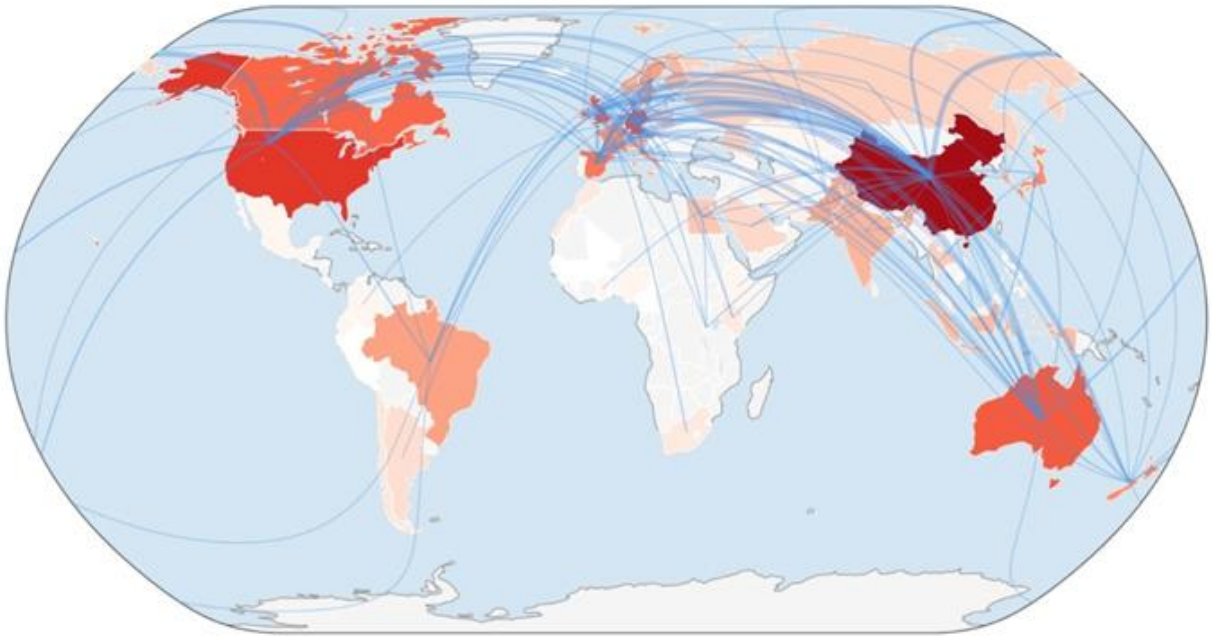
Na análise dos dados foram quantificados a produção científica anual do Brasil, países que mais publicaram, assim como os termos de maior ocorrência nas palavras chave. A técnica utilizada para análise de redes de ocorrência mostra a relação entre temas de diferentes estudos dentro da temática pesquisada. As palavras encontradas se deram pelo fato de que estas palavras indicam áreas importantes de pesquisa e interligam diferentes disciplinas que contribuem para uma determinada publicação além de evidenciarem as áreas centrais estudadas

pelos pesquisadores para uma publicação específica. Para isso, o software VOSviewer foi utilizado na análise de redes de palavras-chave e geração de nuvem de palavras dos termos mais frequentes, que possibilita o agrupamento dos termos da área de estudo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de colaboração científica (Figura 2) entre países *(Country Collaboration Map*), gerado no Bibliometrix/Biblioshiny, mostra a intensidade de produção (cor vermelha) e conexões internacionais (linhas azuis). Como o artigo se trata de $N_2O$, solo, agricultura e ciclo do nitrogênio (2021–2026), esse mapa ajuda a interpretar quem lidera a pesquisa mundial e como o conhecimento circula globalmente.

**Figura 2** – Mapa global de colaboração científica entre países nas publicações sobre emissões de óxido nitroso ($N_2O$), solo, agricultura e ciclo do nitrogênio no período de 2022 a 2026. A intensidade da cor representa o volume de produção científica, enquanto as linhas indicam relações de coautoria internacional.



Fonte: Elaborado pelo autor através do software R (pacote Bibliometrix).

A análise da colaboração científica internacional revelou forte concentração da produção em poucos países, com destaque para China, Estados Unidos, Austrália, Canadá e nações da Europa Ocidental. A China apresentou a maior intensidade de produção científica, seguida pelos Estados Unidos, evidenciando o protagonismo dessas nações nas pesquisas relacionadas às emissões de $N_2O$ em solos agrícolas. As linhas de conexão indicam intensa cooperação internacional, especialmente entre China–Europa, China–Estados Unidos, Estados Unidos–Canadá e países europeus entre si. Observa-se ainda participação relevante da Austrália, que aparece conectada a diversos centros científicos globais.

Países da América do Sul, como o Brasil, apresentaram participação moderada, com menor intensidade de produção quando comparados aos principais pólos científicos mundiais, porém inseridos na rede internacional de colaboração.

O predomínio de China e Estados Unidos pode ser explicado pelo elevado investimento em ciência, ampla infraestrutura experimental e importância estratégica da agricultura nesses países. Além disso, ambos enfrentam desafios relacionados à mitigação de gases de efeito estufa e segurança alimentar, o que impulsiona pesquisas sobre eficiência do uso do nitrogênio e redução das emissões de $N_2O$. A forte presença chinesa nos últimos anos acompanha a expansão global de sua produção científica, tendência observada em diversas áreas agrárias e ambientais. Em estudos bibliométricos recentes, a China tem assumido posição central nas redes internacionais de coautoria e produção científica.

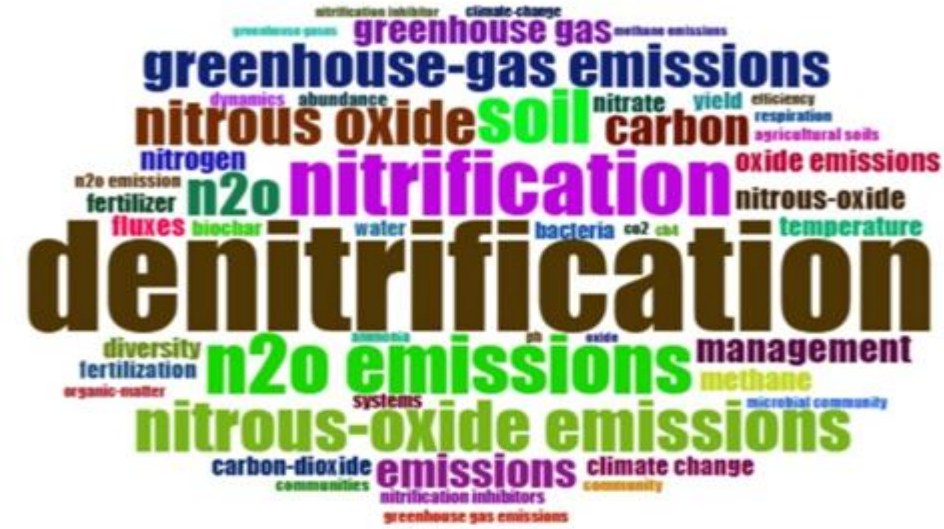
As conexões intensas entre Europa, América do Norte e Ásia indicam que o tema possui natureza global e multidisciplinar, exigindo colaboração entre regiões com diferentes sistemas agrícolas, condições climáticas e políticas ambientais. Isso é particularmente importante porque os processos de nitrificação e desnitrificação variam conforme o solo, clima e manejo agrícola.

A menor representatividade de países africanos e parte da América Latina sugere desigualdade estrutural na geração do conhecimento científico, possivelmente associada a limitações de financiamento, infraestrutura e acesso a redes internacionais.

A gestão de nutrientes é um desafio crucial para a produção global de alimentos e existe a necessidade urgente de aumentar a disponibilidade de nutrientes para as culturas cultivadas por pequenos agricultores em países em desenvolvimento. Muitas mudanças nas práticas, incluindo o consórcio de culturas, a inclusão de culturas fixadoras de nitrogênio, a agrofloresta e a melhoria da reciclagem, demonstraram claramente ser benéficas sendo necessárias políticas facilitadoras e estratégias práticas para torná-las amplamente disponíveis, levando em consideração as condições econômicas e sociais locais. A longo prazo, os fertilizantes serão essenciais para a segurança alimentar (Powlson et al., 2011).

O Brasil aparece como participante emergente, o que pode estar relacionado à relevância do agronegócio nacional, à expansão dos estudos sobre fertilizantes nitrogenados e à necessidade de reduzir emissões em sistemas tropicais. A figura 3 representa uma nuvem de palavras dos termos mais frequentes encontrados nos títulos, resumos e/ou palavras-chave dos artigos da base bibliométrica.

**Figura 3** – Nuvem de palavras dos termos mais frequentes nas publicações sobre óxido nitroso ($N_2O$), solo, agricultura e ciclo do nitrogênio no período de 2022 a 2026. O tamanho das palavras representa a frequência de ocorrência na base de dados analisada



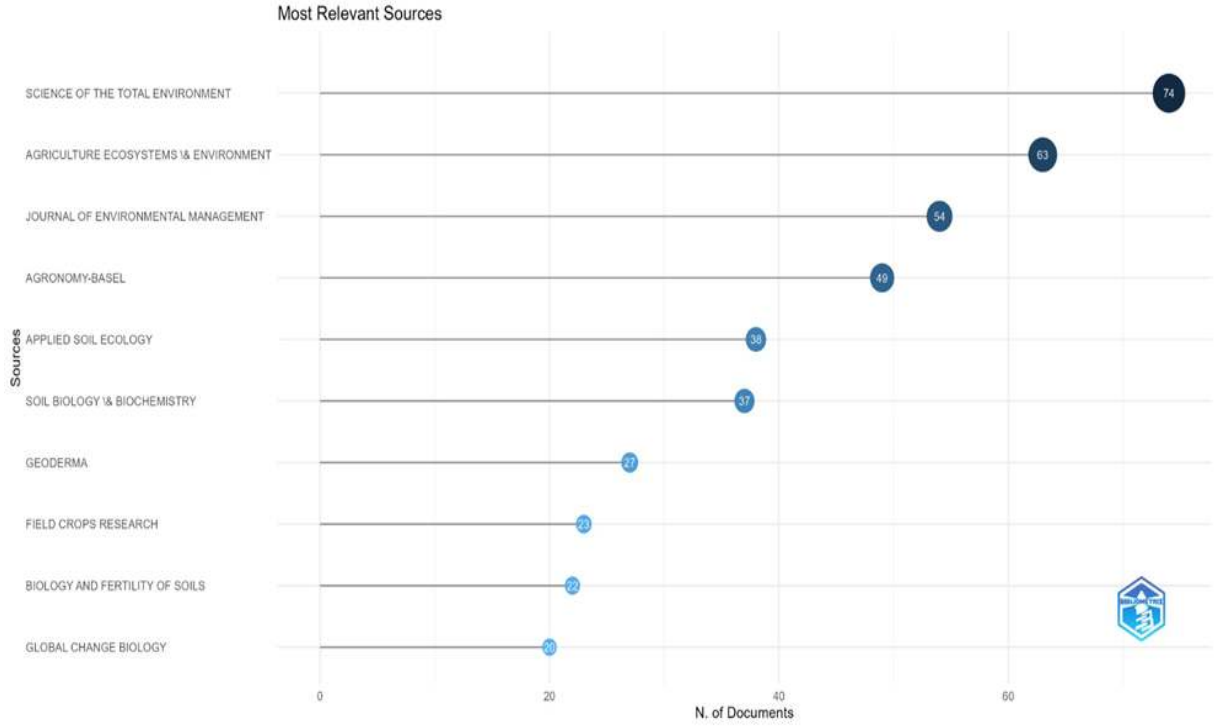

Fonte: Elaborado pelo autor através do software R (pacote Bibliometrix).

A análise de frequência de palavras evidenciou que o termo *denitrification* apresentou maior destaque na literatura analisada, indicando que os estudos publicados entre 2021 e 2026 concentram-se fortemente nos processos microbiológicos responsáveis pela redução do nitrato e consequente formação de óxido nitroso (Figura 3). Em seguida, destacaram-se os termos *nitrification, nitrous oxide emissions, greenhouse-gas emissions, soil, carbon e $N_2O$ emissions*, demonstrando forte associação entre transformações do nitrogênio no solo e emissões de gases de efeito estufa. Palavras relacionadas ao manejo agrícola, como *biochar, fertilizer, nitrification inhibitor, management e temperature*, sugerem crescente interesse em estratégias mitigadoras das emissões de $N_2O$ em sistemas produtivos.

O óxido nitroso biogênico ($N_2O$) proveniente da nitrificação e desnitrificação em solos agrícolas é uma importante fonte de $N_2O$ na atmosfera, e seu fluxo varia significativamente com a umidade do solo (Wang et al., 2023).

A figura 4 representa as fontes mais relevantes *(Most Relevant Sources)*, ou seja, os periódicos científicos com maior número de publicações sobre o tema entre 2022 e 2026. Esse resultado é fundamental para mostrar onde o conhecimento está sendo divulgado e quais revistas concentram a produção científica.

**Figura 4** - Periódicos científicos mais relevantes em número de publicações sobre óxido nitroso ($N_2O$), solo, agricultura e ciclo do nitrogênio no período de 2022 a 2026.




Fonte: Elaborado pelo autor através do software R (pacote Bibliometrix).

A análise das fontes de publicação revelou elevada concentração dos estudos em periódicos de perfil ambiental, agrícola e ciência do solo (Figura 4). O periódico *Science of the Total Environment* apresentou o maior número de documentos publicados (74), seguido por *Agriculture, Ecosystems & Environment* (63) e *Journal of Environmental Management* (54). Na sequência, destacaram-se *Agronomy-Basel* (49), *Applied Soil Ecology* (38) e *Soil Biology & Biochemistry* (37), evidenciando forte presença de revistas voltadas aos processos biológicos e manejo do solo.

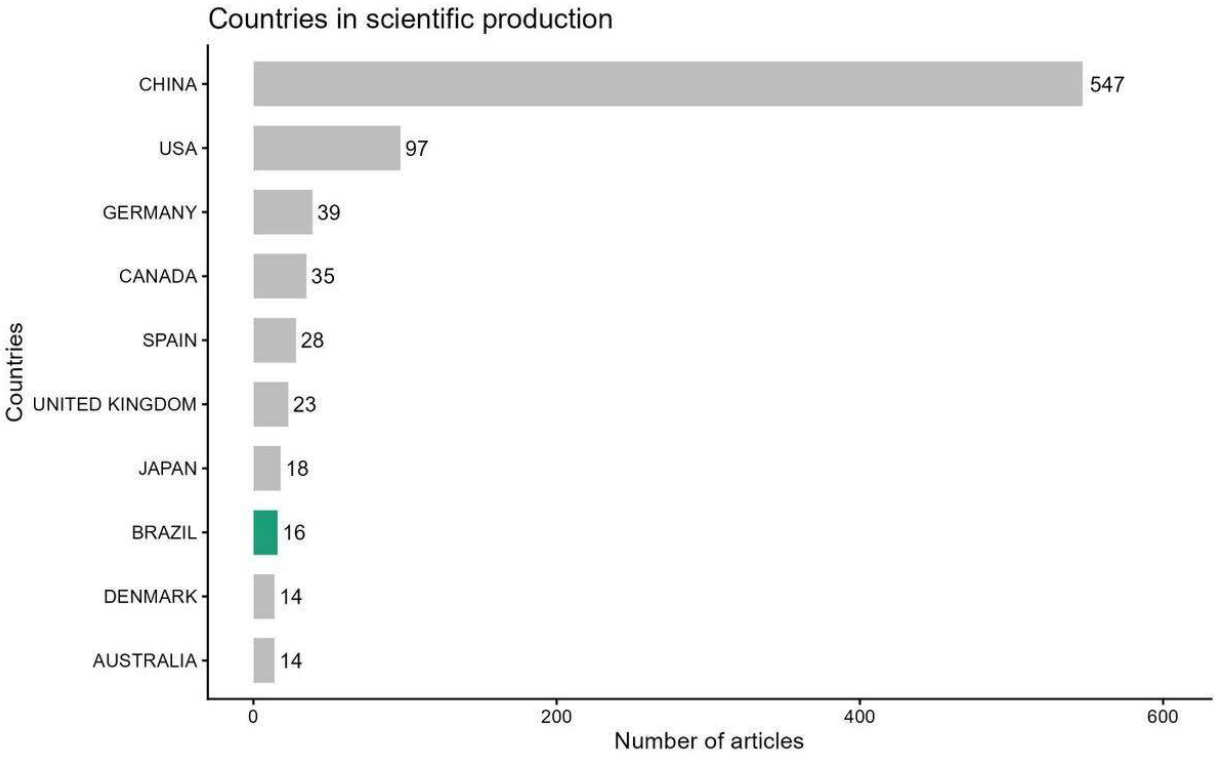
Outros periódicos relevantes incluíram *Geoderma* (27), *Field Crops Research* (23), *Biology and Fertility of Soils* (22) e *Global Change Biology* (20).

O predomínio de periódicos multidisciplinares ambientais, como *Science of the Total Environment* e *Journal of Environmental Management*, indica que a temática das emissões de $N_2O$ ultrapassa o campo estritamente agronômico, sendo tratada como questão estratégica de sustentabilidade, mudanças climáticas e gestão ambiental. A forte presença de *Agriculture, Ecosystems & Environment* reforça que os estudos recentes têm buscado integrar produtividade agrícola e impactos ambientais, especialmente relacionados ao uso de fertilizantes nitrogenados e emissões de gases de efeito estufa.

Já periódicos especializados em ciência do solo, como *Soil Biology & Biochemistry*, *Applied Soil Ecology*, *Geoderma* e *Biology and Fertility of Soils*, demonstram que os mecanismos microbiológicos e físico-químicos do solo continuam sendo o núcleo científico do tema, especialmente nos processos de nitrificação e desnitrificação. A inclusão de *Global Change Biology* entre as principais fontes evidencia o crescente interesse em conectar emissões agrícolas de $N_2O$ às escalas globais de aquecimento climático, balanço de carbono e políticas de mitigação.

A distribuição da produção científica do ranking dos 10 países, apresentada na Figura 5, evidencia a participação das principais nações na geração de conhecimento relacionado à temática estudada no período analisado. Observa-se concentração expressiva das publicações em poucos países, com ampla liderança da China, seguida por Estados Unidos, Alemanha e Canadá, enquanto o Brasil aparece entre os dez países com maior número de artigos.

**Figura 5**. Ranking dos dez países com maior produção científica em publicações sobre óxido nitroso ($N_2O$), solo, agricultura e ciclo do nitrogênio no período de 2022 a 2026.




Fonte: Elaborado pelo autor através do software R (pacote Bibliometrix).

Os resultados demonstram protagonismo absoluto da China, responsável por 547 publicações, número muito superior ao registrado pelos demais países. Esse desempenho pode estar relacionado aos elevados investimentos nacionais em pesquisa científica, ao avanço tecnológico no setor agrícola e à necessidade de enfrentar impactos ambientais decorrentes da intensificação produtiva. Além disso, o país possui grande relevância na produção mundial de alimentos e elevado consumo de fertilizantes nitrogenados, fatores que impulsionam estudos sobre dinâmica do nitrogênio no solo e emissões de óxido nitroso.

Os Estados Unidos, com 97 artigos, aparecem na segunda posição, seguidos por Alemanha (39), Canadá (35), Espanha (28) e Reino Unido (23). A presença desses países entre os principais produtores científicos reforça a importância de políticas públicas voltadas à sustentabilidade agrícola, inovação tecnológica e mitigação das mudanças climáticas. Nessas regiões, pesquisas relacionadas ao manejo do solo, eficiência do uso de nutrientes e redução de gases de efeito estufa têm recebido atenção crescente nas últimas décadas.

O Brasil ocupa a oitava colocação, com 16 publicações, demonstrando inserção progressiva no cenário científico internacional. Embora o número ainda seja inferior ao observado em países líderes, o resultado revela potencial de crescimento, especialmente considerando a relevância do agronegócio brasileiro e a diversidade de sistemas agrícolas tropicais. Dessa forma, o fortalecimento de investimentos em ciência, cooperação internacional e pesquisas aplicadas às condições edafoclimáticas nacionais pode ampliar significativamente a contribuição brasileira nessa área.

Entre 2022 e 2026, foram identificados 997 artigos científicos relacionados ao tema pesquisado, evidenciando crescimento expressivo da produção científica ao longo do período analisado. Em 2022, registraram-se 185 publicações, número que aumentou para 201 em 2023 e 242 em 2024. O pico ocorreu em 2025, com 264 artigos, representando o maior volume anual de estudos. Para 2026, foram contabilizados 105 artigos, valor inferior aos anos anteriores, possivelmente em razão da indexação parcial do ano em andamento.

**Tabela 1 –** Quantidade de artigos publicados no mundo do ano de 2022 a 2026.

| Ano | Número de artigos |
|---|---|
| **2022** | 185 |
| **2023** | 201 |
| **2024** | 242 |
| **2025** | 264 |
| **2026** | 105 |
| **Total** | **997** |

Fonte: elaborada pelo autor.

Os resultados demonstram tendência contínua de expansão do interesse científico sobre a temática, especialmente entre 2022 e 2025. Esse avanço pode estar associado à crescente preocupação global com sustentabilidade agrícola, mudanças climáticas e necessidade de práticas de manejo mais eficientes. O aumento das publicações também reflete o fortalecimento de políticas ambientais e o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias voltadas à mitigação de impactos ambientais nos sistemas produtivos.

A redução observada em 2026 não deve ser interpretada como queda real na produção científica, uma vez que bases de dados costumam apresentar atualização progressiva ao longo do ano. Assim, os dados indicam consolidação e crescente relevância do tema no cenário científico internacional.

## 4 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica evidenciou crescimento expressivo da produção científica sobre óxido nitroso ($N_2O$), solo, agricultura e ciclo do nitrogênio entre 2022 e 2026, demonstrando a crescente importância do tema frente aos desafios relacionados às mudanças climáticas e à sustentabilidade dos sistemas produtivos. A China destacou-se como principal país produtor de conhecimento científico, seguida pelos Estados Unidos e países

europeus, enquanto o Brasil apresentou participação emergente, com potencial de ampliação diante da relevância do setor agropecuário nacional.

Os estudos concentram-se principalmente nos processos de nitrificação e desnitrificação, emissões de gases de efeito estufa e estratégias de mitigação, como manejo eficiente de fertilizantes, biochar e práticas conservacionistas do solo. De forma geral, conclui-se que a temática possui caráter multidisciplinar e estratégico para a agricultura sustentável, sendo necessário ampliar investimentos em pesquisa, cooperação internacional e desenvolvimento de tecnologias adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas.

**Agradecimentos**

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa de estudos, fundamental para a realização da pós-graduação.

**Conflitos de interesses**

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

**Contribuições dos autores**

Marciano Tuchtenhagen da Fonseca: Concepção do estudo, definição da metodologia, coleta e análise dos dados bibliométricos, interpretação dos resultados e redação do manuscrito.

Marcos Jardel Matias Soares: Contribuição na interpretação científica, revisão crítica do manuscrito, revisão bibliográfica e organização geral do trabalho.

Mélory Maria Fernandes de Araujo: Coleta dos dados bibliométricos, apoio na redação, auxílio na estruturação metodológica e organização geral do trabalho.

Thomaz Burgueño de Alpoim: Revisão textual e ajustes.

Daiane Aparecida Krewer: Revisão textual e ajustes.

Tainara Hartwig da Silva: Revisão textual e ajustes.

Letiele Nunes de Freitas: Revisão textual e ajustes.

Luciene da Silva Pizani Rodrigues: Revisão textual e ajustes.

Lizete Stumpf: Revisão textual, ajustes e orientação científica.

Ezequiel Cesar Carvalho Miola: Revisão textual, ajustes e orientação científica.

## REFERÊNCIAS

Drinkwater, A., Palmer, P. I., Feng, L., Arnold, T., Lan, X., Michel, S. E., ... & Boesch, H. (2023). Atmospheric data support a multi-decadal shift in the global methane budget towards natural tropical emissions. *Atmospheric* of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2. 0. *Progress in Earth and Planetary Science*, *7*(1), 38.*Chemistry and Physics*, *23*(14), 8429-8452.

Filonchyk, M., Peterson, M., Zhang, L., Hurynovich, V., & He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO2, CH4, and N2O. *The Science of the total environment*, 173359 . https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359.

Lal, R., Monger, C., Nave, L., & Smith, P. (2021). The role of soil in regulation of climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 376*. https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0084.

Li, X., Wang, Y., Chen, W., & He, B. (2025). Path Mechanism and Field Practice Effect of Green Agricultural Production on the Soil Organic Carbon Dynamics and Greenhouse Gas Emission Intensity in Farmland Ecosystems. *Agriculture*.https://doi.org/10.3390/agriculture15141499.

Mishra, S., Chaubey, A., Pathak, J., Tripathi, K., Syed, S., Pandey, K., & Singh, A. (2025). Influence of Recommended Agricultural Management Practices on Enhancing Soil Carbon Sequestration. *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews*. https://doi.org/10.21276/aatccreview.2025.13.03.24.

Oshima, N., Yukimoto, S., Deushi, M., Koshiro, T., Kawai, H., Tanaka, T. Y., & Yoshida,. K. (2020). Global and Arctic effective radiative forcing.

Philipona, R., Kräuchi, A., Kivi, R., Peter, T., Wild, M., Dirksen, R., ... & Becker, R. (2020). Balloon-borne radiation measurements demonstrate radiative forcing by water vapor and clouds.

Powlson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J. N., Hopkins, D. W., Whitmore, A. P., Hirsch, P. R., & Goulding, K. W. T. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*, *36*(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.025.

Smith, P., Reay, D., & Smith, J. (2021). Agricultural methane emissions and the potential formitigation. *Philosophical Transactions of the Royal Society A, 379*. https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0451.

Soeder, D. J. (2021). Greenhouse gas sources and mitigation strategies from a geosciences perspective. *Advances in Geo-Energy Research*, *5*(3), 274-285.

Wang H, Yan Z, Ju X, Song X, Zhang J, Li S and Zhu-Barker X (2023) Quantifying nitrous oxide production rates from nitrification and denitrification under various moisture conditions in agricultural soils: Laboratory study and literature synthesis. Front. Microbiol. 13:1110151. doi: 10.3389/fmicb.2022.1110151.

Xun, Z., Xu, T., Ren, B., Zhao, X., Quan, Z., Bai, L., & Fang, Y. (2022). Nitrogen Fertilization of Lawns Enhanced Soil Nitrous Oxide Emissions by Increasing Autotrophic Nitrification. *, 10*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.943920.