Nanocelulose e inovação científica: tendências e aplicações mapeadas por meio de bibliometria

Isabella Alves Falcão[1]*, Matheus Rodrigues de Menezes Teixeira[2], Gabriela Silveira da Rosa[3], André Ricardo Felkl de Almeida[4]

[1] isabellafalcao.aluno@unipampa.edu.br. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé, Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7359-7788
[2] matheusteixeira.aluno@unipampa.edu.br. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé, Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0864-0449
[3] gabrielarosa@unipampa.edu.br. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé, Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8831-448X
[4] andrealmeida@unipampa.edu.br. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Bagé, Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6362-5724
* autora correspondente

Resumo
A nanocelulose tem se destacado como um material de interesse crescente no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, devido à sua elevada resistência mecânica, biodegradabilidade e origem renovável. Proveniente de fontes lignocelulósicas, sua ampla aplicabilidade em diferentes setores tem contribuído para o aumento da produção científica em diversos países. Diante desse cenário, realizou-se uma revisão da literatura na base de dados Scopus, à luz da análise bibliométrica, que é uma metodologia quantitativa, abrangendo o período de 2020 a 2025, com o objetivo de analisar a evolução das pesquisas em nanocelulose, identificar instituições e autores mais relevantes e compreender os principais temas investigados. A análise, conduzida com auxílio do software VOSviewer, revelou um crescimento significativo das publicações, com predominância de países asiáticos, destacando-se China, Índia e Malásia, além da identificação de autores com elevada centralidade nas redes de colaboração científica. As pesquisas concentram-se principalmente em aplicações como compósitos biodegradáveis, sensores, filmes com barreira ativa e materiais adsorventes, o que evidencia o caráter multidisciplinar da nanocelulose. Nesse sentido, o presente estudo oferece uma visão estruturada do avanço científico da nanocelulose, contribuindo para a compreensão de seu posicionamento no cenário internacional e fornecendo subsídios para orientar futuras pesquisas e estratégias de desenvolvimento tecnológico. Como perspectiva futura, sugere-se o aprofundamento das análises sobre as colaborações entre universidades e empresas, bem como a avaliação da influência das políticas de incentivo na consolidação de redes internacionais voltadas à valorização de resíduos lignocelulósicos por meio da nanocelulose.
Palavras-chave: bibliometria; nanocelulose; produção científica; resíduos lignocelulósicos; sustentabilidade.

Nanocellulose and scientific innovation: trends and applications mapped through bibliometrics

Abstract
Nanocellulose has emerged as a material of growing interest in the development of sustainable technologies due to its high mechanical strength, biodegradability, and renewable origin. Derived from lignocellulosic sources, its wide applicability in different sectors has contributed to increased scientific production in various countries. In this context, a bibliometric review was conducted using data from Scopus, covering the period from 2020 to 2025, with the aim of analyzing the evolution of research on nanocellulose, identifying the most relevant institutions and authors, and understanding the main topics

Early View

investigated. The analysis, conducted with the aid of VOSviewer software, revealed a significant growth in publications, predominantly from Asian countries, particularly China, India, and Malaysia, as well as the identification of authors with high centrality in scientific collaboration networks. Research focuses mainly on applications such as biodegradable composites, sensors, active barrier films, and adsorbent materials, highlighting the multidisciplinary nature of nanocellulose. In this sense, the present study offers a structured view of the scientific advancement of nanocellulose, contributing to the understanding of its position in the international scenario and providing subsidies to guide future research and technological development strategies. As a future perspective, it is suggested that further analysis be given to collaborations between universities and companies, as well as an evaluation of the influence of incentive policies on the consolidation of international networks focused on the valorization of lignocellulosic waste through nanocellulose.
Keywords: *bibliometrics; lignocellulosic residues; nanocellulose; scientific production; sustainability.*

1 Introdução

O aumento do consumo de alimentos processados e a expansão global das indústrias de processamento de frutas e vegetais resultaram em um aumento substancial de resíduos agroindustriais, compostos principalmente de bagaços, caules, sementes, fibras e cascas (Priyanka *et al*., 2024). Estes resíduos também podem ser chamados de resíduos lignocelulósicos devido a sua composição de celulose, hemicelulose, lignina (Mitsuhara; Moraes; Crestani, 2025). Essa composição tem despertado crescente interesse trazendo essas biomassas como fontes sustentáveis e econômicas para a produção de nanomateriais e biocompósitos, principalmente quando se leva em consideração a dependência cada vez maior de polímeros sintéticos (Ilyas *et al*., 2022).

A nanotecnologia permite converter materiais vegetais em produtos de alto valor agregado por meio de rotas ecológicas que evitam o uso de reagentes tóxicos e minimizam os impactos ambientais (Ansari *et al*., 2024). Os nanomateriais obtidos a partir de resíduos lignocelulósicos, em geral, apresentam propriedades funcionais promissoras para diversas aplicações industriais, incluindo os setores farmacêutico, alimentício, cosmético e ambiental, destacando-se pela atividade antibacteriana, purificação de água e degradação de corantes industriais (Hassan; Alshandoudi; Shaltout, 2023).

A nanocelulose, pertencente à classe dos nanomateriais, é uma forma nanométrica derivada da celulose, cujas dimensões variam tipicamente entre 5 e 60 nanômetros de diâmetro (Thomas *et al*., 2020). De acordo com Dhali *et al*. (2021), a nanocelulose pode ser classificada em três tipos: nanofibrilas de celulose (CNFs), nanocristais de celulose (CNCs) e nanocelulose bacteriana (BNC), onde a produção das CNFs e CNCs envolve processos "*top-down*" nos quais materiais lignocelulósicos são fragmentados até a escala nanométrica e a BNC é obtida por meio de uma abordagem "*bottom-up*", onde bactérias sintetizam celulose a partir de glicose.

Essas características estruturais conferem à nanocelulose elevada razão de aspecto e ampla área superficial (Bashir *et al*., 2022). Tais propriedades resultam em resistência mecânica notável, com valores de tração superiores a 2 GPa e módulo de elasticidade próximo ao do aço, cerca de 140 GPa (Alias *et al*., 2023), promovendo maior resistência, flexibilidade e durabilidade (Syafiq *et al*., 2024). Sua capacidade de formar ligações de hidrogênio e interagir com outras substâncias também favorece melhorias nas propriedades funcionais de filmes (Wang *et al*., 2025) e revestimentos sustentáveis. A combinação entre desempenho técnico, biodegradabilidade e origem renovável torna a nanocelulose um material promissor para inúmeras aplicações (Guevara *et al*., 2025).

Nos últimos anos, tem-se observado um crescimento expressivo no número de publicações relacionadas ao uso de resíduos lignocelulósicos na produção de nanocelulose, evidenciando o crescente interesse da comunidade científica e do setor industrial por materiais sustentáveis (Saxena *et al*., 2025). Essa tendência também reflete a expansão geográfica e interdisciplinar do tema, com contribuições advindas de diversos países e áreas do conhecimento, como engenharia de materiais, biotecnologia, química verde e ciências ambientais. Apesar dos avanços, a literatura ainda é extremamente limitada, especialmente em bases consolidadas como a Scopus. Assim, evidencia-se a necessidade de estudos

Early View

mais sistemáticos, incluindo revisões bibliométricas que mapeiem o panorama atual das aplicações realizadas, identificando lacunas e visando orientar novas estratégias de pesquisa e inovação.

Neste contexto, o presente artigo teve como objetivo realizar uma análise bibliométrica abrangente do campo da nanocelulose, mapeando a evolução histórica da produção científica nos últimos cinco anos, incluindo os principais autores, instituições e palavras-chave relacionadas. Além disso, buscou-se identificar as áreas de aplicação mais recorrentes e as redes de colaboração entre pesquisadores, com base em dados extraídos da base Scopus, reconhecida internacionalmente por sua cobertura ampla e criteriosa.

A realização desta análise justificou-se pela necessidade de compreender a estrutura e a dinâmica da produção científica sobre nanocelulose nos últimos tempos, de modo a orientar novas pesquisas e otimizar investimentos em ciência e tecnologia. Nesse cenário, este estudo pode subsidiar decisões estratégicas no âmbito científico, tecnológico e político, contribuindo para o avanço sustentável e inovador do conhecimento na área.

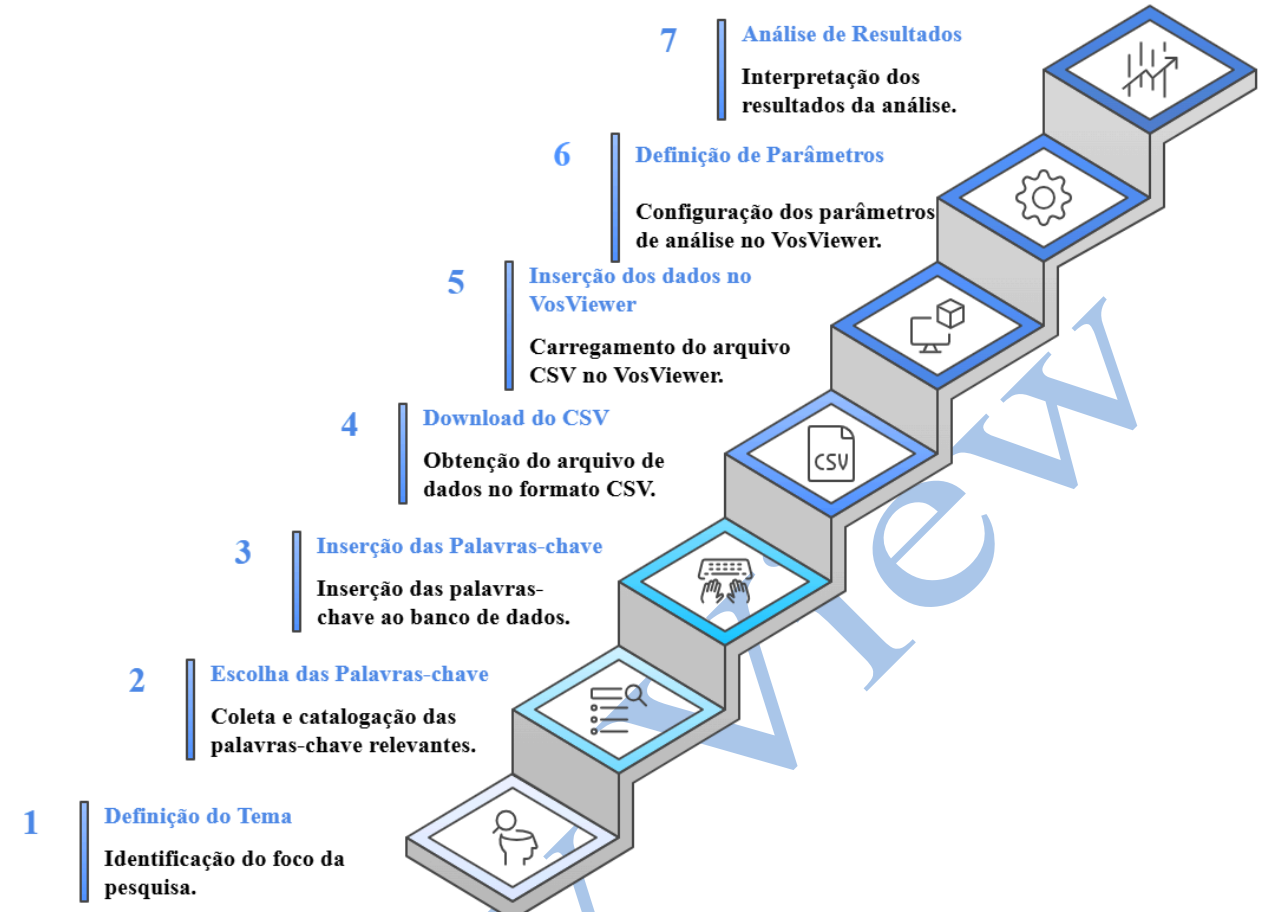
Diante disso, na seção 2, são apresentados os métodos da pesquisa, descrevendo de forma detalhada todas as etapas de sua execução, desde a concepção do estudo até os procedimentos de obtenção, tratamento e análise dos dados. Em seguida, na seção 3, são expostos os resultados e as discussões, cientificamente fundamentados por meio da análise crítica do conjunto de dados obtidos. Por último, na seção 4, são apresentadas as conclusões da pesquisa.

2 Método da pesquisa

A presente revisão bibliométrica foi estruturada com o objetivo de mapear a produção científica relacionada à nanocelulose a partir de resíduos lignocelulósicos, com foco em abordagens sustentáveis e recentes. Para tanto, foram definidos procedimentos sistemáticos de busca, seleção e análise dos documentos. Essas etapas estão organizadas na Figura 1, que apresenta o percurso metodológico seguido desde a busca inicial até a consolidação dos dados analisados.

Early View

Figura 1 – Processos de seleção e análises de estudos



Fonte: elaborado pelos autores

A coleta de dados foi realizada de 1 a 17 de junho de 2025, utilizando o banco de dados Scopus, disponibilizado pela Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, no Rio Grande do Sul, resultando em 2.100 documentos encontrados através do critério de seleção de palavras-chave relacionadas à nanocelulose e resíduos (*nanocellulose and waste or biomass or lignocellulose*). Além disso, a estratégia de busca foi estruturada para recuperar documentos publicados entre 2020 e 2025, com foco em publicações recentes e relevantes que demonstrem as aplicações que vêm sendo exploradas nesta área.

Os dados bibliográficos foram analisados com o auxílio do software VOSviewer, utilizado para a construção de mapas de coocorrência e coautoria. Para assegurar a relevância dos estudos incluídos nesta pesquisa, adotou-se como critério mínimo a existência de cinco publicações por autor, considerando artigos, revisões e capítulos de livros. Essa abordagem permitiu a análise dos padrões de colaboração científica e da distribuição da produção entre autores, instituições e países.

3 Resultados e discussão

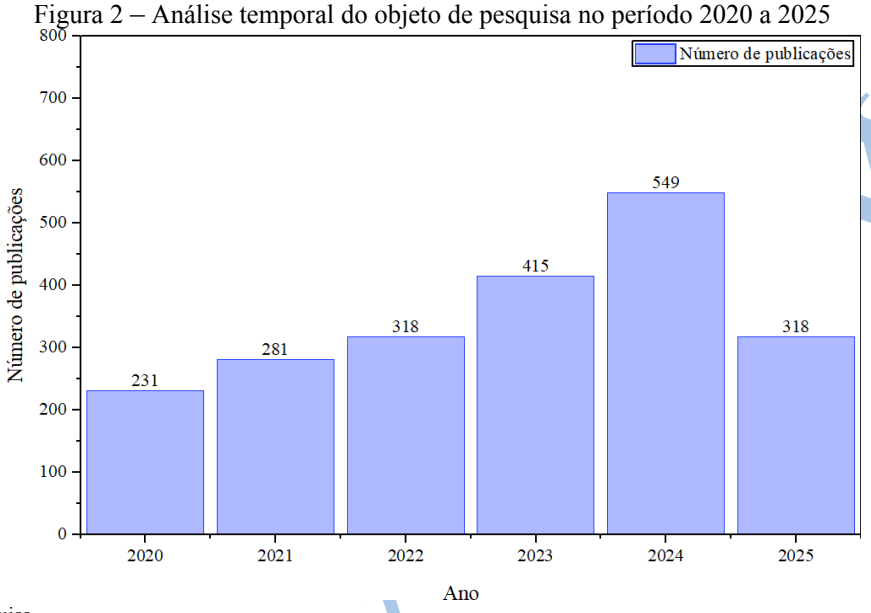
A análise preliminar de anos anteriores ao período de coleta de dados revelou uma tendência consistente de crescimento no número de estudos sobre nanocelulose, especialmente a partir de 2017. Nesse período, destacaram-se pesquisas voltadas principalmente para métodos de obtenção da nanocelulose (Kargarzadeh *et al*., 2017), revisões acerca desse material ainda emergente (Xue; Mou; Xiao, 2017) e sua aplicação como agente de reforço em biomateriais (Elias *et al*., 2017; Jabbar *et al*.,

Early view

2017; Kasa *et al*., 2017), refletindo o crescente interesse científico por materiais sustentáveis, biopolímeros e suas aplicações industriais.

Além disso, observa-se, conforme apresentado na Figura 2, que as pesquisas na área continuaram avançando de forma significativa ao longo dos anos, alcançando expressivo crescimento até 2024. Embora, até o momento da finalização desta pesquisa, o número de publicações registradas em 2025 ainda seja inferior ao observado no ano anterior, esse cenário não representa necessariamente uma redução na produção científica, uma vez que o levantamento foi concluído ainda no primeiro semestre, restando parte considerável do ano para novas publicações que poderão ampliar esse quantitativo.

Figura 2 – Análise temporal do objeto de pesquisa no período 2020 a 2025



Fonte: dados da pesquisa

O aumento em geral no número de pesquisas evidencia a relevância emergente da nanocelulose como material inovador em diversas áreas. Uma justificativa para esse aumento é a evolução tecnológica por razões interligadas que vão desde melhorias nos métodos de produção até o surgimento de novas aplicações. Thakur *et al*. (2021) identificou que melhorias nas técnicas de extração (combinação de tratadores químicos, enzimáticos e mecânicos) e funcionalização de superfícies que permitiram obter nanocelulose com características específicas para aplicações em compósitos, biossensores e catálise, atraindo ainda mais estudos para esta área de pesquisa.

Partindo do recorte temporal definido a partir do *download* do conjunto de dados, realizado de 1º a 17 de junho de 2025, observa-se que, com relação aos tipos de documentos identificados no levantamento bibliométrico, houve predominância de artigos científicos (72,3%), o que reforça o caráter consolidado e acadêmico da temática. As análises representaram 15,7% da produção, seguidas pelos capítulos de livros, com 6,6%. Já os artigos de conferência corresponderam a 3,8%, enquanto livros (0,7%) e artigos de dados (0,9%) apareceram em menor proporção. Esses dados evidenciam a predominância dos artigos como principal forma de disseminação científica, ao mesmo tempo em que revelam a contribuição de outros formatos relevantes para o aprofundamento e a divulgação do conhecimento na área.

Além disso, o aumento no número de estudos vai ao encontro com o inferido por Jing *et al*. (2024), indicando que, em resposta aos desafios ambientais enfrentados globalmente, o desenvolvimento e a aplicação de materiais funcionais têm despertado crescente interesse, especialmente no contexto da mitigação de impactos ambientais, substituição de materiais sintéticos e avanço de soluções sustentáveis, como bioplásticos, biocombustíveis e filmes biodegradáveis. Esse cenário é evidenciado pelos estudos apresentados no Quadro 1, os quais foram selecionados

Early View

estrategicamente por abordarem diferentes fontes de biomassa lignocelulósica e por apresentarem distintas abordagens tecnológicas e aplicações emergentes da nanocelulose.

Quadro 1 – Estudos recentes abordando a nanocelulose e suas aplicações

Autor	**Fonte celulósica empregada**	**Técnica**	**Aplicação**
Zhou *et al*. (2025)	Nanocelulose comercial	Método de fundição de filmes	Otimização de sistemas de gel à base de proteínas vegetais
Lim, Na e Kang (2025)	Nanocelulose obtida a partir de resíduos de chá verde	Nanorrevestimento de probióticos	Aprimoramento do efeito de probióticos
Jia *et al*. (2025)	Nanocelulose obtida a partir de celulose comercial	Reticulação sinérgica	Desenvolvimento de sensores
Montenegro *et al*. (2025)	Nanocelulose obtida a partir da palha de trigo	Imobilização de fotocatalisador em suporte de nanofibras de celulose	Tratamento de efluentes e controle da poluição hídrica
Nguyen *et al*. (2025)	Nanocelulose obtida a partir de Palmeiras nipa vietnamitas	Método de fundição de filmes	Otimização de embalagens biodegradáveis
Mendes *et al*. (2025)	Nanocelulose obtida a partir do fruto de Jerivá	Método de fundição de suspensão	Desenvolvimento de nanopapéis

Fonte: dados da pesquisa

A análise dos estudos apresentados no Quadro 1, à luz de pesquisas recentes, evidencia não apenas sua relevância atual, mas também o potencial que representam para novas frentes de investigação com nanocelulose. A diversidade de biomassas utilizadas reforça a crescente valorização de recursos lignocelulósicos em sintonia com os princípios da economia circular e da bioeconomia. Ainda, de acordo com Norizan *et al*. (2022), essa multiplicidade de fontes abre espaço para o fortalecimento de práticas regionais e sustentáveis, que considerem tanto o aproveitamento da biodiversidade local quanto os contextos socioeconômicos de cada território.

Entre as tendências promissoras, ganha destaque o desenvolvimento de materiais inteligentes, como os estudos de Jia *et al*. (2025) e Mendes *et al*. (2025), que oferecem contribuições significativas ao ampliar as possibilidades de aplicação da nanocelulose em dispositivos de alto desempenho. A combinação de propriedades como flexibilidade, transparência e resistência mecânica abre espaço para sua utilização em sensores vestíveis, componentes eletrônicos biodegradáveis e plataformas funcionais. Futuras investigações podem avançar na integração desses materiais a estruturas híbridas, incluindo compostos condutores ou semicondutores naturais, o que tende a aumentar sua estabilidade e sensibilidade em condições extremas de temperatura e umidade (Sun *et al*., 2025).

Paralelamente, cresce o interesse pela aplicação da nanocelulose em sistemas biotecnológicos e ambientais. O estudo de Lim, Na e Kang (2025), ao empregar resíduos de chá verde no revestimento de probióticos, propõe uma estratégia inovadora que combina proteção gastrointestinal e propriedades antioxidantes. Essa abordagem pode ser expandida por meio da funcionalização da nanocelulose com enzimas, peptídeos bioativos ou antioxidantes naturais, visando maior seletividade e eficiência na liberação de compostos terapêuticos. Já no contexto ambiental, Montenegro *et al*. (2025) destacam-se ao

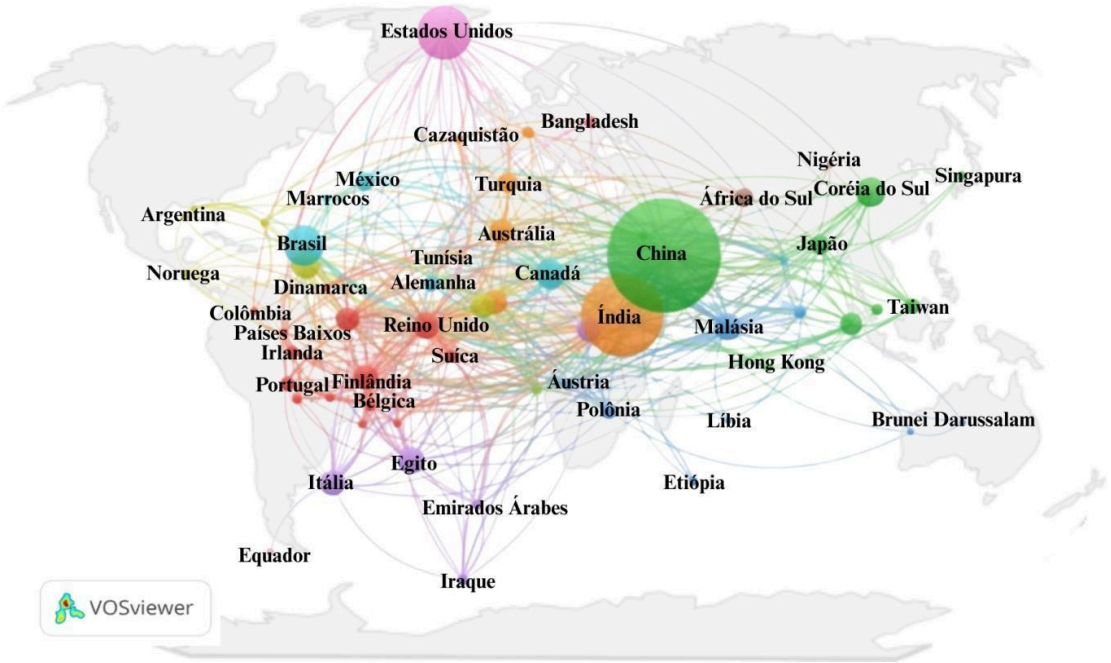
Early View

utilizar palha de trigo na produção de aerogéis fotocatalíticos voltados à remoção de microplásticos e tratamento de efluentes. Ainda que incipiente, essa linha de pesquisa tende a se fortalecer, sobretudo diante da necessidade crescente por tecnologias sustentáveis, eficazes e de baixo custo.

A partir da literatura examinada, é possível perceber que a nanocelulose se consolida como um campo de pesquisa altamente versátil e em contínua expansão, evidenciado pela diversidade de fontes de biomassa, rotas de obtenção, técnicas de caracterização e estratégias de incorporação em diferentes matrizes e aplicações. Isso permite identificar o crescimento da utilização da nanocelulose em distintas áreas, destacando seu caráter promissor e sua relevância para o desenvolvimento de materiais sustentáveis. Contudo, essa diversidade também resulta em um corpo de conhecimento disperso, no qual a fragmentação das informações dificulta a organização, a comparação e a consolidação dos resultados disponíveis na literatura. Dessa forma, conforme demonstrado por Hoang (2025), evidencia-se que o direcionamento das análises bibliométricas depende da adoção de estratégias metodológicas mais específicas, como o refinamento das palavras-chave e dos filtros de busca, de modo a alinhar o conjunto de documentos selecionados aos objetivos pretendidos.

No que tange às colaborações entre países, os dados analisados no software VOSviewer demonstram, conforme apresentado na Figura 3, que a produção científica sobre nanocelulose configura um panorama internacional dinâmico, com destaque expressivo para países asiáticos. Em relação ao número de documentos publicados, a China lidera de forma significativa (29,05%), seguida por Índia (17,24%), Malásia (9,24%) e Estados Unidos (9%). Esses percentuais refletem não apenas o elevado volume de publicações, mas também a relevância estratégica que a nanocelulose vem assumindo nas agendas de pesquisa e desenvolvimento dessas nações.

Figura 3 – Mapa de colaboração entre países na produção científica sobre nanocelulose



Fonte: elaborado pelos autores

A Ásia se destaca em função dos altos investimentos em tecnologias sustentáveis e pelo amplo uso de resíduos agrícolas na produção de embalagens biodegradáveis, hidrogéis e compósitos funcionais. Segundo Ho, Halim e Islam (2022), quando se classificam os tipos de estudos feitos com maior frequência em cada país, a China ocupa posição central na pesquisa abordando nanocelulose bacteriana, destacando-se em número absoluto de artigos, colaborações internacionais e citações. Já a

Índia e a Malásia, embora com produção inferior, mostram tendência de crescimento, associada à expansão de centros de pesquisa utilizando a nanocelulose no desenvolvimento de materiais renováveis.

Os Estados Unidos, embora atrás em volume, se sobressaem em impacto, com alta média de citações por publicação, indicando qualidade e influência científica. Isso se deve principalmente em função de contarem com centros de referência como o *Forest Products Laboratory* (FPL), que em 2012 inaugurou uma planta piloto de nanocelulose de alto investimento, incentivando a pesquisa nesta área. Isso se confirma em muitos estudos como no artigo escrito por Wei *et al*. (2023), intitulado "Correlação entre morfologia e desempenho de filmes à base de nanofibrilas de celulose" que foi financiado por este centro de referência governamental estadunidense.

O Brasil, com participação de 5,1% em relação ao total de publicações, posiciona-se como um dos principais produtores da América Latina. De acordo com Ansari *et al*. (2024), grande parte desses trabalhos envolve a utilização da nanocelulose como agente de reaproveitamento sustentável visando valorização de resíduos de produções agroindustriais, conforme demonstrado no Quadro 2, o que evidencia uma aplicação alinhada com as demandas ambientais contemporâneas.

Quadro 2 – Produção científica recente na área de nanocelulose no Brasil

Subárea de estudo	**Autor e ano de publicação**
Valorização dos resíduos da cultura do milho	Santos *et al*. (2025)
Valorização das fibras dos frutos de Jerivá	Mendes *et al*. (2025)
Valorização da casca de acácia-negra esgotada	Rodrigues (2023)
Utilização da nanocelulose como fotoprotetor em cosméticos	Cruz *et al*. (2025)
Utilização da nanocelulose como agente reforçador em filmes	Cholant *et al*. (2025)

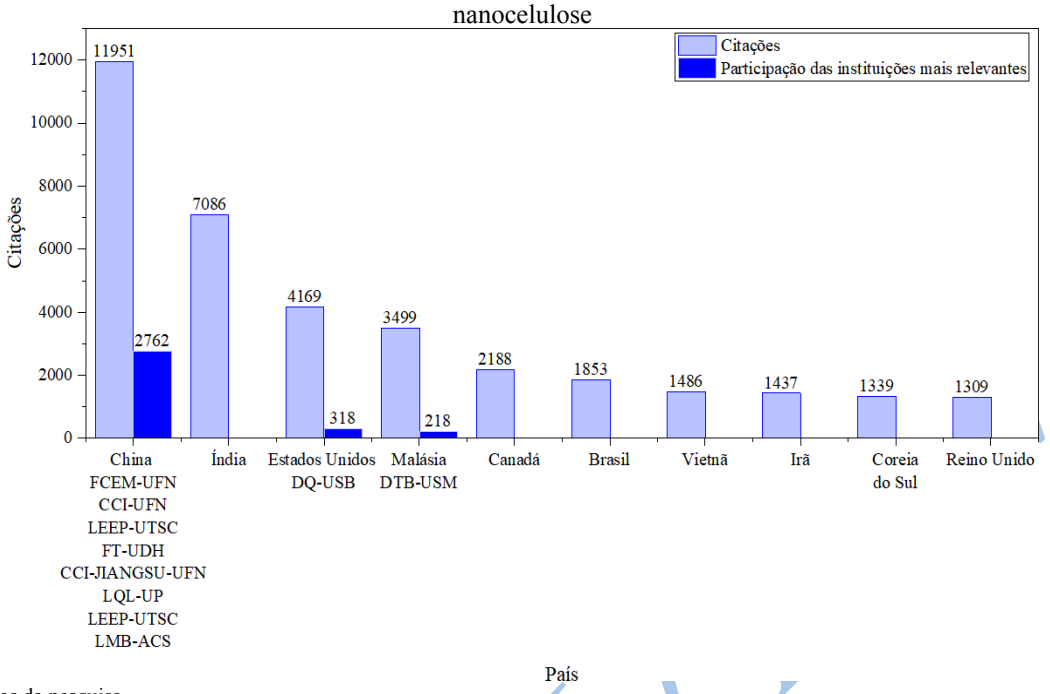
Fonte: dados da pesquisa

Países como Indonésia (4,95%), Coreia do Sul (3,24%), Canadá (3,19%), Japão (3,14%) e Espanha (3,05%) também aparecem como contribuintes importantes com enfoques diversos, que vão desde o aproveitamento de resíduos agrícolas e o desenvolvimento de compósitos sustentáveis até aplicações em áreas tecnológicas, como sensores, embalagens inteligentes e materiais funcionai. Essa configuração vai de encontro com a tendência descrita por Ngidi, Martincigh e Nyamori (2025), que evidenciaram que essas abordagens refletem o interesse global no potencial multifuncional da nanocelulose, ainda que com menor intensidade em relação aos países líderes da área.

Com base no panorama das instituições mais citadas e suas nacionalidades (Figura 4), percebe-se uma expressiva concentração na China, que abriga oito das dez organizações com maior impacto em pesquisas sobre nanocelulose. Destacam-se a Faculdade de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Florestal de Nanquim (FCEM-UFN), o Centro de Coinovação para Processamento e Utilização Eficientes de Recursos Florestais (CCI-UFN) e o Laboratório Estadual de Engenharia de Celulose e Papel da Universidade de Tecnologia do Sul da China (LEEP-UTSC). Essas instituições se sobressaem não apenas pelo volume de publicações, mas também pelo direcionamento de seus estudos para aplicações práticas, como compósitos biodegradáveis, embalagens ativas e tecnologias voltadas ao meio ambiente, além de atuarem em redes colaborativas que ampliam a visibilidade de suas pesquisas (Pradeep *et al*., 2025).

Early View

Figura 4 – Distribuição das citações por país e destaque das instituições mais relevantes na pesquisa sobre nanocelulose



Fonte: dados da pesquisa

Embora a Índia ocupe a segunda posição em número total de citações, nenhuma de suas instituições aparece entre as mais relevantes. Esse dado está alinhado com a análise de Kappi, Chavali e Ahmed (2022), que mostraram como a produção científica indiana na área é bastante pulverizada entre diferentes centros de pesquisa. Ao contrário de países com núcleos institucionais mais concentrados, como a China, essa distribuição mais ampla pode fazer com que o impacto das instituições indianas se dilua, dificultando seu destaque individual mesmo diante de um volume expressivo de trabalhos publicados.

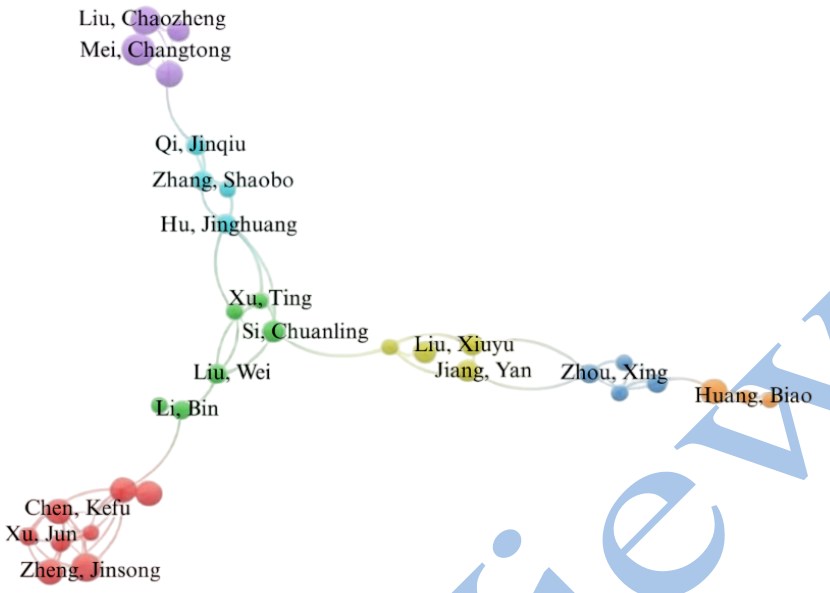
Nos Estados Unidos, a única instituição entre as mais citadas é o Departamento de Química da Universidade Stony Brook (DQ-USB), com pesquisas voltadas à funcionalização química da nanocelulose para fins biomédicos e sensores. Já a Malásia aparece com a Divisão de Tecnologia de Biorrecursos da Universidade de Ciências da Malásia (DTB-USM), destacando-se por trabalhos com resíduos agroindustriais, aerogéis e materiais sustentáveis (Norrrahim *et al*., 2022).

Assim, observa-se que o volume de publicações por país não implica necessariamente em impacto institucional equivalente. A forma como cada contexto organiza sua produção científica e define suas prioridades de aplicação influencia diretamente na visibilidade e relevância das instituições envolvidas.

Ao ser realizada a análise da rede de coautoria (Figura 5), evidenciou-se a formação de núcleos produtivos consolidados, identificados por agrupamentos de cor, que refletem a intensidade das colaborações entre pesquisadores na área de nanocelulose. Os círculos representam os autores, e as linhas mostram colaborações em publicações.

Early V

Figura 5 – Rede de coautoria em publicações



Fonte: dados da pesquisa

O grupo vermelho, por exemplo, é composto por autores como Zheng e Kefu, que mantêm colaborações intensas voltadas ao desenvolvimento de compósitos híbridos de nanocelulose, com aplicações em materiais resistentes ao fogo, papéis técnicos e barreiras funcionais (Hu *et al*., 2025). Suas pesquisas combinam nanocelulose com nanopartículas, argilas e agentes de reforço, destacando-se pelo impacto direto em setores como papel e embalagens técnicas. Esse núcleo representa um polo de inovação aplicada com grande contribuição técnica para setores industriais no que se refere a pesquisas atuais e futuras.

O grupo verde, onde se encontra Si, exerce papel estratégico na rede ao conectar núcleos temáticos distintos relacionados ao reaproveitamento de biomassas lignocelulósicas e atuar em aplicações avançadas como aerogéis condutores, sensores biomiméticos e supercapacitores baseados em nanocelulose e grafeno (Liu *et al*., 2024; Zeng *et al*., 2025). Sua posição evidencia elevada centralidade de intermediação, o que favorece a circulação de conhecimento entre áreas interdisciplinares. Essa configuração está em consonância com o que discutem Zhang *et al*. (2025), ao demonstrarem que nós com alta centralidade de interligação, identificados por meio de análises com o VOSviewer atuam como pontos-chave para a articulação de diferentes campos e para a difusão do conhecimento em fronteiras científicas emergentes.

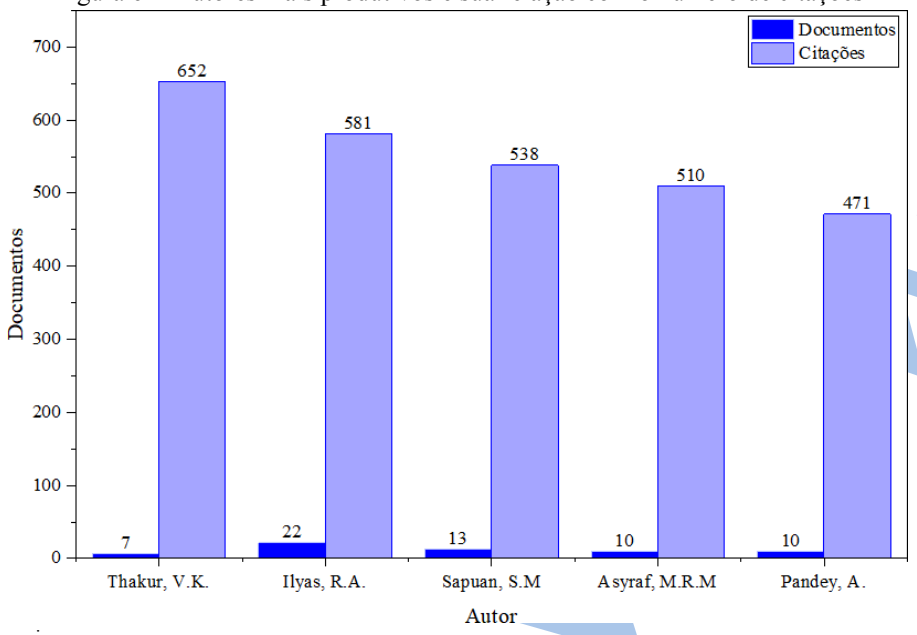
A atuação desses três autores em suas respectivas redes não apenas revela padrões distintos de colaboração, mas também norteia os rumos das pesquisas futuras, uma vez que seus trabalhos têm influência direta sobre o direcionamento temático e metodológico do campo. Além disso, a análise também evidencia a presença de colaborações regionais fortes, especialmente entre autores da China e da Malásia. Embora essa coesão local contribua para a produtividade, pode também sinalizar um padrão de colaboração menos internacionalizado. Estudos recentes, como o de Adams e Szomszor (2024), mostram que o aumento da colaboração internacional está diretamente associado ao crescimento do impacto nacional, sugerindo que ampliar parcerias além da região é importante para fortalecer a relevância da pesquisa

Isolando os autores mais produtivos e citados (Figura 6), como Ilyas, Sapuan, Thakur, Asyraf e Pandey, nota-se que, apesar de possuírem impacto relevante, esses nomes não aparecem nas redes de coautoria analisadas. Tal ausência pode estar relacionada aos filtros aplicados ou também podem ser ocasionados pela problemática evidenciada por Jaramillo *et al*. (2023), que demonstram que

Early view

comunidades segregadas em redes colaborativas podem conter autores produtivos com baixa visibilidade intercomunitária, reforçando a importância de interpretar os mapas com cautela para evitar a sub-representação de nomes relevantes.

Figura 6 – Autores mais produtivos e sua relação com o número de citações



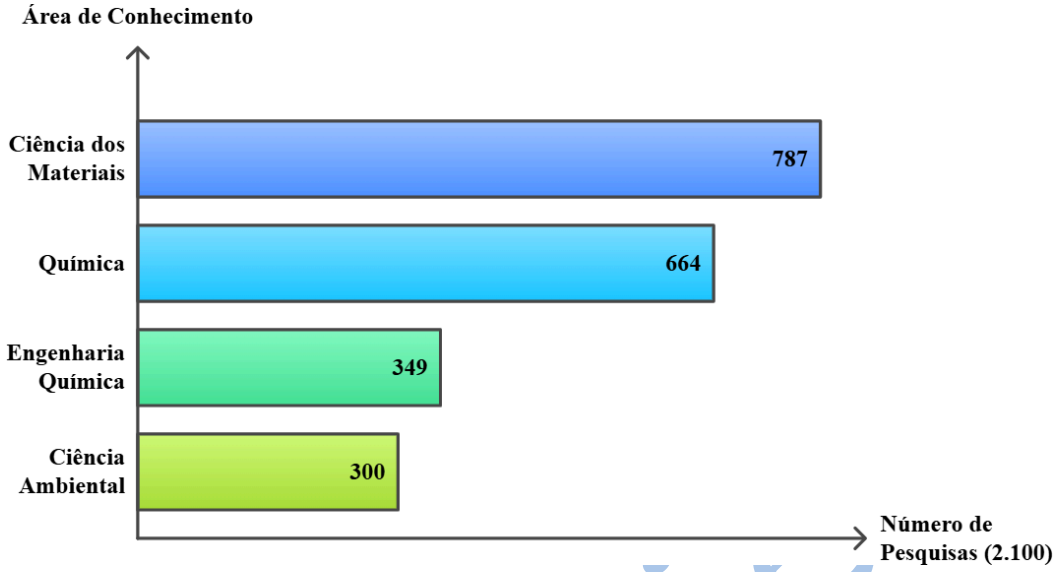
Fonte: dados da pesquisa

Dessa forma, ainda que as redes de coautoria ofereçam uma visualização importante das interações entre grupos de pesquisa, elas não devem ser tomadas como um retrato completo da produção científica no campo. Autores altamente produtivos, mas que operam em núcleos menos interconectados ou em frentes temáticas paralelas, muitas vezes não são captados por esse tipo de análise. Por isso, ao combinar os dados de rede com indicadores de produtividade e impacto individual, torna-se possível obter uma compreensão mais ampla e equilibrada sobre quem são os pesquisadores que, de fato, vêm moldando os rumos da pesquisa da nanocelulose.

Quando analisadas as áreas temáticas acerca do assunto, foi observada ampla inserção multidisciplinar do tema, com destaque para áreas ligadas às ciências exatas e naturais, conforme a Figura 7, evidenciando a forte presença da nanocelulose em áreas como Ciência dos Materiais, Química, Engenharia Química e Ciência Ambiental, o que reforça seu papel como um tema essencialmente multidisciplinar, com aplicações distribuídas entre o desenvolvimento de novos materiais, processos químicos sustentáveis e soluções ambientais. Esse panorama é coerente com o estudo de Sari, Wardhani e Sumardiono (2024) e Düren, Oliveira e Alhadeff (2025), que identificaram essas mesmas áreas como pilares da pesquisa internacional em nanocelulose, especialmente em relação à exploração de processos, bem como a formulação de compósitos, sensores e materiais funcionais para setores industriais e biomédicos.

Early View

Figura 7 – Esquema demonstrativo das quatro áreas que mais publicam sobre a nanocelulose e seus números



Fonte: dados da pesquisa

Esse direcionamento também se observa nas aplicações destacadas nos Quadros 1 e 2, que reúnem estudos nacionais e internacionais publicados em 2025. Pesquisas como as de Zhou *et al*. (2025), Lim, Na e Kang (2025) e Montenegro *et al*. (2025) aplicam a nanocelulose em géis vegetais, probióticos, sensores e tratamentos de efluentes, enquanto autores brasileiros, como Mendes *et al*. (2025) demonstram seu uso em embalagens, cosméticos, papel técnico e valorização de biomassas regionais, como jerivá, açaí, acácia-negra e caroço de azeitona. Tais estudos demonstram que a presença das áreas na Figura 7 não é apenas quantitativa, mas está diretamente associada à concretização de aplicações sustentáveis e tecnológicas, conforme já indicado por Bianchet *et al*. (2020).

Adicionalmente, a presença de campos como Bioquímica, Genética, Biologia Molecular, Física, Medicina e Farmacologia, embora menos expressiva numericamente, revela um avanço interdisciplinar com grande potencial de expansão. Esse movimento de migração para áreas emergentes, como dispositivos médicos, bioativos e energia limpa, está alinhado ao que Ho, Halim e Islam (2022) identificaram como uma tendência global: o reposicionamento da nanocelulose como uma plataforma tecnológica versátil, integrando sustentabilidade, inovação e funcionalidade em múltiplas áreas do conhecimento.

4 Conclusão

A análise bibliométrica confirma a consolidação da nanocelulose como um tema emergente e estratégico, impulsionado pela demanda por soluções sustentáveis e pela valorização de resíduos lignocelulósicos. Observou-se um crescimento significativo das publicações entre 2020 e 2025, com predominância de países asiáticos, especialmente China, Índia e Malásia, que se destacam tanto pelo volume de estudos quanto pelo forte envolvimento institucional no desenvolvimento de aplicações tecnológicas.

Além disso, a análise das redes de colaboração evidenciou a presença de autores com elevada centralidade científica, responsáveis por direcionar as pesquisas para aplicações como compósitos biodegradáveis, sensores, filmes com barreira ativa e materiais adsorventes, necessário o refinamento das estratégias metodológicas, por meio da aplicação de filtros adicionais, a fim de delimitar com maior precisão o tipo de pesquisa analisada. Do ponto de vista temático, os resultados reforçam o caráter multidisciplinar da nanocelulose, com destaque para as áreas de Ciência dos Materiais, Química e Engenharia Química.

Early View

Diante desse cenário, este mapeamento bibliométrico contribui para a compreensão da dinâmica recente da produção científica e oferece subsídios para o direcionamento de políticas de fomento, a definição de prioridades para inovação tecnológica e o fortalecimento de parcerias entre instituições de pesquisa. Como perspectiva futura, sugere-se o aprofundamento das análises sobre colaborações entre universidades e empresas, bem como sobre o impacto das políticas de incentivo na consolidação de redes internacionais voltadas à valorização de resíduos lignocelulósicos por meio da nanocelulose.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Pampa (Unipampa) pelo apoio institucional e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado. Também à equipe do Grupo de Pesquisa em Engenharia e Sistemas Particulados (GPESP) pelo suporte técnico durante o desenvolvimento da pesquisa.

Financiamento

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio da concessão de bolsa de estudo no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Unipampa, Campus Bagé.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

FALCÃO, I. A.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; coleta, análise e/ou interpretação dos dados; elaboração e redação do manuscrito; revisão crítica, com participação intelectual significativa. **TEIXEIRA, M. R. M.:** coleta, análise e/ou interpretação dos dados; elaboração e redação do manuscrito. **ROSA, G. S.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; revisão crítica, com participação intelectual significativa; supervisão geral e coordenação do projeto ou estudo **ALMEIDA, A. R. F.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; revisão crítica, com participação intelectual significativa; supervisão geral e coordenação do projeto ou estudo. Todos os autores participaram da discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

ADAMS, J.; SZOMSZOR, M. National research impact is driven by global collaboration, not rising performance. **Scientometrics**, v. 129, n. 5, p. 2883-2896, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11192-024-05010-6.

ALIAS, B. K.; PETER, S.; LYCZKO, N.; NZIHOU, A.; MARIA, H. J.; THOMAS, S. Cellulose nanofiber aerogel as a potential receiver layer for solar application: a review. **Materials Today Sustainability**, v. 24, 100510, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100510.

ANSARI, M. M.; HEO, Y.; DO, K.; GHOSH, M.; SON, Y.-O. Nanocellulose derived from agricultural biowaste by-products – Sustainable synthesis, biocompatibility, biomedical applications, and future perspectives: A review. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 8, 100529, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100529.

BASHIR, O.; RASHID, S.; MASOODI, N.; KHAN, S. A.; MAJID, I.; MALIK, M.; BEENISH. 5 - Nanocellulose: Chemistry, preparation, and applications in the food industry. *In*: SAPUAN, S. M.; NORRRAHIM, M. N. F.; ILYAS, R. A.; SOUTIS, C. (ed.). **Industrial Applications of Nanocellulose and Its Nanocomposites**. Cambridge, USA: Woodhead Publishing, 2022. p. 155-177. (Woodhead

Early view

Publishing Series in Composites Science and Engineering). DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89909-3.00008-0.

BIANCHET, R. T.; CUBAS, A. L. V.; MACHADO, M. M.; MOECKE, E. H. S. Applicability of bacterial cellulose in cosmetics – Bibliometric review. **Biotechnology Reports**, v. 27, e00502, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00502.

CHOLANT, G. M.; BOSENBECKER, M. W.; REICHERT, A. A.; BEATRICE, C. A. G.; FREITAS, T. C.; FREITAS, N. D.; NUNES, N. V. V.; GALIO, A. F.; MISSIO, A. L.; OLIVEIRA, A. D. Polyvinyl Alcohol Films Reinforced with Nanocellulose from Rice Husk. **Macromol**, v. 5, n. 1, 6, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/macromol5010006.

CRUZ, J. V.; MADDALENO, A. S.; GAVA, J. S.; MAGALHÃES, W. L. E.; OLIVEIRA, D. P.; LEME, D. M.; MITJANS, M.; VINARDELL, M. P. Skin cell phototoxicity and photoprotection study of agro-derived lignin and nanocellulose. **Cosmetics**, v. 12, n. 2, 61, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/cosmetics12020061.

DHALI, K.; GHASEMLOU, M.; DAVER, F.; CASS, P.; ADHIKARI, B. A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability. **Science of the Total Environment**, v. 775, 145871, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145871.

DÜREN, B. A. M.; OLIVEIRA, I. R..; ALHADEFF, E. M. Mapeamento tecnológico sobre nanocelulose. **Brazilian Journal of Development**, v. 11, n. 7, e80953, 2025. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv11n7-030.

ELIAS, N.; CHANDREN, S.; ATTAN, N.; MAHAT, N. A.; RAZAK, F. I. A.; JAMALIS, J.; WAHAB, R. A. Structure and properties of oil palm-based nanocellulose reinforced chitosan nanocomposite for efficient synthesis of butyl butyrate. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, p. 281-292, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.097.

GUEVARA, K. M.; MARTÍNEZ-VALENZUELA, G.; SÁNCHEZ-VÁSQUEZ, V.; GUERRERO-RUIZ, K.; FIALLOS-CÁRDENAS, M. Trends and perspectives on bacterial nanocellulose: A comprehensive analysis from the three helixes of innovation. **Materials Today Sustainability**, v. 30, 101090, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101090.

HASSAN, A. F.; ALSHANDOUDI, L. M.; SHALTOUT, W. A. Utilizing modified cellulose nanoparticles derived from a plant loofah sponge to improve the removal of diazinon insecticide from an aqueous medium. **RSC Advances**, v. 13, n. 11, p. 7280-7292, 2023. DOI: https://doi.org/10.1039/D3RA00064H.

HO, Y.-S.; HALIM, A. F. M. F.; ISLAM, M. T. The Trend of Bacterial Nanocellulose Research Published in the Science Citation Index Expanded From 2005 to 2020: A Bibliometric Analysis. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 9, 795341, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.795341.

HOANG, A.-D. Evaluating bibliometrics reviews: a practical guide for peer review and critical reading. **Evaluation Review**, v. 49, n. 6, p. 1074-1102, 2025. DOI: https://doi.org/10.1177/0193841X251336839.

HU, F.; LI, M.; LI, P.; ZENG, J.; WANG, T.; LI, J.; WANG, B.; WU, C.; CHEN, K. High‐Performance Multifunctional Nanopapers with Superior Mechanical Strength, Electromagnetic Interference

Early view

Shielding, and Thermal Management for Next‐Generation Electronics. **Advanced Functional Materials**, v. 35, n. 17, 2418899, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/adfm.202418899.

ILYAS, R. A.; ASYRAF, M. R. M.; AISYAH, H. A.; SAPUAN, S. M.; NORRRAHIM, M. N. F.; IBRAHIM, R.; ATIKAH, M. S. N.; ATIQAH, A.; ZAINUDIN, E. S.; ISHAK, M. R.; SARI, N. H.; SHARMAN, S.; PUNIA, S.; NURAZZI, N. M. 1 - Introduction to nanocellulose production from biological waste. *In*: SAPUAN, S. M.; NORRRAHIM, M. N. F.; ILYAS, R. A.; SOUTIS, C. (ed.). **Industrial Applications of Nanocellulose and Its Nanocomposites**. Cambridge, USA: Woodhead Publishing, 2022. p. 1-37. (Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering). ISBN 9780323899093. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89909-3.00021-3.

JABBAR, A.; MILITKÝ, J.; ALI, A.; USMAN JAVED, M. Mechanical behavior of nanocellulose coated jute/green epoxy composites. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 254, n. 4, 042015, 2017. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/4/042015.

JARAMILLO, A. M.; WILLIAMS, H. T. P.; PERRA, N.; MENEZES, R. The structure of segregation in co-authorship networks and its impact on scientific production. **EPJ Data Sci**. v. 12, 47, 2023. DOI: https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-023-00411-8.

JIA, L.; ZHANG, L.; CAI, Z.; ZHU, F.; HUANG, B.; LU, Q. Ultra-flexible anti-freezing cellulose conductive hydrogel for energy storage and self-powered sensors. **Industrial Crops and Products**, v. 232, 121222, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121222.

JING, L.; SHI, T.; CHANG, Y.; MENG, X.; HE, S.; XU, H.; YANG, S.; LIU, J. Cellulose-based materials in environmental protection: A scientometric and visual analysis review. **Science of The Total Environment**, v. 929, 172576, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172576.

KAPPI, M.; CHAVALI, M.; SAB M, C.; AHMED, K. M. Comparative mapping of world and Indian nanocellulose research output during the last decade: A scientometric study. **Indian Journal of Pharmaceutical Investigation**, v. 12, n. 1, p. 97-103, 2022. DOI: https://doi.org/10.5530/ijpi.2022.1.18.

KARGARZADEH, H.; MARIANO, M.; HUANG, J.; LIN, N.; AHMAD, I.; DUFRESNE, A.; THOMAS, S. Recent developments on nanocellulose reinforced polymer nanocomposites: A review. **Polymer**, v. 132, p. 368-393, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.09.043.

KASA, S. N.; OMAR, M. F.; ABDULLAH, M. M. A. B.; ISMAIL, I. N.; TING, S. S.; VAC, S. C.; VIZUREANU, P. Effect of unmodified and modified nanocrystalline cellulose reinforced polylactic acid (PLA) polymer prepared by solvent casting method: morphology, mechanical and thermal properties. **Materiale Plastice**, v. 54, n. 1, p. 91-97, 2017. DOI: https://doi.org/10.37358/MP.17.1.4793.

LIM, J.-H.; NA, G.; KANG, J.-W. A green nanocoating approach to *Lactobacillus plantarum* using tea residue-derived phenolic compounds and cellulose nanocrystals. **Food Hydrocolloids**, v. 167, 111469, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111469.

LIU, Y.-H.; XU, Y.; HE, Y.-T.; WEN, J.-L.; YUAN, T.-Q. Lignocellulosic biomass-derived functional nanocellulose for food-related applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 277, 134536, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134536.

MENDES, J. F.; SILVA, M. J.; EVANGELISTA, N. C.; LOPES, L. P.; MARTINS, M. A.; MENDES, R. F.; MATTOSO, L. H. C. Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) fruit fibers valorization as cellulose and

Early View

lignocellulose nanofibers source for nanopaper production. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 311, Part 3, 143905, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.143905.

MITSUHARA, A. T.; MORAES, J. C.; CRESTANI, C. E. Caracterização química do bagaço de laranja: potencial rota para uso desse resíduo. **Revista Principia**, v. 62, e7678, 2025. DOI: https://doi.org/10.18265/2447-9187a2022id7678.

MONTENEGRO, R.; GONZÁLEZ, Z.; RODRÍGUEZ, A.; CANOVI, C.; POZZI, P.; SILIGARDI, C.; CEDILLO-GONZÁLEZ, E. I. Processing of bio-based photocatalytic sponge-like structures containing C,N-TiO_2 colloidally dispersed onto cellulose nanofibers for microplastic remediation. **Journal of Environmental Management**, v. 389, 126015, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126015.

NGIDI, N. P. D.; MARTINCIGH, B. S.; NYAMORI, V. O. Recent progress on nanocellulose-based nanocomposites for application in photovoltaic solar cells and supercapacitors. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 37, p. 1682-1704, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.05.013.

NGUYEN, V. T.; PHAM, L. H.; NGUYEN, N. T.; HOANG, D. Polyvinyl alcohol-based nanocomposite film reinforced with green nanocellulose and silver nanoparticles: structure, properties, and potential applications in food preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 318, Part 1, 144988, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144988.

NORIZAN, M. N.; SHAZLEEN, S. S.; ALIAS, A. H.; SABARUDDIN, F. A.; ASYRAF, M. R. M.; ZAINUDIN, E. S.; ABDULLAH, N.; SAMSUDIN, M. S.; KAMARUDIN, S. H.; NORRRAHIM, M. N. F. Nanocellulose-based nanocomposites for sustainable applications: A review. **Nanomaterials**, v. 12, n. 9, 3483, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/nano12193483.

NORRRAHIM, M. N. F.; KNIGHT, V. F.; NURAZZI, N. M.; JENOL, M. A.; MISENAN, M. S. M.; JANUDIN, N.; MOHD KASIM, N. A.; SHUKOR, M. F. A.; ILYAS, R. A.; ASYRAF, M. R. M.; NAVEEN, J. The frontiers of functionalized nanocellulose-based composites and their application as chemical sensors. **Polymers**, v. 14, n. 20, 4461, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/polym14204461.

PRADEEP, H. K.; PATEL, D. H.; MADHU, S.; NITHISH, S.; PARIMALA, H.; SANDEEP, D. S. Overview of Nanocellulose and its Applications: Insights using Scientometric Analysis. **Asian Journal of Chemistry**, v. 37, n. 12, p. 2931-2946, 2025. DOI: https://doi.org/10.14233/ajchem.2025.34696.

PRIYANKA, G.; SINGIRI, J. R.; ADLER-AGMON, Z.; SANNIDHI, S.; DAIDA, S.; NOVOPLANSKY, N.; GRAFI, G. Detailed analysis of agro-industrial byproducts/wastes to enable efficient sorting for various agro-industrial applications. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 11, 45, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s40643-024-00763-7.

RODRIGUES, T. L. **Produção de nanofibras de celulose a partir dos resíduos de casca de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. 2023. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2024. Disponível em: https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/riu/9036. Acesso em: 6 jun. 2025.

SANTOS, D. F.; FERREIRA, R. R.; SOUZA, A. G.; LENHANI, G. C.; DEON, V. G.; ROSA, D. S. PINTO, V. Z. Upcycling corn cropping waste by nanocellulose production. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 67, 103624, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103624.

Early View

SARI, D. K.; WARDHANI, D. H.; SUMARDIONO, S. Bibliometric mapping of cellulose nanoparticle research (2013-2023) using VOSviewer. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 67, n. 10, p. 87-96, 2024. DOI: https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.258587.9095.

SAXENA, A.; PARVEEN, F.; HUSSAIN, A.; KHUBAIB, M.; ASHFAQUE, M. Exploring the multifaceted landscape of lignocellulosic biomass-derived nanocellulose and nanolignin: synthesis and applications. **Polymer Bulletin**, v. 82, n. 13, p. 7525-7563, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s00289-025-05855-8.

SUN, Q.; HUANG, M.; ZENG, J.; MA, M.; LI, J.; LE, T. Beyond waste to bioactive potential: advances in olive by-product valorization and resource recovery. **Food Chemistry**, v. 496, Part 2, 146727, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146727.

SYAFIQ, R. M. O.; ILYAS, R. A.; RAJESHKUMAR, L.; AL-OQLA, F. M.; NUKMAN, Y.; ZUHRI, M. Y. M.; ATIQAH, A.; THIAGAMANI, S. M. K.; BANGAR, S. P.; BARILE, C.; SAPUAN, S. M. Corn starch nanocomposite films reinforced with nanocellulose. **Physical Sciences Reviews**, v. 9, n. 8, p. 2653-2681, 2024. DOI: https://doi.org/10.1515/psr-2022-0011.

THAKUR, V.; GULERIA, A.; KUMAR, S.; SHARMA, S.; SINGH, K. Recent advances in nanocellulose processing, functionalization and applications: a review. **Materials Advances**, v. 2, n. 6, p. 1872-1895, 2021. DOI: https://doi.org/10.1039/D1MA00049G.

THOMAS, P.; DUOLIKUN, T.; RUMJIT, N. P.; MOOSAVI, S.; LAI, C. W.; JOHAN, M. R. B.; FEN, L. B. Comprehensive review on nanocellulose: recent developments, challenges and future prospects. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 110, 103884, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103884.

WANG, Z.; O'YOUNG, L.; LI, M.; MAHMOOD, S.; WANG, Z.; HALL, P.; ZHENG, Y.; CHEN, G. Z.; LIU, S.; HU, B. Application of nanocellulose in anticorrosion coatings – A review of recent advances. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 315, 144371, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144371.

WEI, L.; BIAN, H.; AGARWAL, U. P.; SABO, R. C.; MATUANA, L. M.; STARK, N. M. Correlation between morphology and performance of cellulose nanofibril-based films. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 6, 100363, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2023.100363.

XUE, Y.; MOU, Z.; XIAO, H. Nanocellulose as a sustainable biomass material: structure, properties, present status and future prospects in biomedical applications. **Nanoscale**, v. 9, n. 39, p. 14758-14781, 2017. DOI: https://doi.org/10.1039/C7NR04994C.

ZENG, Q.; TIAN, Z.; JI, X.; LIU, S.; SI, C. Production of lignocellulose nanofibrils based on biochemical mechanical pulp from wheat straw. **Advanced Composites and Hybrid Materials**, v. 8, 170, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s42114-024-01200-1.

ZHANG, X.; ZOU, J.; SHI, Y.; ZHANG, X.; ZHAI, B.; GUO, D.; FENG, L.; LUAN, F. Research trends and hotspots of polysaccharide-based nanoparticles in the stabilization of Pickering emulsions: A bibliometric and visualization analysis. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 10, 100786, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100786.

ZHOU, Q.; ZHA, W.; ZHONG, K.; XU, J.; LIN, L.; HUANG, Y.; SUI, X.; LIU, Y.; XIAO, Y. Structure-activity relationship and regulatory mechanism of nanocellulose with different

Early view

length-diameter ratio on the gelling behavior of soybean protein-derived amyloid fibrils. **Food Hydrocolloids**, v. 168, 111521, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111521.

Early View