




## CAPÍTULO 10

# ANÁLISE E PERSPECTIVAS SOBRE O USO DA GOMA DE CAJUEIRO: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.21825090910>

**Joyce Araujo Borges**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil

**Alisson de Jesus Santana**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil;

**Ariane Maria da Silva Santos**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil;

**Erica Ianne da Silva Sousa**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil;

**Idglan Sá de Lima**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil;

**Josy Antevelli Osajima**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil;

**Luís Humberto de Oliveira**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil

**Edson Cavalcanti Silva Filho**

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Teresina, Brasil

**RESUMO:** As gomas de exsudatos de árvores são uma fonte natural e abundante de polímeros, representando uma matéria-prima renovável e de baixo custo com aplicações significativas em indústrias como farmacêutica, alimentícia e cosmética. A goma do cajueiro obtida após o processo de extração e purificação do exsudato da espécie *Anacardium Occidentale* L (cajueiro), encontrado em países como Índia, China, e principalmente no Brasil, especialmente na região nordeste, tem se destacado por suas características e versatilidade, que permitem que materiais em diferentes formatos, formulados a partir dele, sejam aplicados, por exemplo, em sistemas de liberação de fármacos, liberação de nutrientes para o solo, tratamento de feridas, áreas ambientais, alimentos, entre outros. Além disso, sua extração pode representar uma oportunidade de agregar valor à cultura do cajueiro e gerar uma nova fonte de renda. Esta goma é um heteropolissacarídeo aniônico, complexo e ramificado composto por unidades monossacarídicas que podem sofrer modificações químicas para melhorar suas características e ampliar suas possibilidades de aplicação. Portanto, este trabalho consiste em uma revisão bibliométrica que tem como objetivo estudar a goma do cajueiro, suas propriedades, modificações e aplicações, com foco especial nas áreas agrícola, de remediação ambiental e biológica. As bases de dados utilizadas foram Scopus e Web of Science, com recorte temporal limitado aos últimos dez anos, e foram avaliados apenas artigos originais. Os resultados obtidos foram analisados por meio do software Bibliometrics e VOS viewer. Foram identificados 183 artigos, sendo que destes, 64 artigos foram analisados. Foi realizada uma avaliação do crescimento anual e dos países com maior produção e contribuição científica. Notavelmente, os anos de 2023 e 2024 se destacaram em termos de publicações, sendo 2023 o ano com maior número de citações. Além disso, o Brasil foi o país com maior número de publicações. Edson Cavalcanti Silva-Filho é o autor com maior número de publicações relacionadas à goma do cajueiro, sendo o International Journal of Biological Macromolecules o mais significativo em termos de publicações relacionadas à goma em estudo. Também foi realizada uma análise da coocorrência de palavras-chave ao longo dos anos, cujo resultado indica um aumento do interesse em pesquisas relacionadas à goma do cajueiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polissacarídeo; Goma natural; Compósito; Hidrogel.

## INTRODUÇÃO

As gomas naturais são polissacarídeos derivados de fontes vegetais, como exsudatos produzidos por troncos e galhos de árvores em resposta a lesões e infecções, bem como de sementes de plantas e através da fermentação de microrganismos e algas. São constituídos por uma complexa combinação de polissacarídeos que possuem ramificações em sua estrutura e, por serem solúveis em água, possuem propriedades como suspensão e dispersão que os tornam aplicáveis como agentes

emulsificantes, aglutinantes, gelificantes e encapsulantes, sendo utilizados nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e de papel, na remoção de poluentes, entre outros.<sup>1,2</sup> Por serem provenientes de fontes naturais e renováveis, os métodos de extração e purificação destes não causam danos ambientais e, devido à sua acessibilidade, podem ser uma opção de baixo custo, ajudando a fortalecer a economia local.<sup>3</sup> Dentre a diversidade de gomas existentes, a goma do cajueiro vem atraindo interesse tecnológico devido à sua disponibilidade, biodegradabilidade e biocompatibilidade, o que a torna aplicável em uma ampla gama de indústrias. Esta goma é obtida após a purificação do exsudato do cajueiro (*Anacardium Occidentale* L.), espécie amplamente encontrada no Brasil, principalmente na região Nordeste. Devido às suas semelhanças com a goma arábica, têm sido utilizada como substituta em diversas aplicações. Este polissacarídeo solúvel em água possui uma estrutura ramificada composta por unidades de galactose, glicose, arabinose, ramnose e ácido glucurônico, cujas quantidades podem variar de acordo com as condições ambientais, localização e idade da árvore, entre outros.<sup>4-6</sup> Nesse contexto, esta revisão realiza uma análise bibliométrica da literatura sobre a goma do cajueiro, examinando as modificações que podem ser feitas em sua estrutura para melhorar suas propriedades, destacando a contribuição desse polissacarídeo para o desenvolvimento de diversos tipos de matérias-primas mais sustentáveis que ajudam a atender às demandas tecnológicas existentes. Utilizando dados das bases de dados Scopus e Web of Science, ferramentas como Bibliometrix e VOSviewer foram aplicadas para mapear tendências de publicação sobre a goma, identificar os principais países, autores e periódicos envolvidos, características, modificações e suas aplicações industriais, oferecendo assim uma perspectiva quantitativa e abrangente sobre o desenvolvimento de estudos sobre esse polissacarídeo. Foram utilizadas as palavras-chave “hydrogel”, “composite”, “gum”, “cashew tree”, “adsorption”, “agriculture” e “biocompatibility”, e o ano de publicação foi limitado aos últimos dez anos. Foram analisados apenas artigos experimentais.

## Gomas Naturais e Modificadas: Definição, Classificação e Aplicações

As gomas representam uma classe versátil de biopolímeros hidrofílicos, predominantemente constituídos por polissacarídeos de alto peso molecular, que são multifuncionais e desempenham funções essenciais em vários setores industriais.<sup>5,7</sup> Essas macromoléculas possuem propriedades físico-químicas únicas, distinguindo-as por sua capacidade de formar soluções e géis viscosos, além de atuarem como agentes espessantes, ligantes, estabilizadores, encapsulantes e formadores de hidrogel.<sup>1</sup> Sua natureza hidrofílica e comportamento reológico variável permitem aplicações que vão desde a indústria alimentícia até formulações farmacêuticas sofisticadas e biomateriais avançados.<sup>8,9</sup> Quanto à sua origem, conforme ilustrado na Figura 1, as gomas naturais podem ser obtidas a partir de várias fontes vegetais, incluindo

sementes, frutos, exsudatos de árvores e algas (vermelhas e marrons), bem como através da fermentação de microrganismos.<sup>6,7,10</sup>

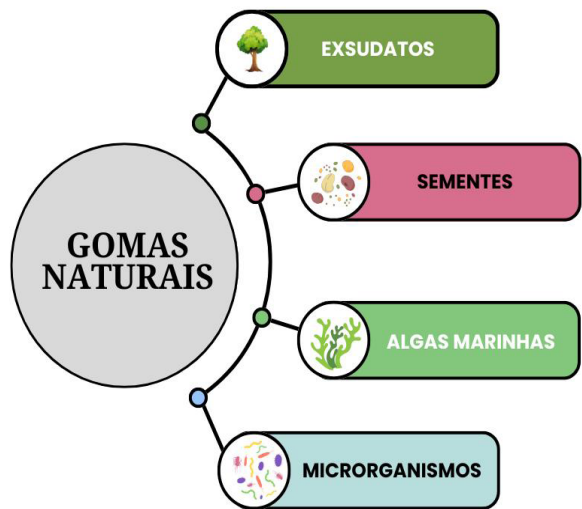


Figura 1. Fontes primárias de extração natural de goma.

As gomas vegetais abrangem tanto os exsudatos das árvores, como a goma arábica e a goma do cajueiro<sup>6</sup>, quanto aqueles extraídos das sementes, incluindo a goma guar.<sup>11</sup> As algas marinhas fornecem hidrocolóides importantes, como ágar, carrageninas e alginatos, reconhecidos por suas excepcionais propriedades gelificantes.<sup>12</sup> Na categoria microbiana, podemos destacar a goma xantana, que é produzida por fermentação bacteriana e é valorizada por sua pureza e estabilidade.<sup>8</sup> A Tabela 1 apresenta um resumo da fonte, exemplos e origem.

Fonte biológica	Exemplos de gomas	Origem	Referência
Plantas (exsudatos/ amido)	Goma de cajueiro, goma arábica	Exsudato	(6)
Sementes	Goma de guar	Endosperma de leguminosas	(11)
Alga	Ágar, alginato	Macroalgas vermelhas e marrons	(13)
Microorganismos	Xantana	Fermentação bacteriana	(8)

Tabela 1. Fontes primárias para obtenção de gomas, com exemplos e suas origens.

Por serem biodegradáveis, biocompatíveis, atóxicas, obtidas a partir de fontes renováveis e terem uma produção sustentável e econômica, as gomas naturais têm sido fortes candidatas a substituir os materiais sintéticos.<sup>3,10</sup> Apesar dessas vantagens, limitações como sensibilidade ao pH, instabilidade reológica, baixa estabilidade térmica e viscosidade, bem como vulnerabilidade à contaminação microbiológica, impulsionaram o desenvolvimento de versões modificadas de gomas.<sup>14</sup> Estes são obtidos através de processos químicos, físicos ou biológicos que lhes conferem características superiores.<sup>15</sup> Entre as modificações químicas mais relevantes, podemos citar a carboximetilação, que produz derivados com maior solubilidade e estabilidade térmica.<sup>16</sup> As aplicações atuais desses materiais se expandiram significativamente, especialmente no campo biomédico e na agricultura.<sup>17–20</sup> As gomas modificadas são particularmente valiosas no desenvolvimento de sistemas de liberação controlada para macromoléculas, onde combinam biocompatibilidade com desempenho técnico ajustável.<sup>6</sup> Na nanotecnologia, servem como matrizes para a entrega direcionada de ingredientes ativos e, na engenharia de tecidos, suas versões modificadas são usadas como 'scaffolds'. Isso imita a matriz extracelular.<sup>21</sup> O atual desafio de pesquisa nesta área é desenvolver processos de modificação que preservem as características ecológicas e de segurança das gomas naturais, como a goma do cajueiro, ao mesmo tempo em que fornecem propriedades físico-químicas otimizadas para aplicações de alta tecnologia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo bibliométrico utilizando as bases de dados Scopus e Web of Science (WOS) para analisar artigos publicados nos últimos 10 anos. As palavras-chave utilizadas para as buscas foram: "Hydrogel", "Composite", "Gum", "Cashew tree", "Adsorption", "Agriculture" e "Biocompatibility", e operadores booleanos como "AND" e "OR" foram aplicados para conectar as palavras-chave. A fórmula de busca utilizada foi: todos os campos = "cashew tree" AND gum AND hydrogel OR composite AND adsorption OR agriculture OR biocompatibility. Os resultados obtidos após a busca em ambas as bases de dados foram exportados no formato BibTeX e posteriormente analisados com o auxílio do pacote Bibliometrix no software RStudio versão 4.4.0.<sup>22</sup> O software VOSviewer (versão 1.6.20) também foi utilizado para visualizar a rede entre países, palavras-chave e periódicos. A Figura 2 ilustra o processo de desenvolvimento da revisão bibliométrica.

<sup>1</sup> Os scaffolds na engenharia de tecidos podem ser definidos como materiais implantáveis, porosos e com alta área superficial, capazes de auxiliar na regeneração óssea, permitindo o transporte de células, gases e nutrientes através do tecido circundante. Além disso, eles devem ser biodegradáveis e suas propriedades mecânicas devem estar alinhadas com a função pretendida.<sup>23,62</sup> Scaffolds compósitos à base de hidroxiapatita dopada com cério, goma gelana e goma de cajueiro, por exemplo, foram produzidos por Santos et al.<sup>55</sup> para aplicações como enxertos ósseos. Os resultados indicaram que os materiais apresentaram propriedades interessantes, tornando-os promissores para a substituição de osso danificado.



**Figura 2.** Representação do processo passo-a-passo da revisão bibliométrica através da representação esquemática do processo de revisão bibliométrica com base na combinação de palavras-chave e no uso dos operadores booleanos “AND” e “OR” para refinar os resultados da busca nas bases de dados Scopus e Web of Science (WOS). Filtros específicos foram aplicados, incluindo tipo de documento e período de publicação.

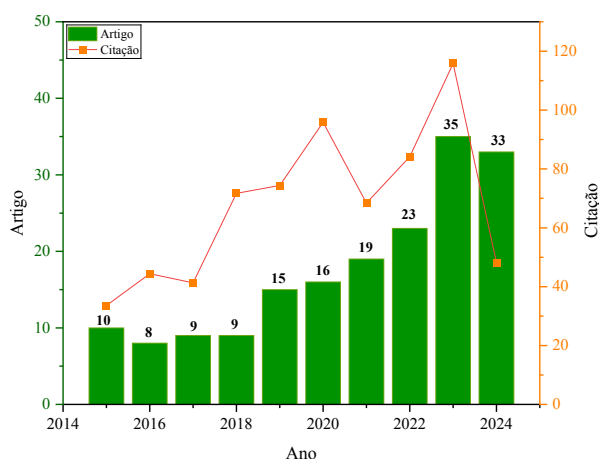
## RESULTADOS

### Análise dos artigos

O número de artigos encontrados na Scopus usando as palavras-chave combinadas foi de 183. Como a base de dados Web of Science produziu resultados semelhantes aos da Scopus, apenas os artigos da Scopus foram utilizados para fins de análise. A partir dos resultados, foi possível identificar os termos mais expressivos presentes nos artigos científicos analisados, bem como os países, autores e fontes que mais contribuíram para a compreensão científica do tema abordado.

### Análise do crescimento anual e dos países com maior produção/contribuição científica

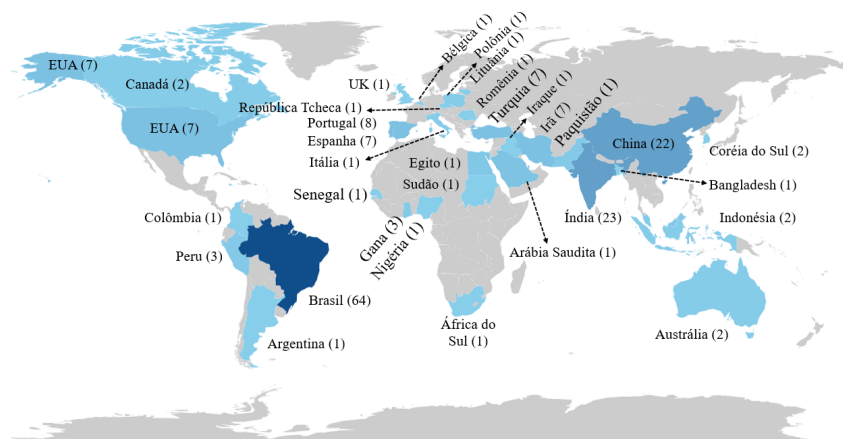
Foi realizada uma investigação sobre o aumento de publicações na última década, conforme ilustrado na Figura 3. Nesse período, houve um interesse crescente pelo tema em estudo, com 35 e 33 artigos publicados em 2023 e 2024, respectivamente.



**Figura 3.** Gráfico ilustrativo do crescimento anual de publicações científicas (barras verdes) e citações (linha laranja) na última década relacionadas à goma do cajueiro.

Além disso, o maior número de citações ocorreu em 2023, com aproximadamente 120 citações. O ano de 2020 também se destacou em termos de citações,  $n = 100$ , e é interessante notar que mesmo que neste ano a pandemia de COVID-19 tenha atingido o mundo, a análise dos artigos não encontrou trabalhos relacionados à pandemia, indicando, portanto, que as publicações e citações se referem a trabalhos anteriores esse período.

A Figura 4 descreve a distribuição geográfica dos autores afiliados em relação aos países de origem de suas publicações, no qual a intensidade da cor azul no mapa é uma representação visual do número de autores afiliados em cada país, permitindo uma comparação entre os diferentes países.

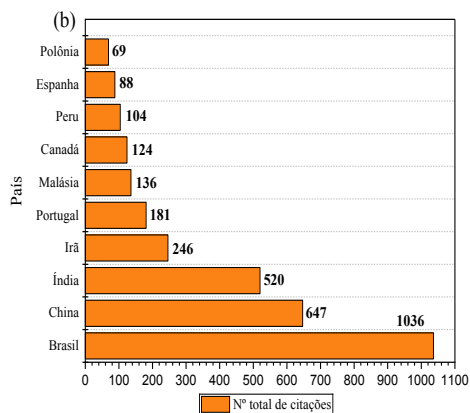


**Figura 4.** Mapa global da produção científica por países e regiões, onde a escala de cor azul reflete o número de autores afiliados e a cor cinza indica países sem contribuições registradas.

Mais de 20 países em todo o mundo estão envolvidos em pesquisas científicas sobre a goma do cajueiro ou estudos relacionados a ela. Entre os países que mais contribuem ativamente para a pesquisa nessa área está o Brasil, que se destaca como o primeiro país a desenvolver estudos sobre a goma. Isso indica um interesse nacional em produtos de origem natural, mais sustentáveis e com aplicações tecnológicas. Índia e China também são países que se destacam nas produções científicas relacionadas à goma do cajueiro. O cajueiro (*Anacardium Occidentale* L.) é cultivado em vários continentes, principalmente na Ásia (61%), África (31%) e América do Sul (8%), sendo a Índia um dos países que mais contribui em área plantada e o Brasil, que ocupa o 6º lugar no ranking.<sup>23</sup> Isso ajuda a explicar por que esses países são relevantes na pesquisa sobre o tema em estudo.

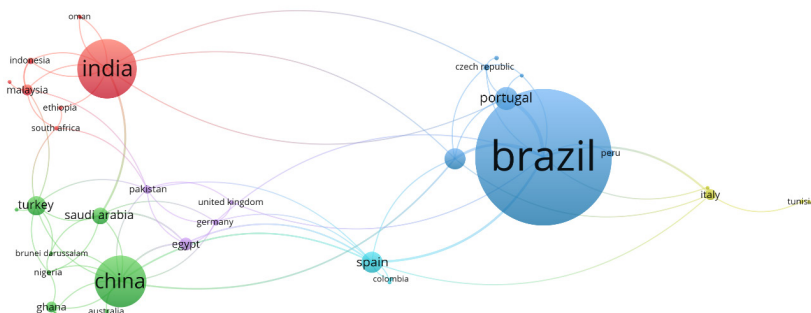
Analisando o mapa global, observa-se também a ausência de produção científica sobre o tema em estudo em grande parte das regiões africanas, europeias e asiáticas (regiões cinzentas), o que pode representar uma oportunidade para futuras investigações e possíveis colaborações internacionais. Embora o Brasil ocupe essa posição, é o país com mais publicações, com 64 no total, seguido pela Índia com 23 e China com 22 publicações, respectivamente (Figura 4). Além disso, esses países têm o maior número total de citações de artigos, com o Brasil tendo o maior número total de citações, com  $n = 1036$ , seguido pela China com  $n = 647$  citações e Índia com  $n = 520$  citações, conforme ilustrado na Figura 5.





**Figura 5.** Países que possuem mais citações referentes a estudos sobre goma do cajueiro ou que estejam relacionados ao tema.

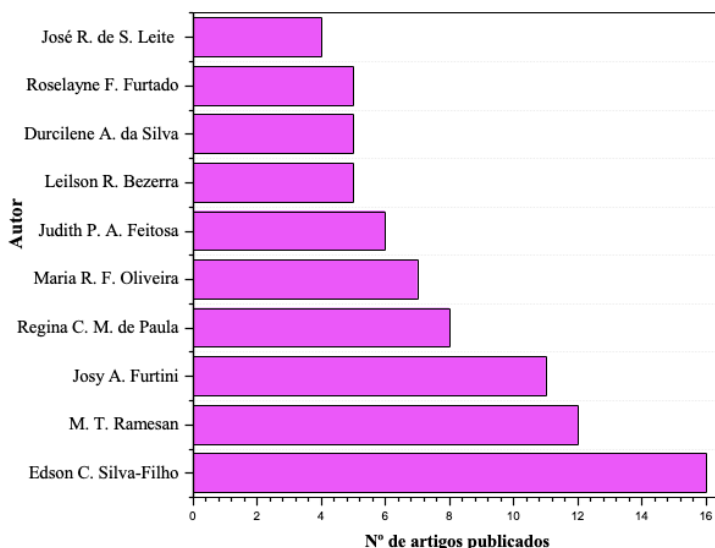
A Figura 6 ilustra um mapa de visualização da coautoria entre os principais países, mostrando o número de artigos publicados em conjunto entre eles sobre o tema em estudo ou aqueles com alguma conexão com ele. Quanto maior o círculo, maior a contribuição do país. O Brasil desempenha um papel central na produção científica global devido à sua extensa rede de colaborações com outros países, especialmente com Portugal, pois a linha que os conecta é mais espessa. A Índia e a China também aparecem na lista de países que cooperam na publicação de artigos científicos relacionados à goma do cajueiro.



**Figura 6.** Visualização da coautoria entre os principais países, com círculos maiores indicando maior contribuição para a coautoria e linhas mais grossas representando colaboração mais intensa.

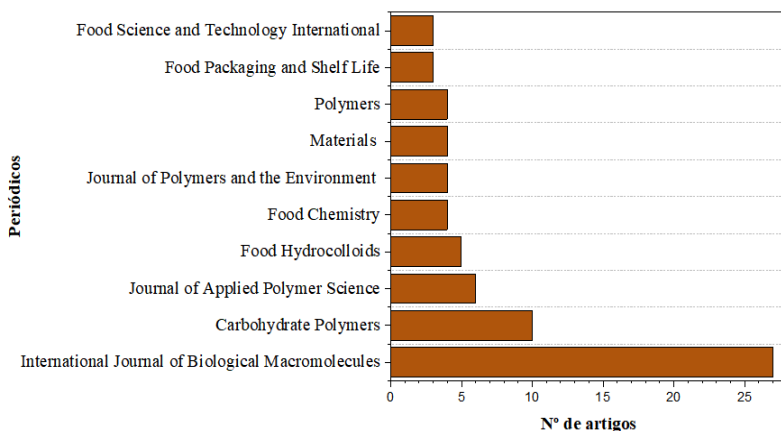
## Autores e fontes da mais excelente produção científica

Entre 2015 e 2025, um total de 917 pesquisadores publicaram seus estudos sobre a goma do cajueiro e temas relacionados, com uma média de 6,5 coautores por artigo e apenas uma publicação com um único autor. A Figura 7 mostra o número de publicações dos dez principais autores na última década.



**Figura 7.** Número total de artigos publicados pelos dez principais autores na última década.

Edson C. Silva-Filho, M. T. Ramesan, Josy A. Osajima, Régina C. M. de Paula, Maria R. F. Oliveira, Judith P. A. Feitosa, José R. de S. Leite, Leilson R. Bezerra, Durcilene A. da Silva e Roselayne F. Furtado são os dez primeiros autores em estudos relacionados à goma do cajueiro e dentre eles Edson C. Silva-Filho ocupa o primeiro lugar, destacando-se como um dos principais estudiosos sobre o tema. De acordo com a Figura 7, nos últimos dez anos, Edson C. Silva-Filho publicou um total de 16 artigos relacionados à goma do cajueiro, tornando-o o autor com maior período de contribuição, seguido por M. T. Ramesan, com 12 publicações. Os dez periódicos mais relevantes sobre o tema abordado são apresentados na Figura 8.



**Figura 8.** Top 10 revistas mais relevantes sobre goma do cajueiro.

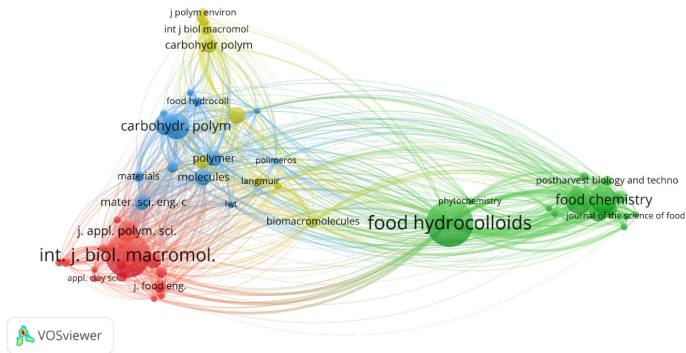
Analisando a Figura 8, podemos inferir que o International Journal of Biological Macromolecules é o mais significativo em termos de publicações relacionadas ao tema abordado, com um total de 27 publicações entre 2015 e 2025. Carbohydrate Polymers é o segundo periódico, com 10 publicações. Os demais periódicos publicaram igual ou inferior a dez artigos na última década. Esses dois periódicos são as principais fontes para pesquisadores que desenvolvem trabalhos com a goma do cajueiro e são as principais opções para publicação. A Tabela 2 apresenta uma visualização da classificação dos periódicos, incluindo o número de registros, número total de citações, fator de impacto e índice H.

Classificação	Periódico	Registro	Número total de citações	Fator de impacto	Índice H
1	International Journal of Biological Macromolecules	27	499	7,7	12
2	Carbohydrate Polymers	10	493	10,7	10
3	Journal of Applied Polymer Science	6	213	2,7	5
4	Food Hydrocolloids	5	183	11,0	5
5	Food Chemistry	4	180	8,5	3
6	Journal of Polymers and the Environment	4	162	4,7	4

7	Materials	4	147	3,1	3
8	Polymers	4	146	4,7	2
9	Food Packaging and Shelf Life	3	132	8,5	3
10	Food Science and Techonology International	3	123	2,6	3

**Tabela 2.** Ranking dos dez periódicos que mais publicaram sobre goma de cajueiro nos últimos dez anos, com o número total de registros, citações, fator de impacto e índice H.

Embora o International Journal of Biological Macromolecules tenha um fator de impacto menor (7,7) quando comparado ao Carbohydrate Polymers (10,7), seu índice H é maior, 12, e o número total de citações também é maior, 499, o que nos mostra a importância deste periódico para a comunidade científica relacionada ao assunto. Um alto índice H sugere uma elevada produção científica, com muitos artigos publicados e citações. Além disso, os dados observados na tabela acima nos mostram que as pesquisas sobre o polissacarídeo estudado neste trabalho estão sendo publicadas em periódicos de referência, refletindo assim o interesse em pesquisas científicas acerca dessa goma. Fez-se também uma análise de rede de cocitação estabelecendo-se um limite mínimo de 20 citações para cada periódico, onde dentre as 3775 fontes, 59 atingiram o limite. O resultado é ilustrado na Figura 9.



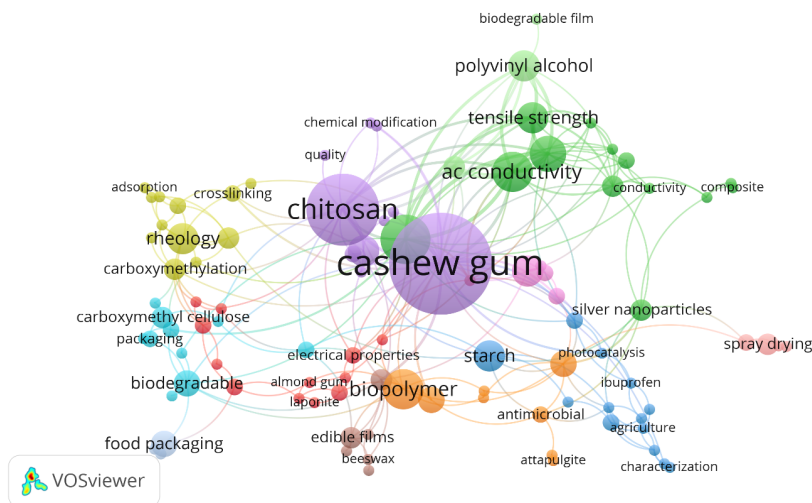
**Figura 9.** Mapa ilustrando a visualização das fontes citadas por meio da análise de cocitação, no qual os periódicos Food Hydrocoll., Int. J. Biol. Macromol. e Carbohidrato. Polym. destacam-se como as fontes mais cocitadas.



A nuvem de palavras gerada a partir da análise bibliométrica da goma do cajueiro mostra os principais temas presentes na literatura científica. O termo “cashew gum” aparece destacado na nuvem de palavras e refere-se à goma do cajueiro que também pode ser expressa como “cashew tree gum”. Este biopolímero é obtido através da purificação do exsudato da espécie *Anacardium occidentale L.*, que é facilmente encontrada na região nordeste do Brasil.<sup>6</sup> O termo “chitosan”, que se refere à quitosana e que também aparece em destaque, é um biopolímero derivado da quitina, e por apresentar características de biocompatibilidade, biodegradabilidade, pode formar compósitos com a goma do cajueiro em aplicações voltadas, por exemplo, para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos orgânicos e flexíveis.<sup>24</sup>

Termos como “thermal properties”, “biopolymer” e “hydrogel” também são destacados, indicando que a goma do cajueiro pode servir como matéria-prima central no desenvolvimento de materiais com funcionalidades diversas, com ênfase nas propriedades físico-químicas desse biopolímero e suas aplicações em sistemas poliméricos. As expressões “dielectric constant”, “ac conductivity” e “thermal stability” indicam, por sua vez, que muitos estudos estão focados na caracterização elétrica e térmica desses materiais. Os termos “biocompatibility”, “drug delivery”, “food packaging” e “antimicrobial” destacam o potencial da goma do cajueiro em aplicações biomédicas e sustentáveis. A presença de outros polímeros naturais e sintéticos como “polyvinyl alcohol”, “carboxymethyl cellulose”, “starch” e “chitosan” pode indicar o interesse em desenvolver compósitos e/ou hidrogéis, o que amplia as propriedades funcionais da goma. Além disso, os termos “green synthesis”, “biodegradable” e “rheology” ressaltam a abordagem ecológica e a importância do desempenho mecânico e estrutural desses sistemas. Termos como “agriculture” e “adsorption” que se referem à aplicações, aparecem de forma muito discreta na nuvem de palavras, o que pode sugerir a necessidade e aumento de estudos acerca da utilização da goma nessas áreas e nos últimos anos. Logo, a nuvem de palavras mostra um crescente interesse científico pela goma do cajueiro, um biopolímero versátil que está alinhado às inovações sustentáveis.

Utilizando o VOSviewer, também foi realizada uma análise de coocorrência de palavras-chave para avaliar a relação entre os termos, levando em consideração a frequência com que ocorreram juntos nas publicações, Figura 11. Círculos maiores indicam que as palavras-chave são usadas com mais frequência e as linhas que conectam os nós indicam a co-ocorrência entre os termos. O limite mínimo de ocorrência de palavras foi definido em 2, resultando em um total de 99 palavras-chave. O termo “cashew gum” destacou-se com 22 ocorrências (TLS = 53).



**Figura 11.** Visualização de mapa de rede que examina o agrupamento de palavras-chave dos autores.

Com a finalidade de se fazer uma análise da evolução dos temas pesquisados ao longo do tempo, fez-se uma avaliação das palavras-chave mais frequentes, como ilustrado na Figura 12. As cores destacadas possuem um teor cronológico e fazem referência a média de anos em que as palavras-chaves aparecem nos artigos de periódicos.





liberação controlada de fármacos. Expressões como “ac conductivity” e “electrical properties” também indicam que as propriedades elétricas da goma estão ganhando destaque, principalmente no desenvolvimento de novos dispositivos e sensores.

## GOMA DO CAJUEIRO

O cajueiro é uma árvore de grande porte pertencente à espécie *Anacardium occidentale L.*, um membro da família *Anacardiaceae*. É cultivada em várias partes do mundo, particularmente em países com climas tropicais e subtropicais. Possui uma área plantada globalmente de cerca de 6 milhões de hectares. No Brasil, mais de 700.000 hectares de árvores foram plantados, ficando atrás de países como Índia e Costa do Marfim, cujas contribuições são maiores. Esta espécie encontra-se distribuída principalmente no nordeste do Brasil em estados como Piauí, Rio Grande do Norte e Ceará.<sup>25-27</sup> A Figura 13 ilustra uma imagem do cajueiro:

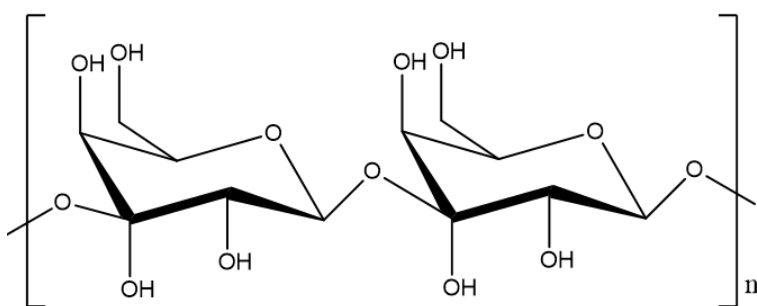


**Figura 13.** Imagem ilustrativa do cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) encontrados na Universidade Federal do Piauí – UFPI (SISGEN: ABD61DA).

As células epiteliais do cajueiro produzem um exsudato acastanhado como mecanismo de defesa contra danos e infecções patogênicas, criando uma barreira protetora que impede a invasão de organismos estranhos e auxilia na recuperação da planta. O exsudato pode ser extraído através de incisões no tronco da árvore (método físico) ou por estímulos químicos ou biológicos. Após passar por um processo de purificação, obtém-se a goma do cajueiro, um polissacarídeo hidrofílico, atóxico, biodegradável, biocompatível, altamente disponível e de baixo custo.<sup>28,29</sup>

O cultivo do cajueiro se concentra principalmente na produção da castanha de caju, que é amplamente vendida globalmente. A goma do cajueiro, por sua vez, é um subproduto do cultivo do cajueiro.<sup>30</sup> A produção média anual da goma de cajueiro no Brasil é de 700 g por árvore, o que pode representar um potencial de produção anual de cerca de 50.000 toneladas. Além disso, sua extração pode representar uma oportunidade de agregar valor à cajucultura.<sup>23</sup>

Esta goma, um heteropolissacarídeo aniônico de baixa viscosidade, possui uma cadeia altamente ramificada na qual a D-galactose forma sua cadeia principal com ligações  $\beta(1\rightarrow3)$  e cadeias laterais com ligações  $\beta(1\rightarrow6)$ . Além disso, estão presentes as unidades galactose (72-73%), glicose (11-14%), ácido glucurônico (4,7-6,3%), arabinose (4,6-5%), ramnose (3,2-4%) e manose (1-2%).<sup>28,31</sup> Portanto, a galactose é o maior constituinte da cadeia principal, que está ligada por ligações glicosídicas e pelas cadeias laterais formadas pelas outras unidades de açúcar. No entanto, essas proporções de monossacarídeos podem variar em resposta a vários fatores, incluindo a sazonalidade da espécie, a idade da árvore, sua origem, condições climáticas e tempo de exsudação.<sup>28,31,33</sup> A Figura 14 apresenta uma estrutura simplificada da goma do cajueiro, observando-se as unidades monossacarídicas que a constituem:



**Figura 14.** Fragmento estrutural simplificado da goma do cajueiro, composto principalmente por unidades repetitivas de monossacarídeos unidas por ligações glicosídicas, cujos grupos hidroxila (-OH) conferem à molécula a capacidade de interagir com água e outros polímeros hidrofílicos.

Por apresentar semelhanças estruturais e químicas com a goma arábica, a goma do cajueiro tem sido uma alternativa para substituí-la, uma vez que a goma arábica tem alto custo de produção e importação. Portanto, a goma do cajueiro pode ser utilizada, por exemplo, como cola líquida para papel e em setores das indústrias cosmética e farmacêutica, onde pode atuar como aglutinante em comprimidos e cápsulas, na indústria alimentícia, como embalagens de alimentos, em filmes para revestimento de frutas, além de desempenhar o papel de estabilizante para bebidas como cervejas, sucos, entre outros. Além disso, possui propriedades antiinflamatórias, antitumorais, antibacterianas e anti-hipertensivas.<sup>5,28,34–36</sup>

Devido à sua versatilidade, também pode ser utilizada no desenvolvimento de matrizes para liberação de fármacos de baixa massa molar e nano dispositivos biomédicos, no tratamento de cicatrização de feridas, suporte para imobilização enzimática, na produção de hidrogéis para tratamento de efluentes, entre outros.<sup>33,35–37</sup>

## Modificações na goma do cajueiro

Embora as gomas possuam características que as tornam promissoras para aplicações nos mais diversos setores, seu uso apresenta algumas limitações, principalmente devido à perda ou diminuição da viscosidade durante o armazenamento e ao potencial de contaminação microbiana. Em determinadas circunstâncias, as propriedades da goma do cajueiro na natureza não são suficientes para atender às necessidades específicas de uma aplicação, exigindo modificações ou adaptações. Nesse contexto, a modificação química surge como uma alternativa que pode minimizar essas desvantagens.<sup>33,38</sup>

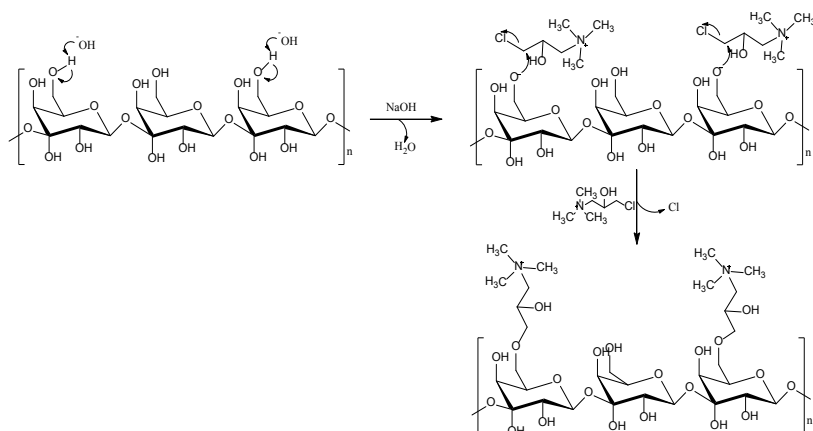
Essas modificações podem ser introduzidas na estrutura polimérica da goma incorporando novos grupos funcionais por meio de quaternização, carboximetilação, oxidação, sulfatação e acetilação, entre outros, para alterar ou melhorar suas propriedades físicas e químicas. Além disso, os derivados obtidos após as modificações podem ser aplicados principalmente nas indústrias química, farmacêutica e alimentícia.<sup>14,38,39</sup>

## Quaternização

A quaternização da goma do cajueiro é um processo inovador que envolve a incorporação de frações catiônicas à estrutura polissacarídica por meio do uso de reagentes de amônio quaternário, por exemplo. Essa modificação do polissacarídeo pode gerar derivados catiônicos com novas propriedades físico-químicas e biológicas, incluindo melhorias em sua atividade antimicrobiana, graças à possibilidade de

uma forte interação eletrostática entre a superfície celular bacteriana carregada negativamente.<sup>14</sup>

Queleles et al.<sup>14</sup> modificaram a goma do cajueiro por meio da quaternização usando N-(3-cloro-2-hidroxipropil)trimetilamônio (CHPTAC) para avaliar o efeito de derivados catiônicos sobre bactérias do gênero *Staphylococcus*. Para modificar a goma do cajueiro, os autores a dissolveram em água destilada sob agitação constante. Em seguida, adicionaram CHPTAC e uma base forte, como o NaOH, à solução, que tinha a função de converter os grupos -OH da goma em grupos alcoxi e auxiliar na reação com o grupo epóxi presente na estrutura do CHPTAC. Após essa reação, grupos quaternários de amônio foram inseridos na estrutura da goma do cajueiro. O processo de reação foi mantido por aproximadamente 14 horas, seguido de neutralização com HCl, precipitação da solução resultante em acetona para separar o polímero modificado das impurezas solúveis e, em seguida, diálise e secagem da goma quaternizada.<sup>14</sup> A Figura 15 ilustra a reação de modificação da goma por meio da quaternização.



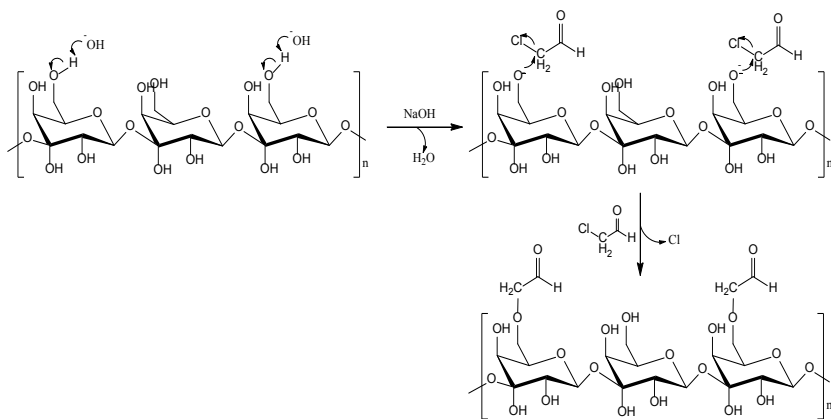
**Figura 15.** Esquema de modificação da goma do cajueiro por quaternização, no qual os grupos hidroxila (-OH) presentes na estrutura do polissacarídeo são substituídos por grupos quaternários de amônio.

O material obtido foi caracterizado por espectroscopia FTIR, análise elementar, grau de substituição, potencial zeta, RMN <sup>1</sup>H e microscopia de força atômica (AFM). Os resultados indicaram que a modificação ocorreu de forma satisfatória, e os derivados catiônicos quaternizados apresentaram potencial atividade antimicrobiana contra cepas do gênero *Staphylococcus*, além de serem biocompatíveis com fibroblastos, eritrócitos e queratinócitos.

## Carboximetilação

Outro método de modificação da goma do cajueiro envolve a inserção de grupos carboximetil ( $-\text{CH}_2\text{COOH}$ ) em sua estrutura por meio da carboximetilação, uma reação comumente usada para obter derivados modificados do polissacarídeo. Como a goma do cajueiro já possui grupos carboxílicos estruturais, a carboximetilação é usada para aumentar a quantidade desses grupos, melhorando a ligação das biomoléculas. Suas vantagens incluem o baixo custo dos reagentes utilizados na modificação, a simplicidade de processamento e a não toxicidade dos produtos resultantes, que podem ser aplicados em diversos setores industriais, como alimentício e farmacêutico, entre outros.<sup>33,38</sup>

Além disso, os grupos carboxilato introduzidos na goma do cajueiro promovem estabilidade eletrostática e coloidal, dificultando sua agregação. Isso ocorre devido à repulsão eletrostática induzida por esses grupos combinada com a matriz volumosa do polímero, o que permite uma distribuição mais uniforme e estável. Esses grupos também podem servir como locais adsorptivos para ancoragem na superfície carregada positivamente das nanopartículas.<sup>40</sup> O esquema reacional da Figura 16 ilustra como a goma é modificada por meio da carboximetilação.



**Figura 16.** Esquema de reação da modificação da goma de cajueiro por carboximetilação. A reação ocorre na presença de hidróxido de sódio e ácido monocloroacético, promovendo a substituição dos grupos  $-\text{OH}$  da cadeia polissacarídica por grupos carboximetil.

Monteiro et al.<sup>39</sup> avaliaram o efeito da modificação química por meio da carboximetilação na solubilidade e intumescimento das esferas da goma do cajueiro e quitosana, com o objetivo de utilizá-las como sistema de liberação de fármacos administrados por via oral. As esferas foram obtidas por coagulação

(complexação polieletrólítica) e quimicamente modificadas utilizando reticuladores como glutaraldeído (GA), genipina (GP), epicloridrina (E) e por desacetilação de quitosana utilizando anidrido acético. A carboximetilação da goma do cajueiro foi realizada com ácido monocloroacético (MCA) em meio alcalino sob agitação e aquecimento. A solução foi neutralizada e dialisada em água destilada, cuja condutividade elétrica foi verificada. Os materiais foram caracterizados por FTIR, análise termogravimétrica e microscopia eletrônica de varredura para investigar a solubilidade em pH 1,2 e as propriedades de intumescimento. As caracterizações confirmaram as modificações nas esferas, e os resultados obtidos indicaram que as esferas da goma do cajueiro carboximetilada, quitosana reacetilada e reticulada com epicloridrina foram mais estáveis, sendo resistentes à dissolução e tendo baixo coeficiente de difusão. As esferas modificadas com genipina exibiram maior grau de intumescimento em comparação com as esferas reticuladas com glutaraldeído, bem como maior resistência química e estabilidade em pH 1,2. Assim, os autores concluíram que esse sistema pode ser aplicado satisfatoriamente em sistemas de liberação de fármacos onde há variação no pH do meio e na viabilidade da administração oral de fármacos.

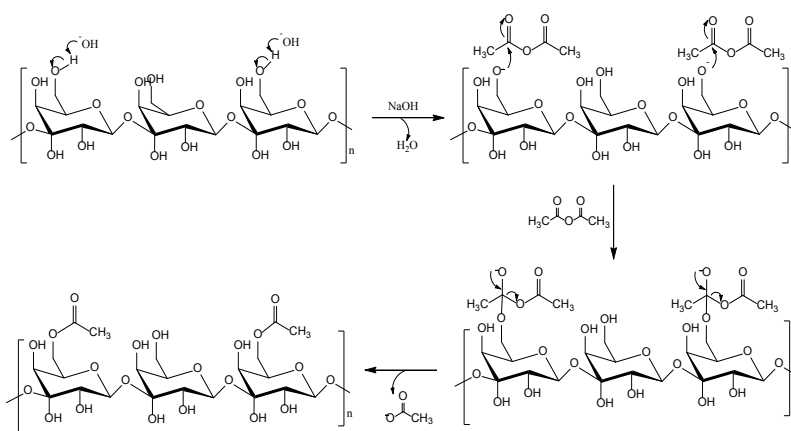
Melo et al.<sup>33</sup> modificaram a goma do cajueiro por meio de carboximetilação para usá-la como plataforma de imobilização de anticorpos (Ab) eletrodepositada em uma superfície de ouro e, em seguida, utilizada como biossensor para a detecção da bactéria *Salmonella Typhimurium*. A modificação foi realizada dissolvendo a goma em água destilada, seguida da adição de NaOH à solução. Após essa etapa, o ácido monocloroacético (MCA) foi adicionado, e a solução foi agitada e aquecida. O produto obtido foi então neutralizado com ácido clorídrico (HCl), seguido de diálise. Por fim, a goma do cajueiro carboximetilada (CMCG) foi liofilizada e armazenada em embalagens seladas a vácuo. As caracterizações realizadas no CMCG, como ATR-FTIR, RMN, cromatografia de permeação em gel, espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), mostraram que houve uma modificação na goma e o biossensor projetado foi capaz de detectar a presença da bactéria *Typhimurium* que foi dispersa em tampão fosfato salino (PBS). Com esse resultado, os autores concluíram que a goma do cajueiro e seus derivados são promissores na imobilização de biomoléculas, o que por sua vez permite o desenvolvimento de tecnologias para testes rápidos e diagnósticos precisos de vários analitos.

Abreu et al.<sup>40</sup> avaliaram a estabilidade coloidal de nanopartículas magnéticas de  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  magnético após encapsulamento com goma do cajueiro carboximetilada (CMCG), na qual foi utilizado brometo de hexadeciltrimetilamônio (CTAB) como surfactante. A metodologia utilizada para modificar a goma seguiu os mesmos passos utilizados por Melo et al.<sup>33</sup> O produto gerado após a encapsulação na goma modificada foi caracterizado, e os autores observaram que o material obtido reteve

sua magnetização, mesmo na presença do efeito de diluição originado da massa não magnética de CMCG. Além disso, a estabilidade coloidal foi significativamente melhorada após o encapsulamento, pois o núcleo magnético do  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  foi circundado pelo surfactante, que por sua vez interagiu com as unidades CMCG, responsáveis pela superfície carregada negativamente devido à presença de grupos carboxilatos. Essa interação resultou em agregados de nanopartículas dentro do polímero, melhorando assim a estabilidade.

## Acetilação

A modificação da goma do cajueiro por meio da acetilação surge como uma opção viável para melhorar as interações e produzir nanopartículas com as características desejadas, abrindo novas possibilidades em termos de aplicação. A acetilação é uma modificação química na qual os grupos acetil ( $-\text{COCH}_3$ ) são introduzidos na estrutura polimérica, substituindo os grupos hidroxila ( $-\text{OH}$ ) e, assim, alterando as propriedades da goma.<sup>41</sup> A Figura 17 ilustra a reação de modificação da goma por acetilação.



**Figura 17.** Representação esquemática da reação de acetilação da goma de cajueiro. A reação ocorre na presença de hidróxido de sódio e anidrido acético, promovendo a substituição dos grupos hidroxila da cadeia polissacarídica por grupos acetil.

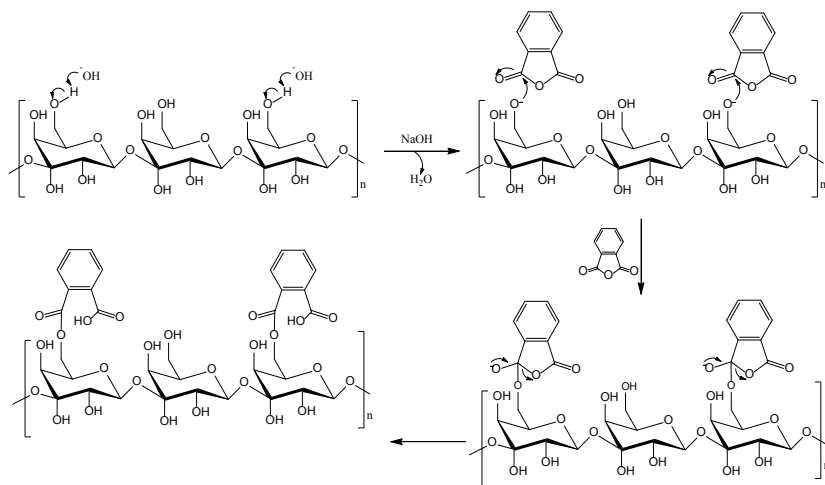
Silva et al.<sup>41</sup> desenvolveram nanopartículas carregadas de insulina para administração oral no tratamento do diabetes mellitus, utilizando complexos da goma do cajueiro acetilada e quitosana. A acetilação da goma consistiu numa mistura livre de solventes com a utilização de reagentes como hidróxido de sódio e anidrido acético, resultando na goma do cajueiro acetilada (ACG). Para a obtenção das nanopartículas,

os autores prepararam soluções de ACG a 0,1% (p/v) em água ultrapura e quitosana (CH) a 0,5% (p/v) em ácido láctico. Para preparar as nanopartículas NP-ACG-INS, 0,006% (m/v) de insulina foi adicionada à solução de ACG, juntamente com quitosana, que foi adicionada à solução gota a gota. O material obtido foi armazenado em condições refrigeradas. Nanopartículas sem insulina também foram preparadas e denominadas NP-ACG. As nanopartículas foram caracterizadas por FTIR e RMN, cujos resultados indicaram a eficácia da modificação na goma do cajueiro. As nanopartículas apresentaram tamanhos de  $460 \pm 11,0$  nm para NP-ACG-INS e  $470 \pm 8,3$  nm para NP-ACG. Através do potencial zeta, concluiu-se que as nanopartículas possuem uma superfície carregada positivamente, o que acaba promovendo maior interação com a superfície carregada negativamente da mucosa intestinal, facilitando a absorção. De acordo com a microscopia eletrônica de varredura, a superfície das nanopartículas acetiladas da goma do cajueiro carregadas com insulina apresentou uma morfologia esférica. Os resultados dos testes de toxicidade mostraram que ACG e NP-ACG-INS não tiveram efeitos significativos na viabilidade celular, confirmando sua biocompatibilidade. Por meio de estudos in vivo, observou-se que o NP-ACG-INS reduziu significativamente os níveis de glicose após 12 horas de administração oral em comparação com o NP-ACG. Além disso, não foram observados sinais de toxicidade em ensaios clínicos com ratos diabéticos tratados por via oral por 15 dias. Assim, os autores concluíram que essas nanopartículas têm potencial para tratar o diabetes modulando o sistema de resposta à glicose, com aplicações promissoras no campo da biomedicina.

## Ftalação

Outra forma de promover a modificação da goma do cajueiro e torná-la mais promissora para aplicações específicas envolve a ftalação, que altera as características físicas e químicas do polissacarídeo, aumentando sua hidrofobicidade. Grupos hidrofóbicos são introduzidos na cadeia polimérica da goma, conferindo propriedades anfífilas e aniônicas, o que pode possibilitar sua aplicação na produção de scaffolds inovadores.<sup>36</sup> A reação esquemática da modificação da goma por ftalação é mostrada na Figura 18.





**Figura 18.** Representação esquemática da reação de ftalação da goma do cajueiro. A reação ocorre na presença de hidróxido de sódio e anidrido ftálico, resultando na substituição dos grupos hidroxila dos monômeros da goma por grupos ftalamida, promovendo a funcionalização da cadeia polimérica.

Leite et al.<sup>36</sup> produziram scaffolds a partir da quitosana e goma do cajueiro ftalada para servir como suporte tridimensional para o crescimento de células-tronco mesenquimais derivadas da polpa dentária humana. A ftalação da goma do cajueiro foi realizada com anidrido ftálico em sua fase líquida após a dissolução com o auxílio de banho de óleo. A goma do cajueiro foi adicionada à solução de anidrido ftálico e, posteriormente, N, N-dimetilacetamida foi adicionada. O produto obtido, denominado PCG, foi precipitado, lavado com água ultrapura e liofilizado. Os scaffolds, por sua vez, foram preparados misturando-se uma solução de quitosana dissolvida em ácido acético com uma solução da goma do cajueiro ftalada dissolvida em água destilada. Após a mistura das soluções e agitação, a mistura polimérica foi colocada em uma placa de 24 poços, congelada e liofilizada, obtendo-se assim os scaffolds. Os produtos foram denominados PCG-CH e caracterizados por FTIR, DRX, análise térmica, microscopia eletrônica de varredura e avaliados quanto ao intumescimento em tampão fosfato salino (PBS) e propriedades biológicas.

Os resultados indicaram que a ftalação da goma do cajueiro causou sua modificação estrutural, conferindo-lhe propriedades que facilitaram sua interação com a quitosana. Os scaffolds apresentaram uma estrutura semicristalina, o que pode ter contribuído para uma melhora na estabilidade. Além disso, os scaffolds PCG-CH exibiram uma taxa de intumescimento de 96,4%, e o crescimento celular das células mesenquimais dentro dos scaffolds demonstrou fixação e distribuição

satisfatórias nos poros, proporcionando assim uma melhor interação entre a matriz polimérica e o crescimento celular.

## Oxidação

Além das outras metodologias citadas acima, a oxidação também serve como meio de modificação da goma do cajueiro, desempenhando um papel crucial na funcionalização de polissacarídeos.<sup>38</sup> A Figura 19 ilustra o esquema de reação para modificar a unidade monossacarídica da goma do cajueiro por oxidação usando periodato de sódio ( $\text{NaIO}_4$ ) como agente oxidante.



**Figura 19.** Esquema de reação da modificação da goma do cajueiro por oxidação utilizando periodato de sódio como agente oxidante, resultando em um produto mais reativo devido à formação de grupos aldeídos.

Leite et al.<sup>38</sup> modificaram a goma do cajueiro por meio de carboximetilação e oxidação, utilizando periodato de sódio ( $\text{NaIO}_4$ ) como agente oxidante. Para sua modificação, a goma foi dissolvida em água destilada e, após a dissolução completa,  $\text{NaIO}_4$  foi adicionado em quantidades específicas para obter derivados com graus de oxidação de 20, 50 e 80%. Todo o processo de reação foi realizado à temperatura ambiente, sob agitação e no escuro para evitar a degradação do periodato de sódio. Para interromper a reação de oxidação, o etilenoglicol foi usado em proporções estequiométricas em torno do periodato. As soluções foram dialisadas e o material modificado foi recuperado por liofilização. Os produtos obtidos foram denominados CGO20, CGO50 e CGO80.

Os derivados da goma foram caracterizados, e os resultados indicaram que ocorreu modificação. A partir disso, filmes multicamadas de LbL foram produzidos a fim de analisar sua espessura e topografia. Os autores observaram que a goma modificada, quando comparada à goma natural, resultou em um filme mais espesso, com a espessura mais significativa alcançada quando a goma com menor grau de oxidação (CGO20) foi utilizada. A goma com maior grau de oxidação, CGO80, tornou a superfície do filme mais áspera, fato relacionado à formação da base de Schiff, que não ocorreu na goma do cajueiro *in natura* ou na goma carboximetilada.

Portanto, com base nos resultados obtidos, os autores concluíram que é possível controlar a espessura e a topografia de filmes de LbL contendo a goma do cajueiro, o que por sua vez melhora a resistência dos derivados resultantes da modificação da goma por oxidação e amplia seu uso em aplicações voltadas ao meio ambiente, setor alimentício, entre outros.

A Tabela 3 apresenta um resumo das modificações feitas na goma do cajueiro com suas respectivas aplicações e referências correspondentes.

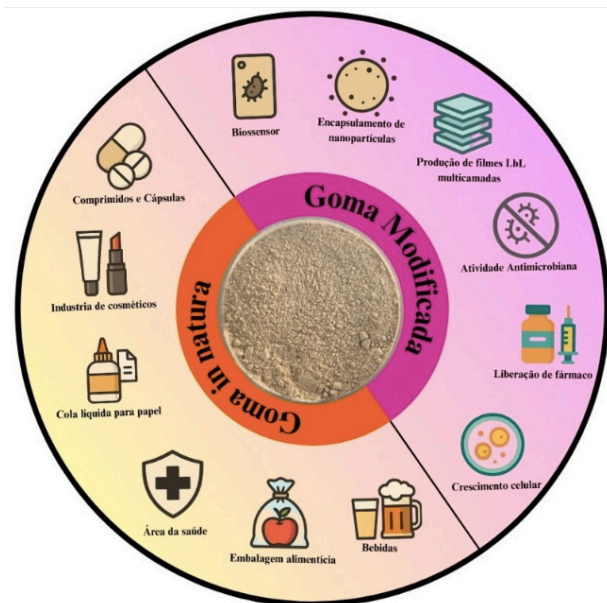
Goma	Modificação	Aplicação	Referência
Goma de cajueiro	Quaternização	Atividade antimicrobiana	(14)
Goma do cajueiro + quitosana	Carboximetilação	Biossensor para detecção da Typhimurium Liberação e administração oral de fármacos	(33)
		Encapsulamento de nanopartículas de $\text{CoFe}_2\text{O}_4$	(39)
		(40)	
		(38)	
Goma do cajueiro + quitosana	Acetilação	Liberação de insulina	(41)
Goma do cajueiro + quitosana	Ftalação	Crescimento celular	(36)
Goma do cajueiro + quitosana	Oxidação	Produção de filmes LbL multicamadas	(38)

**Tabela 3.** Principais modificações feitas na goma do cajueiro e suas aplicações.

Além das modificações mencionadas acima, outras metodologias podem ser utilizadas. Ramesan & Surya<sup>24</sup>, por exemplo, avaliaram a modificação da goma do cajueiro através da enxertia usando poliacrilamida (PAM) por meio da polimerização de radicais livres. Primeiro, a goma foi dissolvida em água destilada e, em seguida, o monômero acrilamida foi adicionado. A mistura foi mantida sob uma atmosfera de nitrogênio, agitada e aquecida a uma temperatura específica. O reagente persulfato de potássio (KPS) foi adicionado para produzir radicais livres que facilitaram a enxertia de poliacrilamida na estrutura da goma. No final da reação, a mistura foi resfriada à temperatura ambiente e lavada com acetona. O copolímero, após a precipitação, foi

filtrado e seco até atingir um peso constante. A reação de enxertia foi iniciada pela interação entre os grupos -OH presentes nas unidades de repetição de goma e os radicais  $\text{SO}_4^{\cdot-}$  que foram gerados pela decomposição térmica do KPS. Essa interação gerou macrorradicais que possibilitaram a inserção de monômeros de acrilamida por meio da adição de radicais livres. A investigação dos copolímeros obtidos como inibidores de corrosão para o aço em ácido clorídrico mostrou que as propriedades elétricas foram melhoradas e a eficiência de inibição aumentou proporcionalmente à concentração de PAM no copolímero.

Ribeiro et al.<sup>27</sup> realizaram modificação química na goma do cajueiro por meio da polimerização pela abertura do anel de  $\epsilon$ -caprolactona ( $\epsilon$ -CL), resultando na síntese de um copolímero anfifílico da goma enxertada com poli( $\epsilon$ -caprolactona) (PCL). Esta modificação teve como objetivo incorporar cadeias PCL na estrutura polimérica da goma, aumentando assim sua hidrofobicidade. A síntese do copolímero foi realizada dissolvendo a goma em DMSO e o sistema foi mantido sob uma atmosfera de gás nitrogênio e temperatura de 100 °C. Posteriormente,  $\epsilon$ -CL (monômero) e o catalisador octanoato de estanho  $\text{Sn}(\text{C}_8\text{H}_{15}\text{O}_2)_2$  foram adicionados ao sistema. Após diálise por 3 dias, o copolímero foi disperso em acetona para remover vestígios do homopolímero que possam ter sido formados durante a reação, filtrado, lavado e seco. Como resultado da modificação, os copolímeros obtidos exibiram auto-organização em água, formando nanopartículas com tamanhos médios variando de 202 a 212 nm, dependendo da quantidade de PCL enxertada. O caráter anfifílico dos copolímeros foi responsável por esse desempenho, permitindo que as unidades hidrofóbicas de PCL formassem o núcleo das nanopartículas. Em contraste, as unidades hidrofílicas da goma formaram a camada externa. As nanopartículas foram utilizadas para a liberação do fármaco anticancerígeno epirrubicina e os resultados indicaram que os materiais tiveram uma liberação máxima do fármaco de  $93,0 \pm 4,0\%$  em 72 horas, além de apresentarem biocompatibilidade após testes de hemólise e toxicidade. A Figura 20 ilustra as diversas aplicabilidades da goma do cajueiro em seu estado natural e após modificações químicas feitas em sua estrutura com o intuito de melhorar suas propriedades e expandir suas aplicações.

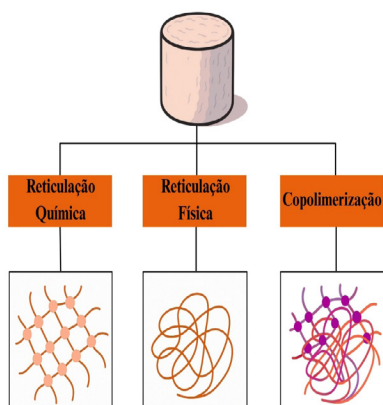


**Figura 20.** Aplicações da goma do cajueiro *in natura* e também após modificações para melhorar suas propriedades.

## APLICAÇÕES DE HIDROGÉIS DA GOMA DO CAJUEIRO E SEUS COMPÓSITOS

### Hidrogéis

Os hidrogéis são redes poliméricas tridimensionais que podem reter uma grande quantidade de água e manter sua integridade estrutural.<sup>6</sup> Essas redes expandidas por água são geralmente formadas por polímeros que sofrem reticulação física ou química. A alta capacidade de intumescimento dos hidrogéis é atribuída à presença de grupos hidrofílicos, como  $-OH$ ,  $-COOH$  e  $-SO_3H$ , que são incorporados à estrutura polimérica.<sup>42</sup> A água absorvida pelo material é armazenada nos espaços vazios entre as cadeias poliméricas interconectadas que formam os hidrogéis. Quando a capacidade de intumescimento dos hidrogéis excede 100%, esses materiais são chamados de hidrogéis superabsorventes.<sup>2,6</sup> A Figura 21 ilustra os tipos de reticulação que podem ser formados durante a produção de um hidrogel.



**Figura 21.** Imagem representativa dos tipos de reticulação que podem ocorrer na formação de um hidrogel.

A formação de hidrogel pode ocorrer por meio de reticulação química, que envolve a formação de ligações covalentes entre as cadeias poliméricas da goma do cajueiro e os agentes de reticulação. A goma pode ser modificada, por exemplo, por oxidação para introduzir grupos funcionais que facilitam a reticulação com outros polímeros ou agentes químicos, resultando em hidrogéis com propriedades mecânicas aprimoradas.<sup>43</sup> A formação do hidrogel também pode ocorrer por meio de reticulação física, que depende de interações não covalentes, como ligações de hidrogênio ou interações hidrofóbicas, para formar a rede tridimensional do hidrogel. Este método é considerado vantajoso porque evita o uso de agentes químicos potencialmente tóxicos, mantendo a biocompatibilidade do material.<sup>44</sup> Outro método, envolve a copolimerização por enxerto (enxertia), que consiste na introdução de monômeros sintéticos nas cadeias da goma do cajueiro para formar copolímeros com propriedades específicas. Um exemplo é a copolimerização da goma com acrilamida, resultando em hidrogéis superabsorventes com potenciais aplicações na agricultura e na biomedicina.<sup>45</sup>

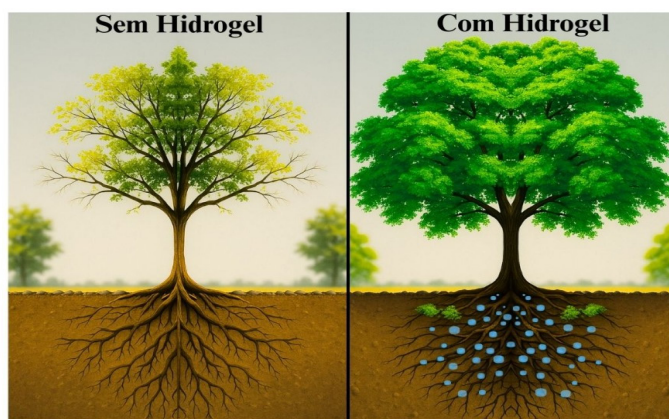
Os hidrogéis derivados da goma do cajueiro vêm ganhando destaque em pesquisas científicas e aplicações tecnológicas devido às suas propriedades físico-químicas únicas, como alta capacidade de absorção e retenção de água (característica fundamental em aplicações como sistemas de liberação de nutrientes e irrigação controlada na agricultura), biocompatibilidade, propriedades reológicas ajustáveis.<sup>46</sup> Além disso, em algumas formulações, os hidrogéis de goma do cajueiro exibem propriedades adesivas e atuam como barreiras protetoras contra microrganismos e contaminantes, tornando-os úteis na área biomédica, como curativos e em embalagens.<sup>47</sup> Por serem materiais versáteis, a utilização dos hidrogéis provenientes

da goma do cajueiro contribuem para o desenvolvimento sustentável e contemplam alguns dos planos de objetivos e metas estabelecidos na agenda 2030 das Nações Unidas, como boa saúde e bem-estar, água limpa e saneamento, consumo e produção responsáveis e vida debaixo d'água.

## Aplicações de hidrogéis da goma do cajueiro na agricultura

A maioria dos solos no Brasil é adequada para a produção agrícola. No entanto, algumas limitações podem ocorrer, incluindo estresse hídrico.<sup>48</sup> Na região do cerrado brasileiro, chuvas irregulares ocorrem durante as estações de crescimento, causando estresse hídrico por 15 a 30 dias em lavouras de soja, por exemplo. O estresse hídrico pode ser corrigido com irrigação. No entanto, os sistemas de irrigação por aspersão são caros e consomem grandes quantidades de água, tornando a técnica inviável para grandes áreas de cultivo.<sup>1</sup> Logo, tecnologias são necessárias para reduzir os efeitos do estresse hídrico. Uma alternativa seria o uso de hidrogéis, pois eles absorvem água e a tornam disponível quando o ambiente tem uma maior pressão osmótica. Quando associados a fertilizantes, podem liberar lentamente nutrientes para a planta, o que pode reduzir as operações de aplicação durante o cultivo da planta.<sup>49</sup>

Isso porque os hidrogéis podem armazenar grandes volumes de água e minimizar o desperdício que ocorre com a irrigação contínua.<sup>50</sup> A manutenção da umidade no solo também favorece uma germinação mais rápida da planta, melhorando o desempenho do cultivo agrícola. A Figura 22 traz uma ilustração de como seria a utilização do hidrogel da goma do cajueiro no solo e como o material pode auxiliar no crescimento da planta através da liberação de água e/ou nutrientes para o meio.



**Figura 22.** Representação ilustrativa de um meio sem a presença de hidrogel em que há crescimento ineficiente da planta (à esquerda) e um meio em que há a presença de hidrogel (à direita), em que libera água e nutrientes no solo, fazendo com que a planta cresça de forma saudável.

Além dos sistemas de armazenamento de água, os hidrogéis também podem ser utilizados para a liberação controlada de fertilizantes, que são substâncias essenciais para manter a fertilidade do solo. Estima-se que o solo não absorva completamente uma porcentagem significativa de fertilizantes devido à alta solubilidade dessas substâncias em água. Por exemplo, aproximadamente 80% a 90% do fósforo não pode ser absorvido pelas plantas, representando também um desperdício significativo para os sistemas agrícolas. Assim, os hidrogéis combinados com fertilizantes podem melhorar a nutrição das plantas, reduzir as perdas por evaporação da água e minimizar a poluição ambiental e as perdas econômicas.<sup>51</sup>

Barros et al.<sup>52</sup> produziram um hidrogel a partir da goma do cajueiro para uso na liberação de água em pastagens de capim Mombaça e o compararam com um hidrogel comercial à base de poliacrilamida. Os resultados indicaram que o uso do hidrogel da goma teve aplicação favorável e foi responsável por um aumento foliar de 42,33 mm folha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>. A produção de folhas verdes foi de 8.664,0 kg ha<sup>-1</sup>, acompanhada de um aumento no acúmulo de zinco para 28,0 mg/kg no capim Mombaça e uma elevada capacidade de absorção de água.

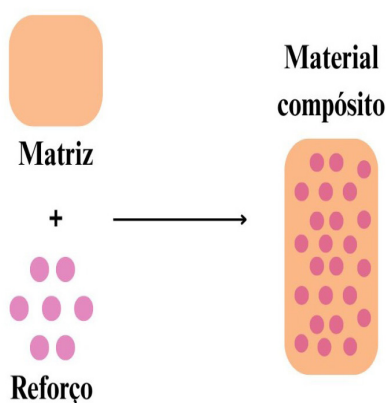
Barros et al.<sup>53</sup> fabricaram hidrogel a partir da goma do cajueiro para aplicá-lo na irrigação de três genótipos de palma forrageira: *Opuntia stricta* (orelha de elefante), *Opuntia ficus-indica* (gigante) e *Nopalea cochenillifera* (doce) e avaliaram os efeitos sobre o crescimento, composição química e mineral das plantas. Com base nos resultados obtidos, os autores concluíram que o hidrogel da goma do cajueiro promoveu o crescimento das plantas e também melhorou sua composição química e mineral. Portanto, o hidrogel utilizado pode atuar como fonte biodegradável e alternativa ao hidrogel comercial sem comprometer o desenvolvimento das plantas ou sua qualidade nutricional.

Ratke et al.<sup>49</sup> produziram um hidrogel da goma do cajueiro para aplicações agrícolas, com o objetivo de minimizar os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (*Glycine max* (L) Merr.). Hidrogel comercial à base de acrilamida também foi empregado. Os resultados obtidos indicaram que o hidrogel da goma do cajueiro foi eficaz no aumento do teor de proteína em sementes de soja submetidas ao estresse hídrico, sendo este aumento de 12%. Os parâmetros morfológicos e produtivos da soja também foram melhorados e o uso do hidrogel da goma do cajueiro conseguiu aumentar as quantidades de K e Ca nas sementes de soja quando comparados com o hidrogel comercial, bem como o aumento de Ca, Mg e Fe e a redução de forma exponencial de S e Cu.

## Compósitos



Os compósitos podem ser definidos como materiais formados pela combinação de dois ou mais materiais distintos com características e propriedades únicas, resultando em um material com propriedades sinérgicas. Eles são compostos por uma matriz que fornece estrutura, suporte e reforço, melhorando assim as propriedades do material. Portanto, a combinação dessas duas fases produz um material com propriedades otimizadas.<sup>54</sup> Como representação da definição apresentada acima, a Figura 23 ilustra um esquema da formação de um compósito, onde a matriz é representada pela estrutura alaranjada e, o reforço, é representado por esferas de cor rosa (à esquerda). A combinação de ambos resulta na formação do compósito (à direita), sendo possível perceber a dispersão das partículas de reforço dentro da matriz.



**Figura 23.** Representação esquemática da formação de um material compósito a partir da combinação de matriz (fase contínua) e reforço (fase dispersa).

O desenvolvimento de novos compósitos tem sido impulsionado pelo uso de biopolímeros naturais que oferecem vantagens como biodegradabilidade e biocompatibilidade.<sup>55</sup> Nesse cenário, as gomas desempenham um papel importante, pois suas propriedades físico-químicas são únicas e as diferenças nos grupos monossacarídeos que as compõem influenciam essas propriedades, tornando-as aplicáveis industrialmente.<sup>56</sup> Esses materiais são biodegradáveis e têm sido usados, por exemplo, como sistemas de liberação. No entanto, apresentam algumas desvantagens como baixa taxa de controle de hidratação, espessamento, diminuição da viscosidade após o armazenamento e suscetibilidade à contaminação microbiana. Portanto, algumas modificações são necessárias para minimizar essas desvantagens.<sup>57</sup> Algumas dessas modificações podem ser alcançadas por meio de carboximetilação,

enxerto ou reticulação com monômeros de vinila em polissacarídeos, produzindo assim um material adequado para sistemas de entrega.<sup>53</sup>

Araújo et al.<sup>58</sup> desenvolveram um material nanocompósito usando paligorskita como material de suporte para nanopartículas de prata (AgNPs), que foram sintetizadas por via verde e utilizaram goma do cajueiro como agente redutor e estabilizador. O nanocompósito foi designado como Pal/AgNPs-CG, e sua atividade antimicrobiana foi avaliada contra as bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Os resultados indicaram que o efeito inibitório contra as cepas de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* foi de 85,3%. O teste de toxicidade em *Artemia salina* mostrou que os nanocompósitos apresentaram baixa toxicidade.

da Rocha et al.<sup>35</sup> desenvolveram um scaffold compósito feito da goma do cajueiro e hidroxiapatita e avaliaram-no quanto à sua biocompatibilidade e possível citotoxicidade contra o cultivo de células-tronco de tecido adiposo murino (ADSCs). O material foi obtido por precipitação química e, após liofilização, foi caracterizado. Os resultados indicaram que o scaffold é seguro e eficaz, com características favoráveis para uso como matriz de suporte ao crescimento celular e sem efeitos tóxicos *in vitro*, além de promover aumento da viabilidade celular.

do Santos et al.<sup>55</sup> desenvolveram um scaffold compósito de hidroxiapatita dopada com cério, goma gelana e goma do cajueiro para aplicações de enxerto ósseo. O material sintetizado exibiu porosidade, que é um aspecto crucial do processo de osteoindução. Houve interação entre o material e os íons do tampão fosfato salino PBS, evidenciado pelo aumento do peso do scaffold e pela presença de um filme em sua superfície. Além disso, o scaffold exibiu resistência à compressão e os testes de viabilidade celular usando o método MTT e ensaios de atividade hemolítica indicaram que o material é atóxico.

Meera & Ramesan<sup>29</sup> produziram filmes nanocompósitos misturando soluções poliméricas de carboximetilquitosana (CMCS) e goma do cajueiro (CG) com nanopartículas de boemita nas concentrações de 3, 5, 7 e 10% em peso, usando uma rota verde e água como solvente. O filme nanocompósito CMCS/CG foi caracterizado, e os resultados indicaram que os filmes são semicondutores. A presença de nanopartículas de boemita aumentou a estabilidade térmica, a resistência à tração e a dureza dos filmes. Assim, os autores concluíram que esses materiais têm potencial para servir como alternativas ecológicas em dispositivos eletrônicos orgânicos flexíveis e sistemas de captação de energia.

Meera et al.<sup>59</sup> desenvolveram filmes nanocompósitos biodegradáveis misturando álcool polivinílico (PVA) e goma do cajueiro (CG) com diferentes concentrações de nano quitosana (nCS) incorporadas. Para a obtenção do material, foi empregada uma metodologia de fundição em solução verde, utilizando água como solvente, e

o nanocompósito resultante foi designado como PVA/CG/nCS. Os autores avaliaram e ajustaram as propriedades mecânicas, elétricas, térmicas e dielétricas da mistura polimérica entre PVA/CG com a adição de uma pequena quantidade de nCS. Com base nos resultados obtidos, os autores inferiram que os filmes nanocompósitos podem ser utilizados na fabricação de diversos dispositivos eletrônicos, incluindo sensores e placas de circuito, podendo ser explorados como um equipamento eletrônico de próxima geração mais sustentável.

Ramesan et al.<sup>30</sup> desenvolveram um nanocompósito a partir de uma mistura da goma do cajueiro e quitina contendo diferentes quantidades de nanopartículas de óxido de zinco dopado com prata. O material foi sintetizado através de uma rota simples e ecologicamente correta envolvendo uma mistura de soluções e foi avaliado quanto à sua morfologia, estrutura, propriedades térmicas e cristalinidade. Os resultados mostraram que houve redução do caráter amorfo apresentado pela mistura polimérica entre quitina e goma do cajueiro (CT/CG) devido à adição de cargas. As nanopartículas de zinco dopadas com prata foram dispersas na mistura e, além disso, os nanocompósitos apresentaram maior estabilidade térmica e propriedades elétricas melhoradas quando comparados à mistura polimérica. A carga de nanopartículas influenciou significativamente as propriedades elétricas, sendo que a carga de 7% em peso apresentou os melhores resultados, o que sugere que esses materiais, no futuro, poderão ser utilizados como semicondutores. A Tabela 4 fornece um resumo dos materiais compósitos discutidos anteriormente, com suas aplicações e referências correspondentes.

Compósito	Aplicação	Artigo	Referência
<b>Paligorskita + nanopartículas de prata + goma do cajueiro</b>	Atividade antimicrobiana	Cashew-gum-based silver nanoparticles and palygorskite as green nanocomposites for antibacterial applications	(58)
<b>Hidroxiapatita + goma do cajueiro</b>	Crescimento celular	Development of a new biomaterial based on cashew tree gum ( <i>Anacardium occidentale L.</i> ) enriched with hydroxyapatite and evaluation of cytotoxicity in adipose-derived stem cell cultures	(35)

<b>Hidroxiapatita dopada com cério + goma gelana + goma do cajueiro</b>	Enxerto ósseo	Development of composite scaffolds based on cerium doped-hydroxyapatite and natural gums- biological and mechanical properties	(55)
<b>Carboximetilquitosana + goma do cajueiro + nanopartículas de boemita</b>	Fabricação de dispositivos eletrônicos	Tailoring the performance of boehmite nanoparticles reinforced carboxymethyl chitosan/ cashew gum blend nanocomposites via green synthesis.	(29)
<b>Álcool polivinílico + goma do cajueiro + nanoquitosana</b>	Fabricação de dispositivos eletrônicos	Nanochitosan Reinforced Polyvinyl Alcohol/ Cashew Gum Bio-blend Nanocomposites: Promising Materials for Future Frontiers	(59)
<b>Goma do cajueiro + quitina + óxido de zinco dopado com prata</b>	Semicondutores	Effect of Silver Doped Zinc Oxide as Nanofiller for the Development of Biopolymer Nanocomposites from Chitin and Cashew Gum	(30)

**Tabela 4.** Compósitos formados pela goma do cajueiro com suas aplicações, artigos correspondentes e referências.

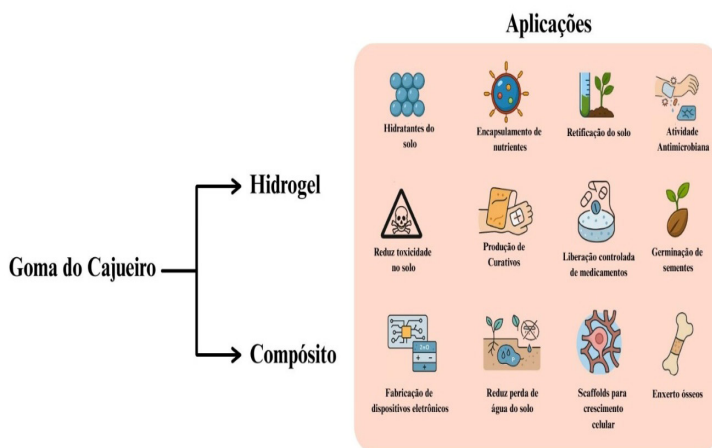
Os hidrogéis compósitos são sistemas híbridos que combinam diferentes materiais para reunir ou melhorar propriedades específicas, logo, a formação de hidrogéis com compósitos tem sido cada vez mais desejada. No contexto dos biopolímeros, a goma do cajueiro destaca-se como uma matriz natural promissora para a formação desses sistemas devido à sua estrutura rica em polissacarídeos, biocompatibilidade, biodegradabilidade e funcionalidade química. A combinação com outros polímeros ou cargas funcionais possibilitou a produção de hidrogéis com características mecânicas, térmicas, bioativas e responsivas aprimoradas, permitindo aplicações em diversas áreas, principalmente na saúde e na indústria.<sup>45</sup>

O potencial das nanopartículas de prata (AgNPs) associadas aos géis tem sido tradicionalmente utilizado no tratamento de feridas. Em tal aplicação, as nanopartículas de prata provavelmente representam uma adição valiosa ao hidrogel, pois liberam prata lentamente e não exibem toxicidade na pele.<sup>60</sup> Por exemplo, as nanopartículas podem ser incorporadas à matriz de hidrogel da goma do cajueiro, seja misturando-as com o gel pré-formado ou reduzindo-as *in situ* durante o

processo de gelificação. Esses hidrogéis podem servir como um reservatório para a liberação sustentada de íons de prata, mantendo um ambiente úmido que auxilia na cicatrização de feridas. A atividade antimicrobiana de alguns desses géis foi demonstrada na cicatrização de feridas.<sup>30</sup>

Na indústria alimentícia, a goma do cajueiro tem sido tradicionalmente usada como espessante, emulsificante e agente estabilizador. Em sua forma de hidrogel, esta goma pode ser usada para encapsular compostos bioativos, incluindo probióticos, antioxidantes, sabores e vitaminas, protegendo-os contra processamento adverso ou condições gastrointestinais. Isso contribui para o desenvolvimento de alimentos funcionais e nutracêuticos com maior estabilidade e eficácia nutricional.<sup>27</sup> Na indústria agrícola, hidrogéis compósitos feitos da goma do cajueiro e poliacrilamida podem ser usados para a liberação controlada de água e fósforo para a planta. O uso desses materiais é promissor como sistemas de armazenamento de água e liberação controlada de nutrientes.<sup>6</sup>

Com a crescente demanda por alternativas ecologicamente corretas ao plástico, a goma de cajueiro está emergindo como uma matéria-prima viável para a produção de filmes biodegradáveis. Os hidrogéis derivados dessa goma podem ser processados em membranas ou revestimentos com propriedades de barreira (contra oxigênio, umidade ou luz) e podem ser usados como embalagens de alimentos biodegradáveis.<sup>61</sup> A Figura 24 ilustra as aplicações de hidrogéis e/ou compósitos produzidos a partir da goma do cajueiro.



**Figura 24.** Aplicações de hidrogéis e/ou compósitos desenvolvidos a partir da goma do cajueiro.

## CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Foi realizada uma revisão bibliométrica, considerando trabalhos publicados nos últimos dez anos e apenas artigos de pesquisa, com o objetivo de investigar estudos sobre a goma do cajueiro, os tipos de modificações que podem ser feitas em sua estrutura e o potencial de aplicação de materiais como hidrogéis e compósitos formados a partir da goma nos mais diversos setores industriais. Os anos de 2023 e 2024 tiveram o maior número de artigos publicados, com 35 e 33 registros, respectivamente, e o maior número de citações ocorreu em 2023 ( $n = 120$  citações). O Brasil é o país com mais estudos publicados sobre goma do cajueiro, com um total de 64 estudos, e também tem o maior número total de citações, com 1036, seguido pela China e Índia, com 647 e 520 citações, respectivamente. Entre os autores que mais publicaram, Edson Cavalcanti Silva-Filho ocupa a primeira posição no ranking com 16 publicações, seguido por M. T. Ramesan com 12 publicações. As revistas *International Journal of Biological Macromolecules* e *Carbohydrate Polymers* tem 27 e 10 publicações, respectivamente, sobre o tema em estudo. Por meio da análise de agrupamento, foram identificados quatro clusters, onde o *International Journal of Biological Macromolecules* é o ponto central do primeiro grupo, *Food Hydrocolloids* é o ponto central do segundo grupo, *Carbohydrate Polymers* o ponto central do terceiro grupo, *Carbohydrate Polymers* e *International Journal of Biological Macromolecules*, juntos, são o ponto central do quarto grupo. Além disso, três áreas são destacadas por meio dessa análise e se referem à ciência de alimentos, biopolímeros e ciência de materiais e polímeros. De acordo com a nuvem de palavras-chave obtida, o termo “cashew gum” aparece em destaque evidenciando sua importância. Por meio da análise de grupo utilizando o software VOSviewer, observou-se uma tendência crescente ao longo dos anos nos estudos sobre a goma do cajueiro, evidenciada pela coocorrência de palavras-chave ao longo do tempo. Devido à sua versatilidade, a goma do cajueiro tem sido utilizada em uma ampla gama de aplicações industriais. Modificações químicas em sua estrutura, obtidas por meio de métodos como quaternização, carboximetilação, acetilação, ftalação, oxidação e copolimerização de enxerto, aprimoram suas propriedades e expandem suas aplicações. Além disso, materiais na forma de compósitos e hidrogéis formulados a partir da goma do cajueiro têm sido aplicados em sistemas de liberação controlada de fármacos, liberação de água e nutrientes para o solo, encapsulamento de fármacos e engenharia de tecidos, entre outras aplicações. A goma do cajueiro é um biopolímero natural com potencial significativo para aplicações inovadoras, particularmente nas áreas farmacêutica e de biomateriais, devido às suas propriedades únicas. Apesar disso, ainda são necessários mais estudos para investigar o uso dessa goma e dos materiais formulados a partir dela em processos de adsorção para remediação ambiental no tratamento de efluentes, atuando como adsorventes em sistemas que removem moléculas orgânicas, como

corantes, do ambiente aquático. A literatura já relata o uso desse biopolímero versátil em processos fotocatalíticos para remoção de corantes, como o azul de metileno, além de apresentar desempenho fotocatalítico relevante contra a degradação de fármacos, incluindo ibuprofeno e ciprofloxacina. Em resumo, a goma de cajueiro é promissora para aplicações fotocatalíticas e pode contribuir para o desenvolvimento de soluções sustentáveis em remediação ambiental. A falta de estudos sobre sua capacidade de adsorção e os materiais produzidos a partir dela, como hidrogéis e/ou compósitos, por exemplo, representa uma oportunidade para pesquisas futuras e pode levar a estratégias de remediação mais eficientes e ecologicamente corretas.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Conceituação, J.A.B.; metodologia, J.A.B., E.I.S.S., A.J.L.; investigação, J.A.B., A.M.S e I.S.L.; redação - preparação do rascunho original, J.A.B e L.H.O.; redação - revisão e edição E.C.S.F e J.A.O.; supervisão, E.C.S.F.; administração de projetos, E.C.S.F.; aquisição de financiamento, E.C.S.F. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

## DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados apresentados neste estudo estão disponíveis mediante solicitação dos autores.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí – FAPEPI (nº 23038.006531/2021-17 e nº 00110.000326/2023-34 Processo#001/2024). Este trabalho foi parcialmente financiado pelas agências brasileiras MCTIC/CNPq (Processo #406973/2022-9 - INCT/Polissacarídeos (Instituto Nacional de Tecnologia-Ciência para Polissacarídeos; Concessão # 308434/2023-4; Concessão #406050/2022-8).

## CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## REFERÊNCIAS

(1) Gupta, S.; Kachhwaha, S.; Kothari, S.L.; Bohra, M.K.; Jain, R. Surface Morphology and Physicochemical Characterization of Thermostable Moringa Gum: A Potential Pharmaceutical Excipient. *ACS Omega* **2020**, , 29189–29198, doi:10.1021/acsomega.0c03966.

- (2) Shi, Z.; Jia, C.; Wang, D.; Deng, J.; Xu, G.; Wu, C.; Dong, M.; Guo, Z. Synthesis and Characterization of Porous Tree Gum Grafted Copolymer Derived from *Prunus Cerasifera* Gum Polysaccharide. *Int J Biol Macromol* **2019**, , 964–970, doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.04.128.
- (3) Kipo, S.L.; Ofori-Kwakye, K.; Kuntworbe, N.; Johnson, R.; Boakye-Gyasi, M. El; Osei, Y.A.; Owusu, F.A. Physicochemical and Microbiological Characteristics of Stem Bark Exudate Gum of *Cordia Millenii* Tree in Conventional Release Tablets. *entific World Journal* **2023**, , doi:10.1155/2023/9118067.
- (4) Loureiro, K.C.; Jäger, A.; Pavlova, E.; Lima-Verde, I.B.; Štěpánek, P.; Sangenito, L.S.; Santos, A.L.S.; Chaud, M. V.; Barud, H.S.; Soares, M.F.L.R.; et al. Cashew Gum (*Anacardium Occidentale*) as a Potential Source for the Production of Tocopherol-Loaded Nanoparticles: Formulation, Release Profile and Cytotoxicity. *Applied Sciences (Switzerland)* **2021**, , doi:10.3390/app11188467.
- (5) Ribeiro, M.X.; Araujo, F.P.; da Silva-Filho, E.C.; Almeida, L.C.; da Silva, D.A.; Peña Garcia, R.R.; Cecilia, J.A.; Furtini, M.B.; Osajima, J.A.; Orta Cuevas, M.D.M. Insight into the TiO2 Nanostructures Stabilized with Cashew Tree Gum to Remove Emerging Contaminants as a Green Technology. *Nano-Structures and Nano-Object* **2024**, , doi:10.1016/j.nanoso.2024.101362.
- (6) Sousa, H.R.; Lima, I.S.; Neris, L.M.L.; Silva, A.S.; Nascimento, A.M.S.S.; Araújo, F.P.; Ratke, R.F.; Silva, D.A.; Osajima, J.A.; Bezerra, L.R.; et al. Superabsorbent Hydrogels Based to Polyacrylamide/Cashew Tree Gum for the Controlled Release of Water and Plant Nutrients. *Molecules* **2021**, , doi:10.3390/molecules26092680.
- (7) Keivanfard, N.; Nasirpour, A.; Barekat, S.; Keramat, J. Effects of Heat and High-Pressure Homogenization Processes on Rheological and Functional Properties of Gum Tragacanth. *Food Hydrocoll* **2022**, , doi:10.1016/j.foodhyd.2022.107593.
- (8) Shaibat Alhamd, M.A.; Gawad, O.F.A.; Eldin, Z.E.; Elzanaty, A.M.; Arafa, E.G. Schiff's Base Transformation: Enhancing Biological Activity of Xanthan Gum by Grafting with Acrylonitrile. *Int J Biol Macromol* **2025**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2025.142354.
- (9) Sun, H.; Ni, J.; Yang, G.; Liu, Z.; Wang, Z.; Zhu, S.; Li, Z.; Jiang, Y.; Zhan, X.; Wang, Y.; et al. A Novel Coupled Fermentation System for Low-Molecular-Weight Xanthan Gum with Diverse Biological Activities. *Int J Biol Macromol* **2024**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2024.135283.
- (10) Brito, F. das C.M.; Lopes, W.C.; Ribeiro, F.O.S.; Rodrigues, R.R.L.; França Rodrigues, K.A. da; Santos Machado, F. dos; Araújo, A.J.; Marinho Filho, J.D.B.; Oliveira, A.C.J.; Filho, E.C.S.; et al. Influence of Reduction with NaBH4 and HCl in Obtaining Amino Derivatives of Cashew Gum and Cytotoxic Profile. *Polymers (Basel)* **2023**, , doi:10.3390/polym15132856.



- (11) Naji-Tabasi, S.; Shahidi-Noghabi, M.; Dovom, A.M. Investigating the Fabrication and Functional Properties of New Composite Hydrogels Containing Gellan/ Alginate/ Xanthan Gum. *J Solgel Sci Technol* **2023**, , 637–649, doi:10.1007/s10971-022-06014-5.
- (12) He, J.; Zhao, J.; Jia, W.; Cui, Y.; Wei, S.; Zhao, Y.; Fang, Y. Constructing Anisotropic and Strong Polysaccharide-Based Hydrogels with Stretching-Dehydration Strategy: Effect of Sodium Alginate, Pectin, Gellan Gum, and Curdlan. *Carbohydr Polym* **2025**, , doi:10.1016/j.carbpol.2025.123567.
- (13) He, J.; Zhao, J.; Jia, W.; Cui, Y.; Wei, S.; Zhao, Y.; Fang, Y. Constructing Anisotropic and Strong Polysaccharide-Based Hydrogels with Stretching-Dehydration Strategy: Effect of Sodium Alginate, Pectin, Gellan Gum, and Curdlan. *Carbohydr Polym* **2025**, , 123567, doi:10.1016/J.CARBPOL.2025.123567.
- (14) Quelemes, P. V.; de Araújo, A.R.; Plácido, A.; Delerue-Matos, C.; Maciel, J.S.; Bessa, L.J.; Ombredane, A.S.; Joanitti, G.A.; Soares, M.J. dos S.; Eaton, P.; et al. Quaternized Cashew Gum: An Anti-Staphylococcal and Biocompatible Cationic Polymer for Biotechnological Applications. *Carbohydr Polym* **2017**, , 567–575, doi:10.1016/j.carbpol.2016.10.026.
- (15) Pawliszak, P.; Beheshti, A.; Møller, A.; Blencowe, A.; Beattie, D.A.; Krasowska, M. Increasing Surface Hydrophilicity with Biopolymers: A Combined Single Bubble Collision, QCM-D and AFM Study. *J Colloid Interface Sci* **2024**, , 393–402, doi:10.1016/j.jcis.2024.04.073.
- (16) Ryu, J.H.; Koo Han, N.; Lee, J.S.; Jeong, Y.G. Microstructure, Thermal and Mechanical Properties of Composite Films Based on Carboxymethylated Nanocellulose and Polyacrylamide. *Carbohydr Polym* **2019**, , 84–90, doi:10.1016/j.carbpol.2019.01.109.
- (17) de Lima, I.S.; Sousa, H.R.; Silva, A.S.; de Oliveira, L.H.; Muniz, E.C.; Osajima, J.A.; Silva-Filho, E.C. Superabsorbent Hydrogel from Cassava Gum (Manihot Esculenta) to Release Water and Macronutrients. *Ind Crops Prod* **2024**, , doi:10.1016/j.indcrop.2024.119045.
- (18) Edvan, R.; Sá, M.; Magalhães, R.; Ratke, R.; Sousa, H.R.; Neri, L.M.L.; Silva-Filho, E.C.; Filho, J.P.; Bezerra, L. Copolymerized Natural Fibre from the Mesocarp of Orbignya Phalerata (Babassu Fruit) as an Irrigating-Fertilizer for Growing Cactus Pears. *Polymers (Basel)* **2020**, , doi:10.3390/POLYM12081699.
- (19) Ferreira, M.O.G.; Sá Lima, I.; Ribeiro, A.B.; Lobo, A.O.; Rizzo, M.S.; Osajima, J.A.; Estevinho, L.M.; Silva-Filho, E.C. Biocompatible Gels of Chitosan-Buriti Oil for Potential Wound Healing Applications. *Materials* **2020**, , doi:10.3390/MA13081977.
- (20) Lima, I.S. de; Ferreira, M.O.G.; Barros, E.M.L.; Rizzo, M. dos S.; Santos, J. de A.; Ribeiro, A.B.; Antevli Osajima Furtini, J.; C. Silva-Filho, E.; Estevinho, L.M. Antibacterial and Healing Effect of Chicha Gum Hydrogel (*Sterculia Striata*) with Nerolidol. *Int J Mol Sci* **2023**, , doi:10.3390/ijms24032210.

- (21) Wang, H.; Bai, T.; Yusoff, M.; Khairuddin, N.A.A.C.M.; A'srai, A.I.M.; Razali, M.H. Development of Nano Hydroxyapatite Loaded Gellan Gum Nanocomposite Scaffold for the Regeneration of Bone Tissue Affected by Osteosarcoma. *Results Chem* **2025**, , doi:10.1016/j.rechem.2025.102208.
- (22) Aria, M.; Cuccurullo, C. Bibliometrix: An R-Tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *J Informetr* **2017**, , 959–975, doi:10.1016/j.joi.2017.08.007.
- (23) Carlos, C.R.; Everton, E.L.; Araujo, L.F.S.; Leonira, L.M.; Feitosa, J.P.A.; Cunha, A.F.; Oliveira, M.B.; Mano, J.F.; da S. Maciel, J. Synthesis and Characterization of Scaffolds Produced under Mild Conditions Based on Oxidized Cashew Gums and Carboxyethyl Chitosan. *Int J Biol Macromol* **2021**, , 26–36, doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.01.178.
- (24) Ramesan, M.T.; Surya, K. *Studies on Electrical, Thermal and Corrosion Behaviour of Cashew Tree Gum Grafted Poly(Acrylamide)*; 2016; Vol. 7;.
- (25) Andrade, K.C.S.; De Carvalho, C.W.P.; Takeiti, C.Y.; De Azeredo, H.M.C.; Corrêa, J.D.S.; Caldas, C.M. Goma de Cajueiro (*Anacardium Occidentale*): Avaliação Das Modificações Químicas e Físicas Por Extrusão Termoplástica. *Polimeros* **2013**, , 667–671, doi:10.4322/polimeros.2013.004.
- (26) Oliveira, M.A.; Furtado, R.F.; Bastos, M.S.R.; Leitão, R.C.; Benevides, S.D.; Muniz, C.R.; Cheng, H.N.; Biswas, A. Performance Evaluation of Cashew Gum and Gelatin Blend for Food Packaging. *Food Packag Shelf Life* **2018**, , 57–64, doi:10.1016/j.fpsl.2018.05.003.
- (27) Ribeiro, I.S.; Pontes, F.J.G.; Carneiro, M.J.M.; Sousa, N.A.; Pinto, V.P.T.; Ribeiro, F.O.S.; Silva, D.A.; Araújo, G.S.; Marinho Filho, J.D.B.; Araújo, A.J.; et al. Poly( $\epsilon$ -Caprolactone) Grafted Cashew Gum Nanoparticles as an Epirubicin Delivery System. *Int J Biol Macromol* **2021**, , 314–323, doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.03.011.
- (28) Grumi, M.; Prieto, C.; Furtado, R.F.; Cheng, H.N.; Biswas, A.; Limbo, S.; Cabedo, L.; Lagaron, J.M. On the Unique Morphology and Elastic Properties of Multi-Jet Electrospun Cashew Gum-Based Fiber Mats. *Polymers (Basel)* **2024**, , doi:10.3390/polym16101355.
- (29) Meera, K.; Ramesan, M.T. Tailoring the Performance of Boehmite Nanoparticles Reinforced Carboxymethyl Chitosan/Cashew Gum Blend Nanocomposites via Green Synthesis. *Polymer (Guildf)* **2023**, , doi:10.1016/j.polymer.2023.125706.
- (30) Ramesan, M.T.; Siji, C.; Kalaprasad, G.; Bahuleyan, B.K.; Al-Maghrabi, M.A. Effect of Silver Doped Zinc Oxide as Nanofiller for the Development of Biopolymer Nanocomposites from Chitin and Cashew Gum. *J Polym Environ* **2018**, , 2983–2991, doi:10.1007/s10924-018-1187-6.

- (31) Leite, J.M. da S.; Oliveira, A.C. de J.; Dourado, D.; Santana, L.M. de; Medeiros, T.S.; Nadvorny, D.; Silva, M.L.R.; Rolim-Neto, P.J.; Moreira, D.R.M.; Formiga, F.R.; et al. Rifampicin-Loaded Phthalated Cashew Gum Nano-Embedded Microparticles Intended for Pulmonary Administration. *Int J Biol Macromol* **2025**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2025.140693.
- (32) Kalladi, A.J.; Arun, K.; Ramesan, M.T. Eco-Friendly Synthesis, Characterization, and Properties of Copper Oxide Nanoparticles in Cashew Gum/Polypyrrole Blend for Energy Storage Applications. *Int J Biol Macromol* **2024**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2024.134473.
- (33) Melo, A.M.A.; Oliveira, M.R.F.; Furtado, R.F.; de Fatima Borges, M.; Biswas, A.; Cheng, H.N.; Alves, C.R. Preparation and Characterization of Carboxymethyl Cashew Gum Grafted with Immobilized Antibody for Potential Biosensor Application. *Carbohydr Polym* **2020**, , doi:10.1016/j.carbpol.2019.115408.
- (34) Botrel, D.A.; Borges, S.V.; Fernandes, R.V. de B.; Antoniassi, R.; de Faria-Machado, A.F.; Feitosa, J.P. de A.; de Paula, R.C.M. Application of Cashew Tree Gum on the Production and Stability of Spray-Dried Fish Oil. *Food Chem* **2017**, , 1522–1529, doi:10.1016/j.foodchem.2016.10.141.
- (35) da Rocha, L.B.N.; Sousa, R.B.; dos Santos, M.V.B.; Argolo Neto, N.M.; Soares, L.L. da S.; Alves, F.L.C.; de Carvalho, M.A.M.; Osajima, J.A.; Silva-Filho, E.C. Development of a New Biomaterial Based on Cashew Tree Gum (*Anacardium Occidentale* L.) Enriched with Hydroxyapatite and Evaluation of Cytotoxicity in Adipose-Derived Stem Cell Cultures. *Int J Biol Macromol* **2023**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2023.124864.
- (36) Leite, Y.K. de C.; Oliveira, A.C. de J.; Quelemes, P.V.; Neto, N.M.A.; Carvalho, C.E.S. de; Soares Rodrigues, H.W.; Alves, M.M. de M.; Carvalho, F.A. de A.; Arcanjo, D.D.R.; Silva-Filho, E.C. da; et al. Novel Scaffold Based on Chitosan Hydrogels/Phthalated Cashew Gum for Supporting Human Dental Pulp Stem Cells. *Pharmaceuticals* **2023**, , doi:10.3390/ph16020266.
- (37) Comunian, T.A.; Gomez-Estaca, J.; Ferro-Furtado, R.; Conceição, G.J.A.; Moraes, I.C.F.; De Castro, I.A.; Favaro-Trindade, C.S. Effect of Different Polysaccharides and Crosslinkers on Echium Oil Microcapsules. *Carbohydr Polym* **2016**, , 319–329, doi:10.1016/j.carbpol.2016.05.044.
- (38) Leite, Á.J.; Costa, R.R.; Costa, A.M.S.; Maciel, J.S.; Costa, J.F.G.; de Paula, R.C.M.; Mano, J.F. The Potential of Cashew Gum Functionalization as Building Blocks for Layer-by-Layer Films. *Carbohydr Polym* **2017**, , 849–857, doi:10.1016/j.carbpol.2017.06.055.
- (39) De Sousa Monteiro, A.A.; Richter, A.R.; Da Silva Maciel, J.; Feitosa, J.P.A.; Paula, H.C.B.; De Paula, R.C.M. Efeito Da Modificação Química Na Solubilidade e Intumescimento de Microesferas à Base de Goma Do Cajueiro Carboximetilada e Quitosana. *Polimeros* **2015**, , 31–39, doi:10.1590/0104-1428.1779.

- (40) Abreu, M.K.S.O.; Silva, M.A.S.; Abreu, D.S.; Richter, A.R.; de Paula, R.C.M.; Constantino, V.R.L.; Vasconcelos, I.F.; de Oliveira, F.G.S.; de Melo, A.S.; Correa, M.A.; et al. Colloidal Stability Improvement of Cobalt Ferrite Encapsulated in Carboxymethylated Cashew Gum. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp* **2023**, , doi:10.1016/j.colsurfa.2022.130307.
- (41) Vasconcelos Silva, E. de L.; Oliveira, A.C. de J.; Moreira, L.M.C. de C.; Silva-Filho, E.C.; Wanderley, A.G.; Soares, M.F. de L.R.; Soares-Sobrinho, J.L. Insulin-Loaded Nanoparticles Based on Acetylated Cashew Gum/Chitosan Complexes for Oral Administration and Diabetes Treatment. *Int J Biol Macromol* **2023**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2023.124737.
- (42) Moreira, B.R.; Pereira-Júnior, M.A.; Fernandes, K.F.; Batista, K.A. An Ecofriendly Edible Coating Using Cashew Gum Polysaccharide and Polyvinyl Alcohol. *Food Biosci* **2020**, , doi:10.1016/j.fbio.2020.100722.
- (43) Patra, S.; Bala, N.N.; Nandi, G. Synthesis, Characterization and Fabrication of Sodium Carboxymethyl-Okra-Gum-Grafted-Polymethacrylamide into Sustained Release Tablet Matrix. *Int J Biol Macromol* **2020**, , 3885–3900, doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.09.025.
- (44) Ribeiro, F. de O.S.; Oliveira, F. de C.E. de; Pessoa, C.; Dias, J. do N.; Albuquerque, P.; Sousa, E. da S.; Lima, S.G. de; Lima, L.R.M. de; Sombra, V.G.; Paula, R.C.M. de; et al. Lemon Gum: Non-Toxic Arabinogalactan Isolated from Citrus × Latifolia with Antiproliferative Property against Human Prostate Adenocarcinoma Cells. *Int J Biol Macromol* **2023**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2022.12.277.
- (45) Bal, T.; Yadav, S.K.; Rai, N.; Swain, S.; Shambhavi; Garg, S.; Sen, G. Invitro Evaluations of Free Radical Assisted Microwave Irradiated Polyacrylamide Grafted Cashew Gum (CG) Biocompatible Graft Copolymer (CG-g-PAM) as Effective Polymeric Scaffold. *J Drug Deliv Sci Technol* **2020**, , doi:10.1016/j.jddst.2020.101572.
- (46) Hosseini, P.; Hojjatoleslami, M.; Molavi, H. Investigation of the Mixing Ratio of Quince Seed Gum, Potato Starch and Gellan Gum on the Properties of the Resulting Film by Mixture Design. *Int J Biol Macromol* **2023**, , doi:10.1016/j.ijbiomac.2023.123869.
- (47) Eshun Oppong, E.; Kuntworbe, N.; Asantewaa Osei, Y.; Ofori-Kwakye, K.; Adi-Darko, O.; Obese, E. Physicochemical Characterisation of Piptadeniastrum Africana (Hook. F.) Gum, a Potential Pharmaceutical Excipient. *Sci Afr* **2021**, , doi:10.1016/j.sciaf.2021.e00925.
- (48) Panova, G.G.; Krasnopeeveva, E.L.; Laishevskina, S.G.; Kuleshova, T.E.; Udalova, O.R.; Khomyakov, Y. V.; Mirskaya, G. V.; Vertebny, V.E.; Zhuravleva, A.S.; Shevchenko, N.N.; et al. Polymer Gel Substrate: Synthesis and Application in the Intensive Light Artificial Culture of Agricutural Plants. *Gels* **2023**, , doi:10.3390/gels9120937.

- (49) Ratke, R.F.; de Sousa, A.; Chaves, D.V.; Zanatta, F.L.; Edvan, R.L.; Sousa, H.R.; Silva-Filho, E.C.; Osajima, J.A.; Nascimento, A.M.S.S.; Aguilera, J.G.; et al. Cashew Gum Hydrogel as an Alternative to Minimize the Effect of Drought Stress on Soybean. *Sci Rep* **2024**, , doi:10.1038/s41598-024-52509-2.
- (50) Richter, A.R.; Feitosa, J.P.A.; Paula, H.C.B.; Goycoolea, F.M.; de Paula, R.C.M. Pickering Emulsion Stabilized by Cashew Gum- Poly-L-Lactide Copolymer Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Amphotericin B Encapsulation. *Colloids Surf B Biointerfaces* **2018**, , 201–209, doi:10.1016/j.colsurfb.2018.01.023.
- (51) Zie, M.; Jacquet, N.; Karamoko, G.; Alabi, T.; Richel, A.; Karoui, R.; Blecker, C. Characterization of a Novel Natural Protein-Polysaccharide Complex from Cashew Apple Bagasse and Its Functional Implications. *Food Chem* **2025**, , doi:10.1016/j.foodchem.2024.141861.
- (52) Barros, D.M.A.; Edvan, R.L.; Pessoa, J.P.M.; do Nascimento, R.R.; Camboim, L.F.R.; Bezerra, L.R.; de Araújo, M.J.; de Sousa, H.R.; Silva-Filho, E.C. Hydrogel Based on Cashew Gum and Polyacrylamide as a Potential Water Supplier in Mombaça Grass Pastures: A Sustainable Alternative for Agriculture. *Sustainability (Switzerland)* **2023**, , doi:10.3390/su152316423.
- (53) Barros, D.; Edvan, R.; Pessoa, J.P.; Nascimento, R.; Camboim, L.F.; Silva, S.; Pereira Filho, J.M.; Sousa, H.; Silva-Filho, E.C.; Fonseca, M.; et al. Cashew Gum (Anacardium Occidentale) Hydrogel for Sustainable Irrigation of Cactus Pear: Effects on Growth, Chemical Composition, and Mineral Content. *SSustainability (Switzerland)* **2025**, , doi:10.3390/su17020501.
- (54) Ligowski, E.; Santos, B.C. Dos; Fujiwara, S.T. Materiais Compósitos a Base de Fibras Da Cana-de-Açúcar e Polímeros Reciclados Obtidos Através Da Técnica de Extrusão. *Polimeros* **2015**, , 70–75, doi:10.1590/0104-1428.1605.
- (55) dos Santos, M.V.B.; Rocha, L.B.N.; Vieira, E.G.; Oliveira, A.L.; Lobo, A.O.; de Carvalho, M.A.M.; Osajima, J.A.; Silva-Filho, E.C. Development of Composite Scaffolds Based on Cerium Doped-Hydroxyapatite and Natural Gums-Biological and Mechanical Properties. *Materials* **2019**, , doi:10.3390/ma12152389.
- (56) Kipo, S.L.; Kuntworbe, N.; Boakye-Gyasi, M. El; Osei, Y.A.; Owusu, F.W.A.; Johnson, R.; Ofori-Kwakye, K.; Bayor, M.T. Evaluation of the Physicochemical and Micromeritic Properties of Exudate Gum of Cussonia Arborea Stem Bark in Conventional Tablet Formulation. *J Chem* **2024**, , doi:10.1155/2024/7840644.
- (57) Ferreira, S.R. dos S.; Mesquita, M.V.N.; Sá, L.L.F. de; Nogueira, N.C.; Rizzo, M. dos S.; Silva-Filho, E.C.; Costa, M.P. da; Ribeiro, A.B. Sustainable Natural Gums for Industrial Application: Physicochemical and Texturometric Evaluation. *J Drug Deliv Sci Technol* **2019**, , doi:10.1016/j.jddst.2019.101306.

- (58) Araújo, C.M.; das Virgens Santana, M.; do Nascimento Cavalcante, A.; Nunes, L.C.C.; Bertolino, L.C.; de Sousa Brito, C.A.R.; Barreto, H.M.; Eiras, C. Cashew-Gum-Based Silver Nanoparticles and Palygorskite as Green Nanocomposites for Antibacterial Applications. *Materials Science and Engineering C* **2020**, , doi:10.1016/j.msec.2020.110927.
- (59) Meera, K.; Arun, K.; Ramesan, M.T. Nanochitosan Reinforced Polyvinyl Alcohol/Cashew Gum Bio-Blend Nanocomposites: Promising Materials for Future Frontiers. *J Polym Environ* **2023**, , 4487–4505, doi:10.1007/s10924-023-02909-8.
- (60) Martins, C.S.; Morgado, D.L.; Assi, O.B.G. Cashew Gum-Chitosan Blended Films: Spectral, Mechanical and Surface Wetting Evaluations. *Macromol Res* **2016**, , 691–697, doi:10.1007/s13233-016-4103-8.
- (61) Oliveira, M.A.; Gonzaga, M.L.C.; Bastos, M.S.R.; Magalhães, H.C.R.; Benevides, S.D.; Furtado, R.F.; Zambelli, R.A.; Garruti, D.S. Packaging with Cashew Gum/Gelatin/Essential Oil for Bread: Release Potential of the Citral. *Food Packag Shelf Life* **2020**, , doi:10.1016/j.fpsl.2019.100431.
- (62) Maciel, J.S.; Azevedo, S.; Correia, C.R.; Costa, A.M.S.; Costa, R.R.; Magalhães, F.A.; de Sousa Monteiro, A.A.; Costa, J.F.G.; de Paula, R.C.M.; Feitosa, J.P.A.; et al. Oxidized Cashew Gum Scaffolds for Tissue Engineering. *Macromol Mater Eng* **2019**, , doi:10.1002/mame.201800574.