

# Bioplásticos Comestíveis Ativos: Prospecção Tecnológica e Estado da Arte

## *Edible Active Bioplastics: Technological Prospecting and State of the Art*

Sandy Chaves da Silva,<sup>a</sup>  Milenna Milhomem Sena,<sup>b</sup> Grace Ferreira Ghesti<sup>a,\*</sup> 

<sup>a</sup>Universidade de Brasília, Instituto de Química, Laboratório de Bioprocessos Cervejeiros e Catálise em Energias Renováveis (LaBCCERva), CEP 70910-900, Brasília-DF, Brasil

<sup>b</sup>Instituto Federal Brasília, Campus Samambaia, Subcentro Leste, Samambaia Sul, CEP 72320-328, Brasília-DF, Brasil

\*E-mail: [grace@unb.br](mailto:grace@unb.br)

Recebido: 15 de Março de 2024

Aceito: 22 de Julho de 2024

Publicado online: 29 de Julho 2024

The article addresses the search for sustainable alternatives to fossil fuel-derived plastic, highlighting the potential of active edible bioplastics, derived from renewable sources, in the food and packaging sectors. The analysis utilizes the Methodi Ordinatio to evaluate the relevance of studies, identifying the most used biopolymers, such as chitosan and starch, and the most explored essential oils, such as oregano and clove. The systematic review emphasizes the importance of these materials in reducing environmental impact and extending the shelf life of food. Additionally, technological prospecting reveals the advancement of countries such as China, India, Canada, the USA, and Brazil in research and innovations in this area. However, innovative strategies are needed to make active edible bioplastics more competitive compared to conventional plastic. These findings provide valuable insights into the most promising inputs for the production of these materials and highlight the importance of sustainability in the packaging and food industry.

**Keywords:** Edible active bioplastic; technological prospecting; state of the art; methodi ordinatio.

## 1. Introdução

A crescente demanda por bens de consumo e a expansão populacional têm impulsionado o desenvolvimento tecnológico e industrial, resultando em uma produção cada vez mais substancial de bens de consumo e o setor produtivo concentra seus esforços em satisfazer as crescentes necessidades de uma população em constante expansão e cada vez mais exigente.<sup>1</sup>

Evidencia-se um notório e acelerado crescimento da população, com um aumento de 121% apenas no período compreendido entre 1970 e a última década. Essas inovações impulsionaram as empresas a ampliar sua produção, resultando em um agravamento da escassez de recursos. De acordo com dados do World Wildlife Fund-WWF,<sup>2</sup> nos últimos 50 anos, a biodiversidade global experimentou uma redução de 69%, com um aumento ainda mais significativo de 94% nos países da América Latina. Esse declínio está fortemente relacionado com a exploração excessiva dos recursos naturais e sua má gestão. Para isso, é crucial adotar novas abordagens na produção, consumo e gestão de resíduos na cadeia produtiva. De acordo com Abdalla e Sampaio,<sup>3</sup> a Economia Circular busca a internalização de soluções eficazes na indústria, promovendo o envolvimento de indivíduos, governos e a implementação de políticas públicas, comportamento em pesquisa e sensibilização da necessidade de uma mudança significativa no social em relação ao consumo de bens. Isso contrasta com o sistema predominante da Economia Linear, que segue o paradigma de “extrair-produzir-descartar”.

A produção anual de plástico é substancial, gerando mais de 400 milhões de toneladas de resíduos anualmente, e essa quantidade aumenta a uma taxa anual de 4%, a perspectiva é que esse valor quadruplique até 2050.<sup>4-5</sup> De acordo com a Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD),<sup>6</sup> desde 1950, já foram gerados aproximadamente 6,3 bilhões de toneladas de resíduos plásticos, com uma expectativa de aumento quádruplo até 2050. Diante desse cenário, torna-se evidente que o modelo tradicional, baseado na extração de matérias-primas, produção, uso e eliminação, não é mais viável no século XXI. Apesar da predominância de plásticos derivados de recursos fósseis, que podem levar mais de um século para se decompor, os bioplásticos oferecem uma alternativa viável ao setor de embalagens, uma vez que esses são obtidos a partir de compostos de biomassas.<sup>4-7</sup>

Esse crescimento desenfreado tem levado a uma grave escassez de recursos naturais, evidenciada pelo declínio alarmante da biodiversidade global. Nesse contexto, a transição para a Economia Circular também enfatiza a estabilidade da economia local, a geração de novos empregos e a mitigação dos impactos ambientais decorrentes do uso excessivo de recursos e

descarte inadequado, tornando-a muito mais ampla, uma vez que alarga a cadeia produtiva, incluindo todo o ciclo de vida do produto, ou seja, do berço ao túmulo. Essa nova visão inclui o reuso, reaproveitamento, novas rotas de produção, desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias, dando assim um novo ciclo aos resíduos.<sup>8</sup>

Dessa forma, empresas dedicadas à produção de bens e serviços estão progressivamente incorporando medidas sustentáveis em suas estratégias empresariais e na administração de suas operações. Profissionais do setor visualizam a Economia Circular como uma abordagem destinada a reconfigurar os procedimentos de produção, visando a estimular transformações industriais regenerativas que culminarão na consecução de práticas de produção e consumo sustentáveis, além de contribuir para o fomento de crescimento econômico de natureza, com a mudança de paradigma econômico contribuindo para uma economia ecologicamente responsável.<sup>8-9</sup>

A produção global de bioplásticos, ou polímeros de base biológica, que se refere a material derivado de biomassa, atualmente é de cerca de 2 milhões de toneladas, e em comparação com a produção de plásticos derivados de fontes fósseis, esse valor não chega a 1% das toneladas do total de plástico produzido globalmente.<sup>10</sup>

A categorização dos bioplásticos abrange critérios como origem dos monômeros, proteção do polímero de biomassa, biodegradabilidade e produção por processos biológicos. Os bioplásticos de base biológica, obtidos de fontes renováveis, surgem como alternativas promissórias, mantendo propriedades benéficas dos plásticos petroquímicos.<sup>11</sup> É importante destacar que a definição de “bioplástico” é ampla e, portanto, pode englobar plásticos protetores e não degradáveis produzidos a partir de fontes biológicas, bem como plásticos biodegradáveis de base biológica ou petroquímica, ilustradas na Figura 1. No contexto específico dos bioplásticos comestíveis, esses materiais inovadores respondem às crescentes demandas dos consumidores por produtos alimentares cultivados sem o uso de defensivos agrícolas, preservando a qualidade e segurança dos alimentos durante o transporte e prolongando a vida útil dos produtos.<sup>12-13</sup>

Os bioplásticos constituem uma categoria diversificada

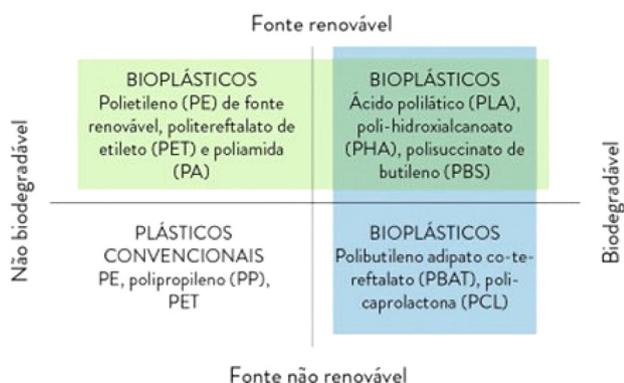


Figura 1. Diferença entre plásticos e bioplásticos<sup>14</sup>

de materiais, indo além de uma única substância e representam uma família de compostos com distintas propriedades e aplicações. Segundo a European Bioplastics, um material plástico é classificado como bioplástico quando possui base biológica, é biodegradável, ou apresenta ambas as características. No caso de ser de base biológica, o termo implica que o material ou produto é, pelo menos parcialmente, derivado de biomassa, como milho e cana-de-açúcar. A biomassa utilizada na produção de bioplásticos provém de fontes vegetais. A biodegradação, por sua vez, é um processo químico no qual microrganismos presentes no ambiente convertem o material em biomassa, dióxido de carbono e água, sem a necessidade de aditivos artificiais. Vale ressaltar que a eficácia desse processo está sujeita às condições ambientais, como localização e temperatura, além das características específicas do material e sua aplicação.<sup>14</sup>

É crucial destacar que o termo ‘de base biológica’ não deve ser confundido com ‘biodegradável’. A propriedade de biodegradação não está estritamente ligada à origem do material, mas sim à sua estrutura química. Em outras palavras, plásticos totalmente derivados de biomassa podem não ser biodegradáveis, ao passo que plásticos totalmente fósseis podem apresentar essa propriedade. Assim, a biodegradabilidade não é determinada pela base do material, mas sim por sua composição química específica.<sup>14</sup>

Um bioplástico comestível ativo é uma película fina feita de material comestível, projetada não apenas para proteger os alimentos, mas também para ser consumida junto com eles. A distinção principal é que sua composição contém compostos que proporcionam propriedades antioxidantes e antibacterianas, frequentemente incorporados por meio da adição de óleos e extratos vegetais. Em resumo, esses filmes representam estruturas autônomas pré-fabricadas, aplicadas posteriormente aos alimentos, ao passo que os revestimentos comestíveis são formados diretamente na superfície dos alimentos.<sup>15-16</sup>

No entanto, apesar das vantagens dos bioplásticos, existem desafios a serem superados, incluindo a necessidade de garantir a qualidade dos óleos essenciais utilizados na produção desses materiais e a importância de investimentos governamentais para impulsionar a pesquisa e inovação nesse campo. Portanto, é fundamental avançar em direção a uma Economia Circular, adotando práticas mais sustentáveis na produção e consumo de plásticos, a fim de garantir um futuro mais sustentável para as gerações futuras.

O objetivo deste artigo foi realizar uma prospecção tecnológica associada a uma análise minuciosa de artigos científicos sobre bioplásticos comestíveis ativos como uma possível solução para substituir os plásticos convencionais em aplicações de revestimento alimentar. Essas abordagens proporcionam uma visão abrangente do desenvolvimento tecnológico, capacitando os pesquisadores a mapear informações de forma sistemática e impulsionar o progresso com impactos positivos na sociedade, indústria e comércio. Esses estudos representam ferramentas cruciais para um planejamento estratégico eficaz, fornecendo dados

claros para embasar a tomada de decisão relacionada ao futuro das pesquisas, considerando nuances e explorando possibilidades de alcançar os resultados desejados.<sup>17</sup>

Em suma, a complexidade das questões associadas aos plásticos convencionais, a crescente necessidade de alternativas sustentáveis, os avanços na inovação de bioplásticos comestíveis ativos, a relevância estratégica do Brasil na busca pela sustentabilidade e os desafios enfrentados pela indústria alimentar em termos de preservação de alimentos são temas interconectados que demandam uma abordagem coordenada e abrangente. Esses elementos delineiam o cenário para discussões subsequentes sobre as implicações e perspectivas dessas soluções no contexto atual.

## 2. Metodologia

Uma pesquisa de artigos científicos foi conduzida na base de dados *Web of Science* em outubro de 2023, utilizando o campo de pesquisa “Tema”. Os termos pesquisados foram (Development OR Synthesis OR Characterization OR Production) AND (Biofilm\* OR Edible Bioplastic\* OR Edible Film\* OR Edible Biofilm\* OR Edible Coating\* OR Edible Biocomposite OR Edible Composite) AND (Essential oil\*). Essa abordagem de busca foi aplicada para filtrar os artigos que continham esses termos em títulos, resumos e palavras-chave. A análise dos dados, utilizando o *Methodi Ordinatio*, incluiu uma contagem anual de artigos publicados, identificação dos países e instituições mais proeminentes, áreas de pesquisa abordadas, palavras-chave mais utilizadas, e os principais autores e coautores. O software *VOSviewer* foi utilizado para criar mapas e visualizar os dados tratados.

No que diz respeito à busca por patentes, a abordagem adotada foi a pesquisa de depósitos, utilizando a base de dados *Orbit Intelligence* em fevereiro de 2024 e no *INPI*. Foram empregados os termos ((Biofilm OR Edible Biofilm OR Edible Bioplastic OR Edible Film OR Edible Coating OR Edible Biocomposite OR Edible Composite) AND (Essential Oil)). A restrição foi que essas palavras-chave deveriam estar presentes nos resumos das patentes. A análise

dos dados incluiu a quantificação dos depósitos de patentes de 2013 a 2022, a identificação dos países e instituições líderes em depósitos, e a avaliação do domínio tecnológico predominante. Além disso, proceda à análise dos códigos mais frequentes, seguindo a *Classificação Internacional de Patentes (CIP)*. O software *OriginLab* foi utilizado para gerar as figuras.

## 3. Resultados e Discussões

A base de dados escolhida para prospecção de artigos deste trabalho foi a *Web of Science*, abrangendo mais de 31.000 periódicos em nível global. Empregou-se combinações de termos em inglês como palavras-chave, juntamente com os conectivos booleanos “OR” (ou) e “AND” (e). Os resultados dessa pesquisa encontram-se documentados na Tabela 1.

A primeira busca restringiu-se às aplicações de bioplásticos comestíveis, sem delimitar o tipo de matriz polimérica, ou se havia algum composto ativo integrado ao bioplástico, com isso, o objetivo foi conhecer a abrangência desse setor. Na segunda pesquisa foi adicionado a palavra-chave “Oil Essential” (óleo essencial), delimitando os resultados de acordo com o tema deste trabalho, assim, foi possível analisar a inovação dos biopolímeros comestíveis incorporados com agentes antioxidantes e antibacterianos, ou seja, bioplásticos comestíveis ativos. Com o acréscimo da palavra-chave os resultados encontrados caíram para um pouco mais de 1.000 periódicos, e todos foram analisados.

Para o cálculo de *InOrdinatio* foi utilizado alfa ( $\alpha$ ) no valor 10, o que indica o período de publicação dos periódicos a serem analisados. Ressalta-se que a partir do *Methodi Ordinatio* os artigos com o indicativo negativo não foram considerados no portfólio. Após aplicação do cálculo houve a leitura sistemática dos artigos possibilitando o alinhamento deles com o tema deste trabalho, totalizando 300 periódicos selecionados, representados na terceira busca, que foram classificados em escala de relevância. Esses artigos por sua vez foram utilizados como base para a arguição deste estudo da arte.

**Tabela 1.** Pesquisa de artigos utilizando o *Web of Science* com as palavras-chave selecionadas

Nº da busca	Palavra-chave	Operador	Palavra-chave	Resultado
1	“Development” OR “Synthesis” OR “Characterization” OR “Production” AND “Biofilm*” OR “edible Bioplastic*” OR “Edible Film*” OR “Edible Biofilm*” OR “Edible Coating*” OR “Edible Biocomposite” OR “Edible Composite”	-	-	31.104
2	“Development” OR “Synthesis” OR “Characterization” OR “Production” AND “Biofilm*” OR “edible Bioplastic*” OR “Edible Film*” OR “Edible Biofilm*” OR “Edible Coating*” OR “Edible Biocomposite” OR “Edible Composite”	AND	“Essential Oil*”	1.205
3	“Development” OR “Synthesis” OR “Characterization” OR “Production” AND “Biofilm*” OR “edible Bioplastic*” OR “Edible Film*” OR “Edible Biofilm*” OR “Edible Coating*” OR “Edible Biocomposite” OR “Edible Composite” AND “Essential Oil*”	-	-	300

Com os resultados obtidos é possível observar um notável aumento do interesse na pesquisa de bioplásticos, um campo que tem experimentado um crescimento substancial, como claramente demonstrado pelo expressivo aumento na quantidade de publicações, conforme ilustrado na Figura 2a. Além disso, a Figura 2b nos proporciona uma visão sobre a contribuição de diferentes países nesse campo em constante expansão. A China e a Índia se destacam como líderes na quantidade de publicações, seguidas pelo Irã, Brasil e Estados Unidos.

A produção plástica chinesa representa aproximadamente 25% da projeção global de plástico. A partir de 2015, a massa total de resíduos plásticos reciclados na China ultrapassou 50% da reciclagem global de resíduos plásticos. Entre 2007 e 2016, o governo chinês implementou uma série de alterações nas políticas e regulamentações relevantes em apoio ao desenvolvimento das indústrias chinesas de reciclagem de plástico. Nos últimos dez anos, as políticas de economia circular na China têm sido aplicadas em diversas escalas, incluindo micro (processos individuais ou empresas), meso (clusters industriais ou parques ecoindustriais) e macro (abrangendo desde cidades até economias nacionais), o que justifica sua grande participação nas pesquisas que envolvem a produção e utilização de bioplásticos.<sup>18</sup>

O Brasil, como um país rico em recursos naturais, desempenha um papel significativo nesse cenário. Até o ano de 2022, já havia contribuído com cerca de 140 periódicos na área de bioplásticos, mostrando seu contínuo envolvimento e contribuição ativa nas pesquisas relacionadas a esse tema. Esta pesquisa não apenas alinha o Brasil com as tendências globais em busca de alternativas sustentáveis aos materiais poliméricos convencionais, mas também fortalece seu papel na inovação e na promoção da sustentabilidade. Isso é particularmente relevante considerando que o Brasil se destaca na produção mundial de óleos essenciais.<sup>19</sup>

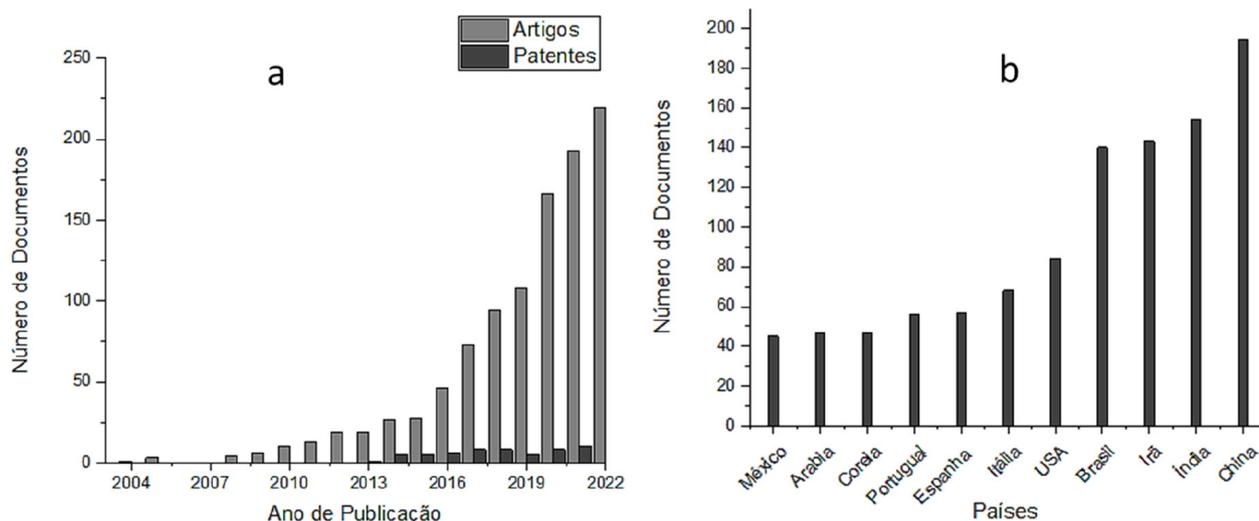
Os óleos essenciais têm emergido como ingredientes promissores em embalagens biodegradáveis para alimentos, devido à sua origem natural e às suas propriedades

funcionais, como antioxidantes e antimicrobianas. Esses compostos possibilitam a formulação de materiais ativos visando prolongar a vida útil dos alimentos, conferindo-lhes maior valor agregado. Entretanto, sua incorporação em filmes comestíveis ou biodegradáveis para embalagens de alimentos pode impactar diversas propriedades do sistema, como transparência e resistência à tração, podendo influenciar na aceitação pelo consumidor. A adição de óleo essencial altera a estrutura da matriz polimérica, acarretando mudanças físicas que variam conforme as interações específicas entre os componentes do polímero e do óleo. Geralmente, a presença do óleo enfraquece a estrutura do filme, mas melhora suas propriedades de barreira à água, enquanto reduz sua transparência. Esses óleos podem conferir propriedades antioxidantes e/ou antimicrobianas aos filmes, cuja eficácia depende da composição do óleo e das interações com o polímero.<sup>20</sup>

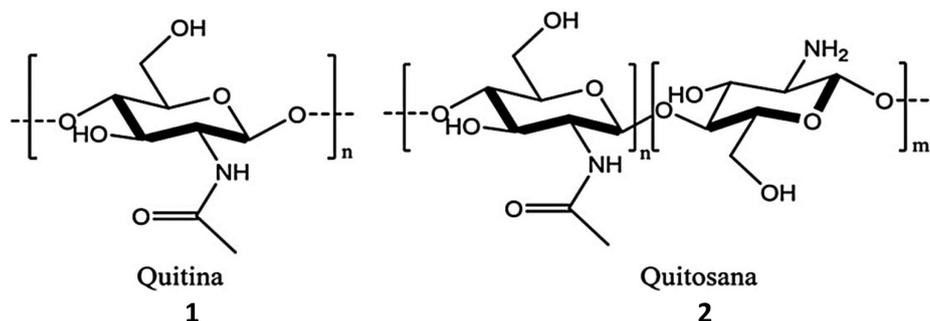
Por outro lado, no contexto brasileiro, a utilização de óleos essenciais em bioplásticos apresenta desafios significativos. A manutenção do padrão de qualidade desses óleos, a falta de representatividade nacional e os baixos investimentos governamentais no setor são questões críticas a serem superadas.<sup>19</sup> Superar esses obstáculos é fundamental para que o Brasil possa explorar plenamente seu potencial no desenvolvimento de bioplásticos e óleos essenciais, aproveitando sua vasta riqueza em recursos naturais. Além disso, é imperativo avançar em pesquisa e inovação para fortalecer a posição do país na vanguarda da sustentabilidade global.

Para avaliar a evolução das pesquisas no contexto da utilização de biopolímeros na produção de bioplásticos comestíveis ativos, juntamente com o emprego dos óleos essenciais, conduziu-se uma análise dentro dos 300 artigos selecionados para este estudo. Após as análises dos periódicos observou-se que a quitosana e o amido são os polissacarídeos mais utilizados nas formulações dos bioplásticos comestíveis, ilustrado na Figura 5a.

A quitosana é um polissacarídeo biocompatível,

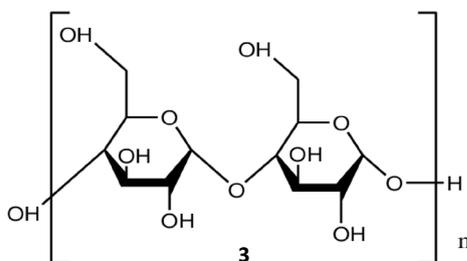


**Figura 2.** (a) Número de patentes (preto) e artigos científicos (cinza) publicados por ano de 2002 a 2022; (b) artigos publicados por país


 Figura 3. Estrutura molecular da quitina e quitosana<sup>23</sup>

antimicrobiano e atóxico, classificado como um polieletrólito. A produção anual de quitina, que é a forma acetilada da quitosana (poli-beta-(1-4)-N-acetil-D-glucosamina), observado na Figura 3, foi estimada em 105 milhões de toneladas.<sup>21</sup> As quitosanas destacam-se como polímeros promissores para diversas aplicações, incluindo biotecnologia, devido às suas propriedades de baixa toxicidade e biodegradabilidade.<sup>22</sup>

Por outro lado, o amido, estrutura observada na Figura 4, segundo biopolímero mais abundante no mundo após a celulose, tem sido amplamente estudado devido à sua ampla disponibilidade como matéria-prima. Os estudos se concentraram na caracterização das propriedades funcionais dos filmes de amido, explorando diversas possibilidades de alterações químicas, físicas ou genéticas. A capacidade destacada de geleificação do amido, especialmente


 Figura 4. Estrutura molecular do amido<sup>25</sup>

crucial nas indústrias de alimentos e fármacos, refere-se à transformação irreversível do amido granular em uma pasta viscoelástica.<sup>24</sup>

Diversos tipos de amido são empregados na composição da matriz dos bioplásticos comestíveis, provenientes de uma variedade de fontes. Por exemplo, Prabowo *et al.*,<sup>26</sup> utilizaram amido de semente de durian, enquanto Gomez-Cantreras *et al.*,<sup>27</sup> optaram pelo amido de inhame. Outros estudos destacam o uso de amido de ervilha por Saberi *et al.*,<sup>28</sup> e amido de semente de jaca por Saturos *et al.*,<sup>29</sup>. Esses exemplos ilustram a versatilidade desse biopolímero, extraído de diferentes fontes, para ser empregado como matéria-prima no desenvolvimento de bioplásticos comestíveis.

Foi observada a utilização de combinações de dois ou mais biopolímeros na formulação dos bioplásticos comestíveis, demonstrando uma abordagem inovadora e multifacetada na busca por soluções sustentáveis. Por exemplo, Lin *et al.*,<sup>30</sup> desenvolveram um bioplástico contendo amido de mandioca e carboximetilcelulose sódica, com a incorporação de polifenóis de maçã. Da mesma forma, Nair e colaboradores,<sup>31</sup> utilizaram quitosana e alginato em conjunto com extrato da casca de romã para o revestimento de pimenta da espécie *Capsicum*.

Outros estudos destacam a combinação de gelatina e amido de milho em filmes contendo extrato de torta de noz

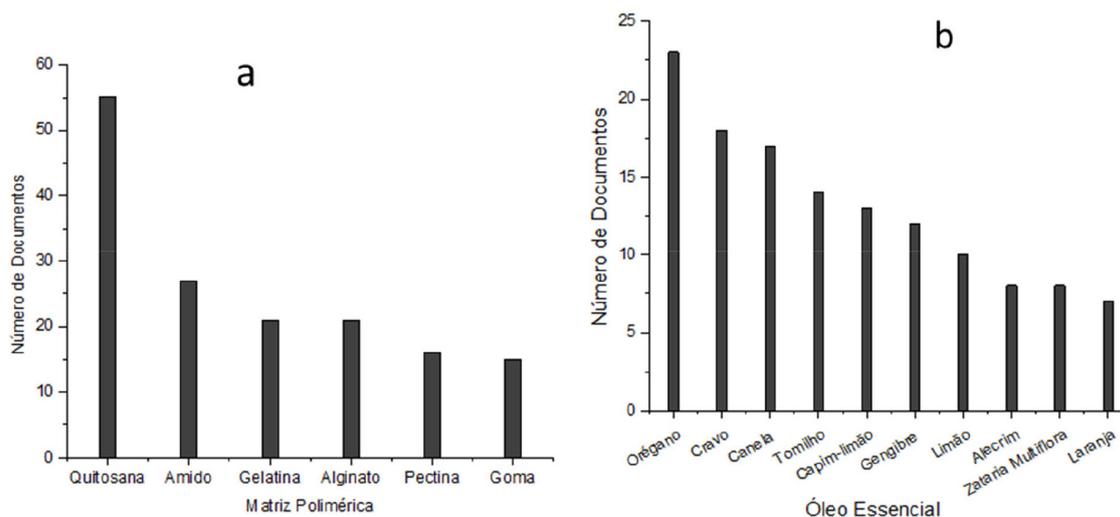


Figura 5. (a) Número de artigos publicados com diferentes matrizes poliméricas; (b) número de artigos publicados com diferentes óleos essenciais

pecã, conforme demonstrado por Alves *et al.*,<sup>32</sup>. Além disso, Jovanovic *et al.*,<sup>33</sup> empregaram pectina e gelatina juntamente com óleo essencial de capim-limão na formulação de biofilmes. Houve também relatos do uso combinado de quitosana e gelatina na elaboração de biofilmes. Por exemplo, Haghighi *et al.*,<sup>34</sup> enriqueceram esses biopolímeros com óleos essenciais de canela, citronela, cravo-rosa, noz-moscada e tomilho, por sua vez, Banilla *et al.*,<sup>35</sup> optaram por agregar extrato de Boldo à mesma base polimérica, resultando em um filme aplicado como revestimento para queijo do tipo Prato fatiado.

Essas pesquisas evidenciam a ampla gama de abordagens utilizadas na formulação de bioplásticos comestíveis, ressaltando sua viabilidade e versatilidade como alternativas aos plásticos convencionais. É importante destacar também a diversidade de óleos essenciais disponíveis no mercado, que oferecem uma vasta gama de possibilidades para a composição de revestimentos comestíveis. Além disso, é notável que um mesmo produto pode conter não apenas a combinação de diferentes biopolímeros, mas também incorporar diversos tipos de óleos essenciais em sua formulação. Tal prática é frequente quando se busca potencializar os efeitos ativos do material ou controlar o crescimento de microrganismos específicos.

Lundgren *et al.*,<sup>38</sup> empregaram um revestimento comestível ativo em bananas com o intuito de mitigar o desenvolvimento de antracnose, ocasionada por

patógenos distintos de *Colletotrichum musae*, durante o armazenamento da fruta em temperatura ambiente. Para este fim, o filme utilizado foi composto pelo óleo essencial proveniente de *Conyza bonariensis*, uma espécie de planta alimentícia não convencional pertencente ao gênero *Conyza*, da família Asteraceae. Esta planta é amplamente distribuída pelo território brasileiro e demonstra.

A Figura 5b apresenta uma representação dos diversos OE mais frequentemente utilizados pelos pesquisadores na elaboração de materiais ativos. Cada óleo essencial exibe atributos específicos, conferindo aos bioplásticos propriedades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, anti-inflamatórias ou uma combinação destas características. A incorporação de óleos essenciais neste contexto é de suma importância, ampliando as possibilidades de aplicação e permitindo a exploração de óleos essenciais não convencionais, potencializando as propriedades dessas matérias-primas.

O orégano (*Origanum vulgare* L.) apresenta-se como o OE mais utilizado pelos pesquisadores, sendo este uma planta condimentar pertencente à família Lamiaceae e nativa das regiões Euro-Siberiana e Irano-Siberiana, com ao menos 38 espécies do gênero *Origanum* espalhadas pelo mundo Aligiannis *et al.*<sup>39</sup> Por ser uma planta condimentar, é amplamente utilizada na culinária por conferir sabor e aroma aos alimentos. O gênero apresenta uma ampla variedade de composição química, sendo que os fenóis, como carvacrol

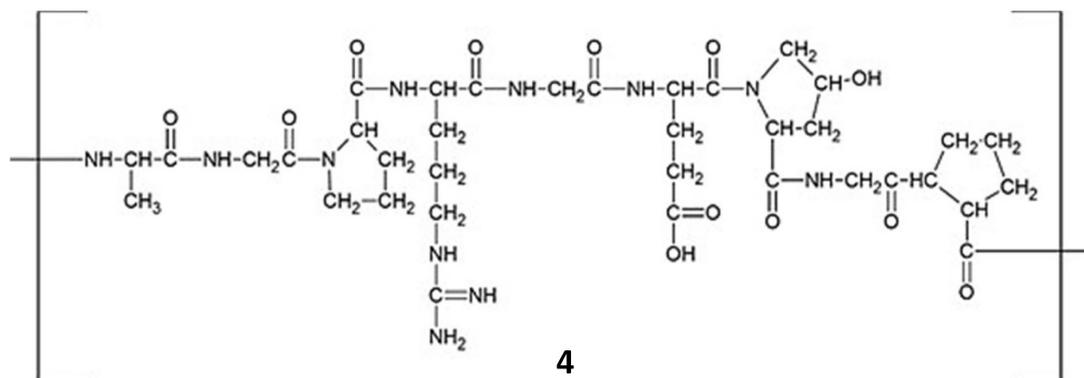


Figura 6. Estrutura molecular da gelatina (adaptado de SILVA *et al.*, 2022).<sup>36</sup>

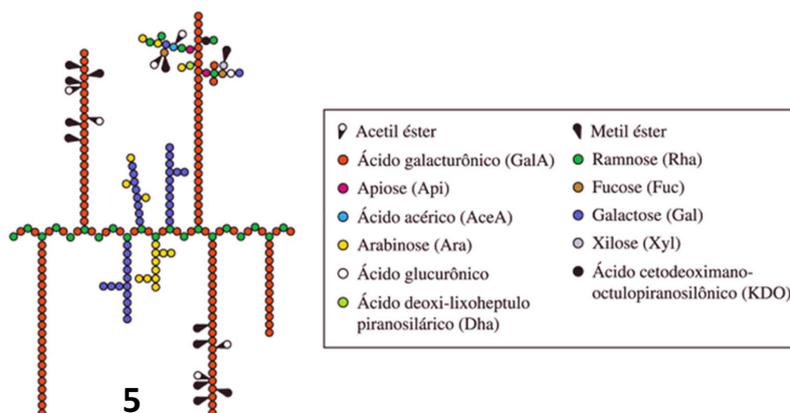


Figura 7. Estrutura molecular hipotética da pectina (adaptado de CANTERI *et al.*, 2012).<sup>37</sup>

e timol, são os mais abundantes, podendo alcançar entre 80,2 e 98% da composição total do OE, conferindo-lhes sua atividade antimicrobiana Reis *et al.*<sup>40</sup>

Choi *et al.*,<sup>41</sup> empregaram o óleo essencial de orégano (OEO) e bergamota na elaboração de revestimentos comestíveis destinados à aplicação em ameixas ‘Formosa’ frescas. Os efeitos do OEO em diferentes concentrações (1-6%) foram fabricados e avaliados por Hashemi *et al.*,<sup>42</sup> quanto à sua atividade antibacteriana frente a cepas de *E. coli*, *S. Typhimurium*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* e *B. cereus*, além de sua atividade antioxidante. Por outro lado, Aguilar-Sánchez *et al.*,<sup>43</sup> utilizaram o mesmo OE, porém em concentrações de 0, 1 e 2% v/v. A padronização da concentração do óleo essencial na formulação dos revestimentos ativos ainda não foi estabelecida, ficando a cargo de cada autor pesquisar nas bases de dados as concentrações ideais que atendam aos objetivos desejados. Dessa forma, é comum encontrar estudos utilizando os mesmos óleos essenciais em proporções diferentes, o que também resulta em diferentes propriedades dos materiais, levando a uma variedade de resultados para um mesmo OE em filmes com diferentes características.

Também é possível agregar aos bioplásticos características ativas usando óleos essenciais não tão convencionais, ou ainda aqueles que habitualmente eram utilizados para outros fins. Nguyen *et al.*,<sup>44</sup> utilizou o OE de Piper betle Linn, uma planta tradicional da família Piperaceae, amplamente distribuída na Índia, Indonésia, Malásia e outros países do Sudeste Asiático e da África Oriental. Os principais componentes do Piper betle Linn incluem uma complexa mistura de polifenóis, flavonoides, taninos e polissacarídeos. Compostos fitoquímicos como hidroxí-chavicol, 4-cromanol e eugenol são consistentemente encontrados nas folhas do betle da Índia, conferindo-lhes notáveis propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antibacterianas e antifúngicas. O OE do betle também é reconhecido como uma fonte promissora para a produção de medicamentos e produtos fitoterápicos, sendo também empregado como aditivo alimentar para preservar e estender a vida útil de frutas secas, especiarias e noz.

Outro parâmetro a ser considerado são as técnicas empregadas na formação dos bioplásticos. Na análise dos artigos selecionados, foi possível identificar algumas técnicas, como a de “*casting*”, emulsão, nanoemulsão e pulverização. A de “*casting*” por sua vez é a mais reconhecidas e utilizadas na elaboração de filmes biodegradáveis, onde, após o processo de gelatinização há a formação de uma solução aquosa, logo após secagem as moléculas se reorganizam, formando a matriz que origina o filme. Em outras palavras, a solução filmogênica é vertida sobre uma superfície lisa até que o material se solidifique e forme o filme. Devido à sua execução simplificada, essa técnica é a mais adotada pelos pesquisadores De Carvalho *et al.*<sup>45</sup>

A pulverização é um método que envolve a dispersão de uma substância líquida em partículas finas. No contexto dos bioplásticos, é viável utilizar a solução filmogênica

diretamente nos alimentos, pulverizando-os. Por exemplo, VU *et al.*,<sup>46</sup> empregaram esse método com filmes à base de tomilho vermelho, extrato de orégano e hortelã-pimenta para investigar o prolongamento da vida útil de morangos frescos.

Uma técnica adicional que tem ganhado crescente popularidade é a nanoemulsão. As nanoemulsões são sistemas caracterizados por gotículas com tamanho variando entre 20 e 300 nm, apresentando várias vantagens, como serem veículos eficientes para fármacos, alta estabilidade contra sedimentação e separação de fases, aumento da permeabilidade cutânea devido ao tamanho reduzido das gotículas, e maior área de contato com a superfície.<sup>47</sup> Dessa forma, o aprimoramento das propriedades desses filmes tem sido alvo de estudo por meio do reforço da matriz polimérica com nanopartículas, resultando em um material frequentemente denominado bionanocompósito ou nanocompósito. Tais nanopartículas despertam considerável interesse devido à sua capacidade de preencher a matriz polimérica, melhorando suas propriedades mecânicas, térmicas, de barreira, entre outras.<sup>48</sup> Miranda *et al.*,<sup>49</sup> empregaram essa abordagem para desenvolver revestimentos à base de emulsões de cera de carnaúba incorporadas com óleo essencial de gengibre e hidroxipropilmetilcelulose, visando melhorar a vida útil, reduzir a perda de peso, controlar a mudança de cor e retardar o amadurecimento do fruto do mamão.

Em suma, a aplicação de diversas técnicas na formação dos bioplásticos tem sido objeto de estudo devido à sua relevância na produção de filmes biodegradáveis e revestimentos ativos. Essas abordagens têm implicações importantes não apenas na conservação de alimentos, mas também em outras áreas, como a farmacêutica e cosmética. Para uma compreensão mais abrangente das aplicações e avanços nesse campo, é crucial explorar as diferentes áreas de pesquisa que se dedicam com maior ênfase a essa nova tecnologia.

Na análise dos artigos, é viável classificá-los em diferentes áreas para uma compreensão mais aprofundada dos setores que se dedicam com maior ênfase a essa nova tecnologia. Observou-se que os trabalhos abarcam principalmente as áreas de Tecnologia de Ciência de Alimentos, Química e Ciência de Polímeros, sendo importante destacar que essa categorização é intrínseca à própria estrutura da Web of Science. Para fazer essa classificação à base de dados considera a revista em que os trabalhos foram submetidos, e divide assim suas categorias.

Um aspecto adicional a ser considerado é o conjunto de palavras-chave empregadas nos artigos, visto que essas expressões são selecionadas pelos autores e refletem a essência do trabalho, sendo capazes de revelar os temas ou propostas mais recorrentes entre os estudos analisados. A partir dessa análise, é possível identificar as palavras-chave mais frequentes, como “Edible films” (filmes comestíveis), “Shelf-life” (vida útil), “Antimicrobial properties” (propriedades antimicrobianas), “Antioxidante” (antioxidantes), “Essential oil” (óleo essencial), entre

outras, conforme evidenciado na Figura 8. A elaboração dessa nuvem de palavras foi realizada por meio do software VOSviewer, aplicou-se um filtro de, no mínimo, 10 palavras-chave por documento para destacar os termos mais prevalentes entre os artigos. Essas observações indicam que as pesquisas nesse domínio estão concentradas no desenvolvimento de revestimentos comestíveis que possuam propriedades antioxidantes e antimicrobianas, visando principalmente prolongar a durabilidade dos produtos alimentícios tratados com esses filmes. Esses objetivos alinham-se com os propósitos deste estudo e espelham a tendência atual na pesquisa do campo em questão.

Além disso, a análise das palavras-chave revela não apenas os temas mais recorrentes, mas também proporciona insights sobre as áreas de interesse predominantes na comunidade científica. É interessante observar que o foco em propriedades antioxidantes e antimicrobianas reflete não apenas as demandas atuais da indústria alimentícia, mas também o crescente interesse da sociedade por alimentos mais saudáveis e seguros. A busca por soluções inovadoras para prolongar a vida útil dos alimentos tem impulsionado a pesquisa nesse campo, levando a uma ampla gama de estudos que exploram diferentes abordagens, desde a utilização de óleos essenciais até a incorporação de nanopartículas em filmes comestíveis.

Para examinar as patentes relacionadas à pesquisa deste estudo, uma busca foi conduzida usando os termos listados na Tabela 2. Os termos em inglês foram escolhidos para identificar patentes ou famílias de patentes focadas no desenvolvimento de bioplásticos comestíveis incorporando óleos essenciais de diversas naturezas, abrangendo um período de 10 anos (2013-2022). Após uma avaliação detalhada de todas as patentes, 156 famílias foram identificadas. Em seguida, foram selecionadas as 40 famílias que apresentaram maior profundidade com os objetivos deste estudo. As patentes excluídas da análise foram aquelas

que não se alinhavam com o tema da busca, em função da sua aplicação ou da matéria prima utilizada.

Uma família de patentes compreende várias patentes registradas em diferentes países para proteger uma mesma invenção. Uma característica fundamental de uma família de patentes é que o direito de prioridade do primeiro depósito se estende a todas as outras patentes depositadas em diversos países.

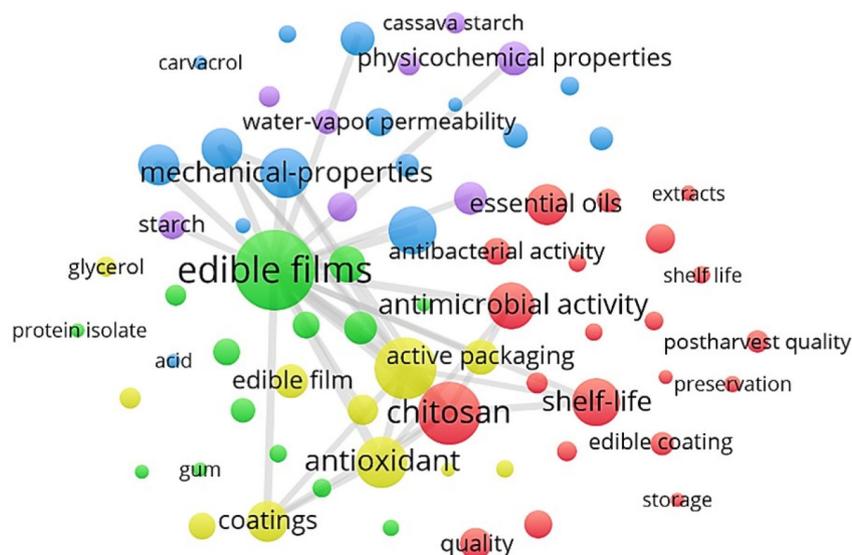
**Tabela 2.** Pesquisa das famílias de patentes no Orbit com as palavras-chave

Pesquisa	Nº documentos
Biofilm* OR Edible Biofilm* OR Edible Bioplastic* Edible Film OR Edible Coating* OR Edible Biocomposite* OR Edible Composite* AND Essential Oil* AND Eapd=2013-01-01:2022-12-31	156
Após alinhamento	40

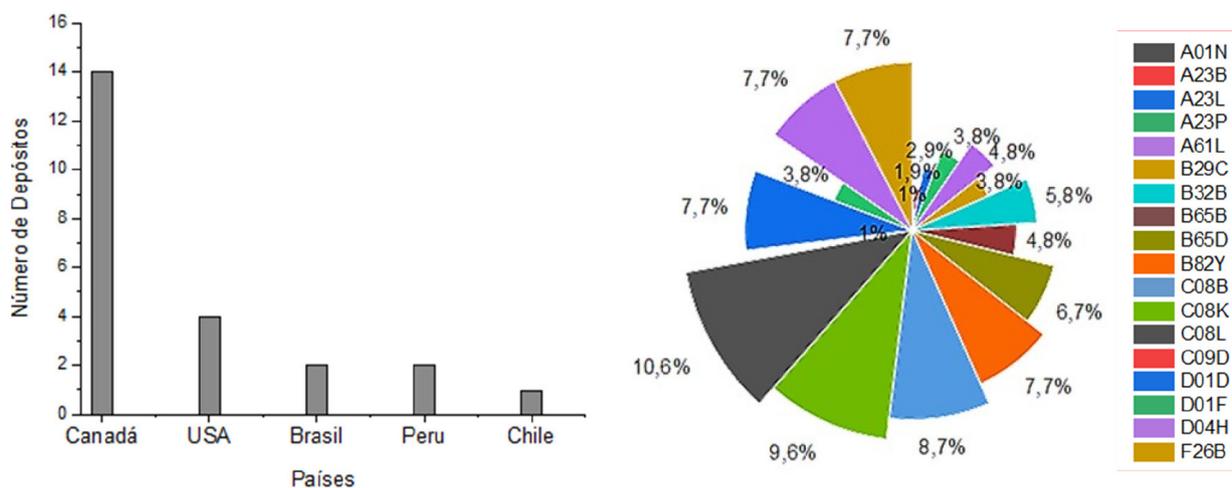
É possível observar os países onde essas famílias de patentes estão depositadas. Na Figura 9a, observa-se que no Canadá é onde detém maior número desses depósitos, seguidos dos Estados Unidos e do Brasil.

Nos últimos anos o governo do canadense mudou as regras para o depósito das patentes, as mudanças visam incentivar o depósito de pedidos de patente de alta qualidade, tornando o processo mais rápido e eficiente. Essas mudanças podem ter corroborado para um aumento de depósitos no país.<sup>50</sup>

Além disso, realizou-se uma análise abrangente das áreas em que as famílias de patentes estão distribuídas, com o objetivo de avaliar sua efetiva contribuição para as tecnologias relacionadas aos bioplásticos comestíveis incorporados com óleos essenciais, oferecendo assim uma visão detalhada dessas tecnologias. Para conduzir essa análise, utilizou-se a Classificação Internacional de Patentes (CIP) para determinar a área tecnológica a que os documentos estão associados, conforme ilustrado na Figura 9b.



**Figura 8.** Análise das palavras-chaves dos artigos publicados



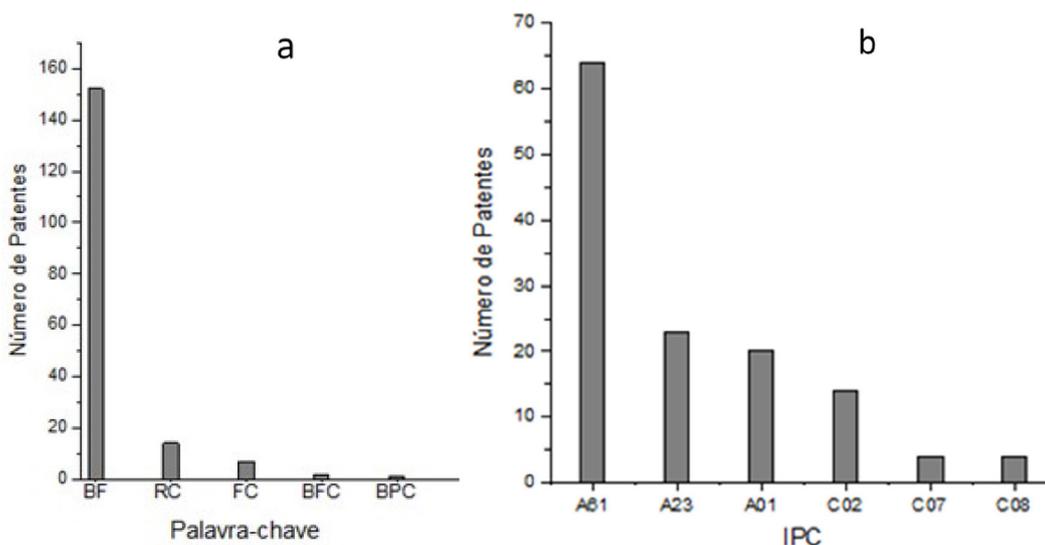
**Figura 9.** (a) Número de famílias de patentes registradas nos últimos 10 anos por países; (b) Classes de patentes

Observa-se que as áreas mais representativas em termos de quantidade de patentes estão divididas em classes específicas. A classe C08, que engloba Compostos Macromoleculares Orgânicos, lidera com 28,9% das patentes, seguida pela classe A23, relacionada a Alimentos ou Produtos Alimentícios e seu Tratamento, que compreende 13,4% do total. A classe B65, referente a Transporte, Embalagem, Armazenamento e Manipulação de Material Delgado ou Filamento, representa 11,5% das patentes, enquanto a classe B32, envolvendo Produtos em Camadas, segue com 5,8%. Detalhes adicionais sobre as principais classes e subclasses dessa distribuição podem ser identificados nas classes A01 e C09, conforme especificado na Tabela 3, que delinea as categorias determinadas pela CIP disponibilizada pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO - World Intellectual Property Organization).

Para uma análise mais detalhada das patentes, foi realizada uma busca adicional no Instituto Nacional da

Propriedade Industrial (INPI) em fevereiro de 2024. Fundado em 1970, o INPI é uma autarquia federal subordinada ao Ministério da Economia, incumbida do desenvolvimento, disseminação e administração do sistema brasileiro de concessão e proteção de direitos de propriedade intelectual para o setor industrial. As palavras-chave listadas na Tabela 2 foram pesquisadas individualmente, em língua portuguesa, visando localizar as patentes registradas sob os termos investigados. O resultado dessa busca está representado na Figura 10a.

Durante a busca utilizando o termo “Biofilme”, foram identificados 152 registros de patentes. No entanto, é importante destacar que esses registros abrangem uma variedade de áreas, incluindo odontologia, farmácia, medicina e outros setores além do escopo específico deste estudo. Portanto, o termo “Biofilme” não se refere exclusivamente aos materiais abordados neste artigo. Por sua vez, ao pesquisar pelo termo “Revestimento Comestível”, foram encontradas 17 patentes, das quais três estão fora



**Figura 10.** (a) Número de patentes registradas no INPI por palavra-chave. BF: Biofilme; RC: Revestimento Comestível FC: Filme Comestível; BFC: Biofilme Comestível e BPC: Bioplástico Comestível; (b) Número de patentes registradas no INPI por classe

do escopo do presente estudo, resultando em 14 patentes relevantes para o tema em questão.

A inclusão do termo “Filme Comestível” na busca resultou em sete patentes identificadas no banco de dados do INPI. Por outro lado, os termos “Biofilme Comestível” e “Bióplástico Comestível” apresentaram resultados mais modestos, com uma e duas patentes encontradas, respectivamente. Nenhuma informação foi encontrada ao buscar pelos termos restantes listados na Tabela 2.

Durante a investigação conduzida no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), constatou-se que a classe mais preponderante de patentes é a A61, como evidenciado na Figura 10b. Esta categoria está associada à ciência médica ou veterinária, bem como à higiene. O volume substancial de patentes registradas sob esta classe pode estar correlacionado ao termo “Biofilme” empregado na pesquisa, abrangendo, conseqüentemente, diversas áreas do conhecimento. Em seguida, a segunda classe mais prevalente é a A23, que versa sobre Alimentos ou Produtos Alimentícios. É digno de nota que essa categoria também se destacou na busca conduzida na plataforma Orbit Intelligence, sugerindo uma concentração significativa de proteções no domínio alimentício. Adicionalmente, a classe A01 demonstra uma representatividade expressiva. Para uma análise mais minuciosa das classes mencionadas, favor consultar a Tabela 3.

A análise de patentes realizada tanto por meio da plataforma Orbit Intelligence quanto do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) evidência claramente a predominância dos trabalhos investigados no âmbito alimentar e de embalagens. Este achado ressalta que o novo método de preparação de revestimentos está intrinsecamente ligado à melhoria do armazenamento de alimentos, viabilizando até mesmo uma extensão no tempo de prateleira dos mesmos. Tais materiais inovadores representam um avanço significativo para a ciência e a tecnologia, ao oferecerem uma solução prática e eficaz para um problema tão premente quanto o desperdício alimentar.

A integração desses dois cenários representa uma abordagem mais sustentável, alinhada aos princípios da Economia Circular, uma vez que muitos dos trabalhos aqui analisados utilizavam biomassas como matéria prima. Esses revestimentos podem ser empregados tanto nas residências dos consumidores quanto no pós-colheita, minimizando as perdas durante o transporte, uma vez que os bioplásticos formam uma barreira física, química e biológica.

Além disso, a busca por soluções mais sustentáveis não se limita apenas ao aspecto ambiental, mas também engloba considerações econômicas e sociais. Os bioplásticos comestíveis ativos não apenas oferecem uma alternativa viável aos plásticos convencionais derivados de combustíveis fósseis, mas também representam uma oportunidade para

**Tabela 3.** Definição da classificação por CIP de acordo com o Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) das subseções encontradas na Figuras 9b e 10b

Classe	Descrição	Subclasse	Atribuição
A01	Agricultura; silvicultura; pecuária; caça; captura em armadilhas; pesca	N	Conservação de corpos de seres humanos ou animais ou plantas ou partes dos mesmos; biocidas
		B	Conservação
A23	Alimentos ou produtos alimentícios; tratamento dos mesmos, não abrangido por outras aulas	L	Alimentos, produtos alimentícios ou bebidas não alcoólicas; conservação de alimentos ou produtos alimentícios em geral
		P	Modelagem ou processamento de produtos alimentícios, não totalmente abrangidos por uma outra subclasse isolada
		C	Odontologia; aparelhos ou métodos para higiene oral ou higiene dental
A61	Ciência médica ou veterinária; higiene	K	Preparações para finalidades médicas, odontológicas ou de higiene pessoal
		B	Produtos em camadas, ou seja, produtos estruturados com camadas de forma plana ou não plana
B65	Transporte; embalagem; armazenamento; manipulação de material delgado ou filamentar	B	Máquinas, aparelhos ou dispositivos ou métodos de embalar artigos ou materiais de embalagem
		D	Recipientes para armazenamento ou transporte de artigos ou materiais
C07	Química orgânica	D	Preparação de compostos macromoleculares
		K	Peptídeos
C08	Compostos macromoleculares orgânicos; sua preparação ou seu processamento químico; composições baseadas nos mesmos	B	Polissacarídeos; seus derivados
		K	Uso de substâncias inorgânicas ou orgânicas não-macromoleculares
		L	Composições de compostos macromoleculares
C09	Corantes; tintas; polidores; resinas naturais; adesivos	D	Composições de revestimento

a criação de empregos e o estímulo à economia circular. A integração desses materiais na cadeia produtiva alimentar não apenas promove a redução do impacto ambiental, mas também impulsiona o desenvolvimento econômico local e fortalece a resiliência das comunidades.

Para concluir a investigação delineada neste estudo, elaborou-se uma tabela contendo informações extraídas dos 15 artigos mais relevantes, conforme determinado pelo método de InOrdinatio. É importante ressaltar que alguns artigos de revisão figuravam entre os primeiros na classificação de relevância, no entanto, para a compilação da tabela, considerou-se apenas os artigos que descreviam a preparação de revestimentos comestíveis. Os artigos selecionados foram submetidos a uma avaliação abrangente, levando em conta a matriz polimérica empregada, o componente ativo incorporado, a concentração deste componente, a técnica de aplicação utilizada e os objetivos finais do estudo, conforme Tabela 4.

É perceptível que os bioplásticos comestíveis ativos encontram sua principal aplicação na formação de filmes, os quais, uma vez produzidos, podem ser utilizados para revestir alimentos. Não há um padrão evidente na escolha da matriz polimérica e dos compostos ativos, nem mesmo em

relação à concentração desses componentes na composição dos materiais. Essa diversidade demonstra a versatilidade e a ampla gama de aplicações desses materiais, uma vez que cada composição resulta em um material com propriedades distintas, abrindo caminho para inúmeras possibilidades de desenvolvimento.

Nos últimos cinco anos, observa-se uma tendência crescente de aplicação dos bioplásticos comestíveis como revestimentos imediatamente após sua produção. Previamente, os pesquisadores se concentravam no desenvolvimento de soluções filmogênicas, caracterizando-as e destacando seus aspectos promissores. Entretanto, a análise do impacto desses materiais nos alimentos, quando utilizados como revestimentos, era limitada.

Essa abordagem evoluiu à medida que os pesquisadores começaram a aplicar esses revestimentos em diversos alimentos, como laranjas, investigadas por Nguyen.<sup>44</sup> Também foi proposto o revestimento de mangas, estudadas por Zhou,<sup>51</sup> e bananas, examinadas por Lundgren.<sup>38</sup> Essa mudança permitiu uma análise mais aprofundada dos benefícios que os revestimentos ativos podem proporcionar aos alimentos, bem como sua eficácia em prolongar efetivamente o tempo de vida útil dos mesmos.

**Tabela 4.** Artigos classificados como os mais relevantes no âmbito dos bioplásticos comestíveis ativos

Matriz	Composto Ativo	Concentração do Composto Ativo (%)	Técnica	Aplicação	Ano <sup>Ref</sup>
Caseinato de Sódio	Canela e Gengibre	0,025; 0,050; 0,075; 0,100	Emulsão	Filme	2010 <sup>52</sup>
Soja Solúvel	Zataria multiflora e Mentha pulegium	1; 2; 3	Emulsão	Filme	2013 <sup>53</sup>
Goma de Semente de Marmelo	Tomilho	0; 1; 1,5; 2	Emulsão	Filme	2014 <sup>54</sup>
Alginato de Sódio	Tomilho, Capim Limão e Sálvia	1	Nanoemulsão	Filme	2015 <sup>55</sup>
Poli(ácido láctico)	Bergamota, Capim Limão, Alecrim, Cravo	9	Casting	Filme	2017 <sup>56</sup>
Goma de Semente de Manjerição	Zataria multiflora	0; 1; 2; 3	Nanoemulsão	Filme	2017 <sup>57</sup>
Pectina	Cravo da Índia	0,2	Emulsão	Filme	2018 <sup>58</sup>
Quitosana-Gelatina	Canela, Citronela, Cravo Rosa, Noz Moscada e Tomilho	1	Casting	Filme	2019 <sup>34</sup>
Carboximetilcelulose e Grãos de kefir	Satureja Khuzestanica	0; 1; 1,5; 2	Casting	Filme	2019 <sup>59</sup>
Alginato de Sódio	Artemisia Herba-Alba e Manjerição	1	Emulsão	Filme	2020 <sup>60</sup>
Álcool Polivinílico/Goma Arábica/Quitosana	Pimenta do Reino e Gengibre	10; 15; 20; 25; 30; 40; 50	Moldagem	Filme	2020 <sup>61</sup>
Goma de Cordia	Salvia mirzayanii	1; 1,5; 2	Nanoemulsão	Filme	2021 <sup>62</sup>
Quitosana	Piper Betle Linn	0,4; 1; 1,2	Casting	Revest. em Laranja	2021 <sup>44</sup>
Carboximetilquitosana-pullulan	Galangal	8	Moldagem	Revest. em Manga	2021 <sup>51</sup>
Goma Arábica	Conyza bonariensis	0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1	Emulsão	Revest. em Banana	2022 <sup>38</sup>

## 4. Conclusões

Diante da vasta gama de estudos e análises apresentados ao longo deste artigo, fica evidente o crescente interesse e a importância dos bioplásticos comestíveis ativos incorporados com óleos essenciais como uma promissora alternativa para diversas aplicações na indústria alimentícia e biomédica. A partir das investigações realizadas, observa-se que a utilização desses materiais não só oferece soluções para questões como prolongamento da vida útil de alimentos frescos, redução de desperdício e preservação da qualidade dos produtos, mas também abre portas para novas possibilidades em termos de funcionalidades adicionais, como propriedades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias, logo perspectivas futuras para os bioplásticos comestíveis são promissoras.

As técnicas empregadas na formulação desses materiais, como a técnica de “casting”, pulverização e nanoemulsão, proporcionam uma ampla variedade de abordagens para sua produção, cada uma com suas vantagens e aplicabilidades específicas. Além disso, a análise pelo Methodi Ordinatio, como o uso de equações para ordenar a relevância científica dos estudos, e a análise de cocitação, para identificar os estudos mais pertinentes e suas relações, são ferramentas valiosas que contribuem para uma compreensão mais profunda e abrangente do estado atual da pesquisa nesse campo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem às diferentes agências que financiam as pesquisas (CNPq, FINEP, FINATEC, CAPES, FAPDF e DPI/UnB). Os autores agradecem também ao CNPq e CAPES pelas bolsas de pesquisa concedidas ao longo dos últimos anos.

## Referências

- Weetman, C.; *Economia Circular conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa*, 1a ed., Autêntica Business, 2019.
- Sítio da World Wildlife Fund, WWF. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/>>. Acesso em: 01 novembro 2023.
- Abdalla, F. A.; Sampaio, A. C. F.; Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. *Entorno Geográfico* **2028**, *15*, 82. [Link]
- Maraveas, C.; Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. *Polymers* **2020**, *12*, 1127. [Crossref]
- Karan, H.; Funk, C.; Grabert, M.; Oey, M.; Hankamer, B.; Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in Plant Science* **2019**, *24*, 237. [Crossref]
- Sítio da Organização para a Economia Cooperação e Desenvolvimento-OECD. Disponível em: <<https://www.oecd.org/brazil/>>. Acesso em: 08 março 2024.
- Rosenboom, J-G.; Langer, R.; Traverso, G.; Bioplastics for a circular economy. Bioplásticos para uma economia circular. *Nature Reviews Materials* **2022**, *7*, 117. [Crossref]
- Tiossi, F. M.; Simon, A. T.; Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade. *Brazilian Journal of Development* **2021**, *7*, 11912. [Crossref]
- Mohanty, A. K.; Misra, M; Drzal, L. T.; Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World. *Journal of Polymers and the Environment* **2002**, *10*, 19. [Crossref]
- europaebioplastics. Bioplastics market development update 2023. Disponível em: <https://www.europaebioplastics.org/market/>. Acesso em: 01 março 2024.
- Bishop, G.; Styles, D.; Lens, P. N. L.; Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resources, Conservation and Recycling* **2021**, *168*, 105451. [Crossref]
- xxxxx. Recursos, Conservação e Reciclagem v. 168, p. 105451, **2021**.
- Castro, L. E. N.; Meurer, F.; Colpini, L. M. S.; Estudo da aplicação de bagaço de malte como adsorvente para remoção de óleo lubrificante em meio aquoso. *Brazilian Journal of Development* **2021**, *7*, 120522. [Crossref]
- Ward, A. M.; Wyllie, G. R. A.; Bioplastics in the General Chemistry Laboratory: Building a Semester-Long Research Experience. *Journal of Chemical Education* **2019**, *4*, 668. [Crossref]
- europaebioplastic. What are bioplastics? Disponível em: <https://www.europaebioplastics.org/bioplastics/>. Acesso em: 01 março 2024.
- Otoni, C. G.; Avena-Bustillos, R. J.; Azeredo, H. M. C.; Lorevice, M. V.; Moura, M. R.; Mattoso, L. H. C.; McHugh, T. H.; Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables - A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **2017**, *16*, 1151. [Crossref]
- Galus, S.; Kibar, E. A. A.; Gniewosz, M.; Kraśniewska, K.; Novel Materials in the Preparation of Edible Films and Coatings—A Review. *Coatings* **2020**, *10*, 674. [Crossref]
- Pequeno, A. M.; Pôrto Jr, G.; A Prospecção Tecnológica como Ferramenta de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação: uma análise sobre as ICTs do estado da Paraíba, Capítulo 4. Em UNIVERSIDADE E INOVAÇÃO: olhares sobre Propriedade Intelectual e a Transferência de Tecnologia. Ed. OPAJE/EdUFT, **2021**. [Link]
- Liu, Z.; Adams, M.; Cote, R. P.; Chen, Q.; Wu, R.; Wen, Z.; Liu, W., Dong, L.; How does circular economy respond to greenhouse gas emissions reduction: An analysis of Chinese plastic recycling industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2018**, *91*, 1162. [Crossref]
- Bizzo, H. R.; Hovell, A. M. C.; Rezende, C. M.; Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova* **2009**, *32*, 588. [Crossref]

21. Atarés, L.; Chiralt, A.; Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology* **2016**, *48*, 51. [[Crossref](#)]
22. Chaudhary, S.; Kumar, S.; Kumar, V.; Sharma, R.; Chitosan nanoemulsions as advanced edible coatings for fruits and vegetables: Composition, fabrication and developments in last decade. *International Journal of Biological Macromolecules* **2020**, *152*, 154. [[Crossref](#)]
23. Macedo, J. B.; Sanfelice, R. C.; Mercante, L. A.; Santos, D. M.; Habitzreuter, F.; Campana-Filho, S. P.; Pavinatto, A.; Atividade antimicrobiana de quitosanas e seus derivados: Influência das características estruturais. *Química Nova* **2022**, *45*, 690. [[Crossref](#)]
24. Regattieri, A. B.; Sena, G. L.; Filho, E. S.; Preparação e Caracterização de Emulsões Ternárias Quitosana/SDS/Hexano. *Revista Virtual de Química* **2016**, *8*, 622. [[Crossref](#)]
25. Azevedo, L. C.; de Sá, A. S. C.; Rovani, S.; Fungaro, D. A.; Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. *Cadernos de Prospecção* **2018**, *11*, 351. [[Crossref](#)]
26. Braibante, M. E. F.; Sulzbach, A. C.; Storgatto, G. A.; A Bioquímica do Glúten através de Oficinas Temáticas. *Ciência e Natura* **2015**, *37*, 767. [[Crossref](#)]
27. Prabowo, A. S.; Mawarani, L. J.; Edible Coating Development of Durian Seeds Starch and Glucomannan with The Addition of Essential Oil As An Antimicrobial to Increase Shelf Life of Tomato and Cauliflower. *2020 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **2020**, 833, 012034. [[Crossref](#)]
28. Gómez-contreras, P.; Figueroa-Lopez, K. J.; Hernández-Fernández, J.; Rodríguez, M. C.; Ortega-Toro, R.; Effect of Different Essential Oils on the Properties of Edible Coatings Based on Yam (*Dioscorea rotundata* L.) Starch and Its Application in Strawberry (*Fragaria vesca* L.) Preservation. *Applied Sciences* **2021**, *11*, 11057. [[Crossref](#)]
29. Saberi, B.; Chockchaisawasdee, S.; Golding, J. B.; Scarlett, C. J.; Stathopoulos, C. E.; Characterization of pea starch-guar gum biocomposite edible films enriched by natural antimicrobial agents for active food packaging. *Food and Bioprocess Processing* **2017**, *105*, 51. [[Crossref](#)]
30. Saturos, M. J. O.; Tagubase, J. L. J.; Fundador, N. G. V.; Antimicrobial and Mechanical Properties of Jackfruit Seed Starch-based Films Containing Carvacrol. *Mindanao Journal of Science and Technology* **2021**, *19*, 84. [[Link](#)]
31. Lin, L.; Peng, S.; Shi, C.; Li, C.; Hua, Z.; Cui, H.; Preparation and characterization of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose edible film incorporating apple polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules* **2022**, *212*, 155. [[Crossref](#)]
32. Nair, M. S.; Saxena, A.; Kaur, C.; Characterization and Antifungal Activity of Pomegranate Peel Extract and its Use in Polysaccharide-Based Edible Coatings to Extend the Shelf-Life of Capsicum (*Capsicum annum* L.). *Food and Bioprocess Technology* **2018**, *11*, 1317. [[Crossref](#)]
33. Alves, J. S.; Canabarro, N. I.; Boeira, C. P.; Melo, P. T. S.; Aouada, M. R. M.; Rosa, C. S.; Design of Biodegradable Films Using Pecan Nut Cake Extracts for Food Packing. *Foods* **2023**, *12*, 1405. [[Crossref](#)]
34. Jovanović, J.; Ćirković, J.; Radojković, A.; Mutavdžić, D.; Tanasijević, G.; Joksimović, K.; Bakić, G.; Branković, G.; Branković, Z.; Chitosan and pectin-based films and coatings with active components for application in antimicrobial food packaging. *Progress in Organic Coatings* **2021**, *158*, 106349. [[Crossref](#)]
35. Haghighi, H.; Biard, S.; Bigi, F.; De Leo, R.; Bedin, E.; Pfeifer, F.; Siesler, H. W.; Licciardello, F.; Pulvirenti, A.; Comprehensive characterization of active chitosan-gelatin blend films enriched with different essential oils. *Food Hydrocolloids* **2019**, *95*, 33. [[Crossref](#)]
36. Bonilla, J.; Sobral, P. J. A.; Gelatin-chitosan edible film activated with Boldo extract for improving microbiological and antioxidant stability of sliced Prato cheese. *International Journal of Food Science & Technology* **2019**, *54*, 1617. [[Crossref](#)]
37. Silva, L. L.; Santos, K. V. P.; Naves, P. L. F.; Didonet, C. C. G. M.; Exopolissacarídeos bacterianos: características e utilização. *Ciências da Saúde: Saberes e práticas interdisciplinares*. Ed. UFG, 2019, cap. 4. [[Link](#)]
38. Canteri, M. H. G.; Moreno, L.; Wosiacki, G.; Scheer, A. P.; Pectina: da matéria-prima ao produto final. *Polímeros* **2012**, *22*, 149. [[Crossref](#)]
39. Lundgren, G. A.; Braga, S. P.; Albuquerque, T. M. R.; Oliveira, K. A. R.; Tavares, J. F.; Vieira, W. A. S.; Câmara, M. P. S.; Souza, E. L.; Antifungal effects of *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist essential oil against pathogenic *Colletotrichum musae* and its incorporation in gum Arabic coating to reduce anthracnose development in banana during storage. *Journal of Applied Microbiology* **2022**, *132*, 547. [[Crossref](#)]
40. Aliannan, N.; Kalpoutzakis, E.; Mitaku, S.; Chinou, B. I.; Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oils of Two *Origanum* Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2001**, *9*, 4168. [[Crossref](#)]
41. Reis, J. B.; Figueiredo, L. A.; Castorani, G. M.; Veiga, S. M. O. M.; Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. *Brazilian Journal of Health Review* **2020**, *3*, 342. [[Crossref](#)]
42. Choi, W. S.; Singh, S.; Lee, Y. S.; Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of 'Formosa' plum (*Prunus salicina* L.). *LWT - Food Science and Technology* **2016**, *70*, 213. [[Crossref](#)]
43. Hashemi, S. M. B.; Khaneghah, A. M.; Characterization of novel basil-seed gum active edible films and coatings containing oregano essential oil. *Progress in Organic Coatings* **2017**, *110*, 35. [[Crossref](#)]
44. Aguilar-Sánchez, R.; Munguía-Pérez, R.; Reyes-Jurado, F.; Navarro-Cruz, A. R.; Cid-Pérez, T. S.; Hernández-Carranza, P.; Beristain-Bauza, S. C.; Ochoa-Velasco, C. E.; Avila-Sosa, R.; Structural, physical, and antifungal characterization of starch edible films added with nanocomposites and Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) essential oil. *Molecules* **2019**, *24*, 2340. [[Crossref](#)]
45. Nguyen, T. T.; Nguyen, T.-T. T.; Tran, T. V.; Tan, L. V.; Danh, L. T.; Than, V. T.; Development of Antibacterial, Antioxidant, and UV-Barrier Chitosan Film Incorporated with *Piper betle* Linn

- Oil as Active Biodegradable Packaging Material. *Coatings* **2021**, *11*, 351. [Crossref]
46. Costa, E. K. C.; Rocha, I. S.; Silva, R. J.; Druzian, J. I.; Estudo prospectivo relativo a depósitos de patentes relacionadas à produção de filmes elaborados pela técnica de casting. *Cadernos de Prospecção* **2016**, *9*, 280. [Crossref]
  47. Vu, K. D.; Hollingsworth, R. G.; Leroux, E.; Salmieri, S.; Lacroix, M.; Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. *Food Research International* **2011**, *44*, 198. [Crossref]
  48. Oliveira, W. L.; Desenvolvimento de Nanoemulsões por Técnica de Baixo Cisalhamento para Incorporação de Proteínas. *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. [Link]
  49. Saranti, T. F. S.; Melo, P. T. S.; Cerqueira, M. A.; Aouada, F. A.; Moura, M. R.; Performance of Gelatin Films Reinforced with Cloisite Na<sup>+</sup> and Black Pepper Essential Oil Loaded Nanoemulsion. *Polymers* **2021**, *13*, 4298. [Crossref]
  50. Miranda, M.; Sun, X.; Marín, A.; Santos, L. C.; Plotto, A.; Bai, J.; Assis, O. B. G.; Ferreira, M. D.; Baldwin, E.; Nano- and micro-sized carnauba wax emulsions-based coatings incorporated with ginger essential oil and hydroxypropyl methylcellulose on papaya: Preservation of quality and delay of post-harvest fruit decay. *Food Chemistry: X* **2022**, *13*, 100249. [Crossref]
  51. LexLatin. Modificações nas Regras de Patentes do Canadá entram em vigor em outubro. Disponível em: <<https://br.lexlatin.com/reportagens/modificacoes-regras-patentes-canada>>. Acesso em: 10 fevereiro 2024.
  52. Zhou, W.; He, Y.; Liu, F.; Liao, L.; Huang, X.; Li, R.; Zou, Y.; Zhou, L.; Zou, L.; Liu, Y.; Ruan, R.; Li, J.; Carboxymethyl chitosan-pullulan edible films enriched with galangal essential oil: Characterization and application in mango preservation. *Carbohydrate Polymers* **2021**, *256*, 117579. [Crossref]
  53. Atarés, L.; Bonilla, J.; Chiralt, A.; Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering* **2010**, *100*, 678. [Crossref]
  54. Salarbashi, D.; Tajik, S.; Ghasemlou, M.; Shojae-Aliabadi, S.; Noghabi, M. S.; Khaksar, R.; Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging. *Carbohydrate Polymers* **2013**, *98*, 1127. [Crossref]
  55. Jouki, M.; Mortazavi, S. A.; Yazdi, F. T.; Koochekil, A.; Characterization of antioxidant–antibacterial quince seed mucilage films containing thyme essential oil. *Carbohydrate Polymers* **2014**, *99*, 537. [Crossref]
  56. Acevedo-Fani, A.; Salvia-Trujillo, L.; Rojas-Graü, M. A.; Martín-Belloso, O.; Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids* **2015**, *47*, 168. [Crossref]
  57. Qin, Y.; Li, W.; Liu, D.; Yuan, M.; Li, L.; Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil. *Progress in Organic Coatings* **2017**, *103*, 76. [Crossref]
  58. Gahrue, H. H.; Ziaee, E.; Eskandari, M. H.; Hosseini, S. M. H.; Characterization of basil seed gum-based edible films incorporated with *Zataria multiflora* essential oil nanoemulsion. *Carbohydrate Polymers* **2017**, *166*, 93. [Crossref]
  59. Nisar, T.; Wang, Z.-C.; Yang, X.; Tian, Y.; Iqbal, M.; Guo, Y.; Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules* **2018**, *106*, 670. [Crossref]
  60. Hasheminya, S.-M.; Mokarram, R. R.; Ghanbarzadeh, B.; Hamishekar, H.; Kafil, H. S.; Dehghannya, J.; Development and characterization of biocomposite films made from kefiran, carboxymethyl cellulose and *Satureja Khuzestanica* essential oil. *Food Chemistry* **2019**, *289*, 443. [Crossref]
  61. Mahcene, Z.; Khelil, A.; Hasni, S.; Akman, P. K.; Bozkurt, F.; Birech, K.; Goudjil, M. B.; Tornuk, F.; Development and characterization of sodium alginate based active edible films incorporated with essential oils of some medicinal plants. *International Journal of Biological Macromolecules* **2020**, *145*, 124. [Crossref]
  62. Amalraj, A.; Haponiuk, J.; Thomas, S.; Gopi, S.; Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules* **2020**, *151*, 366. [Crossref]
  63. Hasheminya, S.-M.; Dehghannya, J.; Development and characterization of novel edible films based on *Cordia dichotoma* gum incorporated with *Salvia mirzayanii* essential oil nanoemulsion. *Carbohydrate Polymers* **2021**, *257*, 117606. [Crossref]