

# BIOPOLÍMEROS: UMA ALTERNATIVA PARA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

## BIOPOLÍMEROS: UMA ALTERNATIVA PARA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Silvana Silveira de Farias<sup>1</sup>, Sônia Maria Costa Siqueira<sup>2</sup>, Jéssica Híade Silva Cristino<sup>3</sup>, Jefferson Marçal da Rocha<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Ceará – UECE email: silvanassf@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Doutora em Química pela Universidade Federal do Ceará – UFC

<sup>3</sup> Graduanda em Química da Universidade Estadual do Ceará – UECE

<sup>4</sup> Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento pela Universidade Federal do Paraná – UFPR

### RESUMO

Materiais derivados da indústria petroquímica serviram de base durante anos para a produção de bens de consumo da sociedade, no entanto, a descoberta dos impactos ambientais ocasionados pelo uso desses produtos impulsionaram a busca por alternativas sustentáveis. Dessa forma, os polímeros naturais também conhecidos como biopolímeros os quais são oriundos de recursos naturais se apresentam como uma alternativa para produção de materiais biodegradáveis. Nessa análise objetivou-se mostrar a viabilidade do uso de biopolímeros para promoção do desenvolvimento sustentável. Para tanto foi realizado uma pesquisa bibliográfica na base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e na plataforma *Science Direct* abrangendo produções entre 1998-2016 sobre o uso de polímeros naturais. Com essa análise foi possível notar que é crescente o número de publicações envolvendo biopolímeros e que atualmente a utilização dos biopolímeros para o desenvolvimento de nanopartículas tem tido amplas aplicações na indústria, no entanto, em termos econômicos são necessários maiores investimentos em pesquisa para que de fato essa produção seja rentável a curto prazo. Portanto, o uso de polímeros advindos de fontes naturais é viável a nível social e ambiental, pois contribui para gerar renda local e proteger o meio ambiente para as futuras gerações tendo como base um desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chaves:** polímeros naturais, indústria, sustentabilidade.

### ABSTRACT

Materials derived from petrochemical industry served as the basis for years for the production of consumer goods of society, however, the discovery of the environmental impacts caused by the use of these products drove the search for sustainable alternatives. In this way, the natural polymers, also known as biopolymers which are from natural resources present themselves as an alternative to the production of biodegradable materials. This analysis aimed to show the viability of using biopolymers for promoting sustainable development. For both was realized a bibliographic research on the basis data of Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and platform *Science Direct* covering productions between 1998-2016 on the use of natural polymers. With this analysis it was possible to note that is increasing the number of publications involving biopolymers and that currently the use of

biopolymers for development of nanoparticles has had wide applications in industry, however, in economic terms are required greater investments in search for that in fact this production is viable in the short term. Therefore, the use of polymers from natural sources is viable social and environmental level, because it contributes to generate local income and protect the environment for future generations on the basis of sustainable development.

Keywords: natural polymers; industry; sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico tem impulsionado a busca por materiais alternativos nos diversos campos da indústria para promover o bom desempenho e diminuir os custos na geração de um produto, nesse contexto, pesquisas com polímeros das mais variadas fontes têm sido alvo de grande interesse no mercado.

De acordo com Borschiver *et al.* (2008) durante muito tempo o petróleo foi a principal fonte de matéria prima para os polímeros, no entanto com o aumento do preço e a crescente preocupação com os índices de poluição ambiental, tornou-se necessário a busca por novas fontes de polímeros.

Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades de repetição (monômeros), moléculas com massa molecular baixa, ligadas entre si, predominantemente, por ligações covalentes (JÚNIOR, 1998; PITT *et al.*, 2011).

Conforme Brito e colaboradores (2011) polímeros obtidos a partir de matéria-prima de fonte renovável, ao invés de fontes fósseis, são reconhecidos como polímeros verdes, pode-se citar como exemplo o polietileno verde e o policloreto de vinila verde, os quais permanecem com as mesmas características dos obtidos de fontes fósseis, ambos são produzidos no Brasil derivados do processo de produção da cana-de-açúcar.

Nesse artigo será relatado um pouco da história dos polímeros, da capacidade de aproveitamento dos recursos naturais como fonte para produção de biopolímeros, além da análise do uso de polímeros na indústria e em especial na indústria farmacêutica, com base nesses pontos discutiremos a viabilidade social, econômica e ambiental do uso dessas moléculas para a sociedade na busca da sustentabilidade.

## 2 HISTÓRIA DOS POLÍMEROS

O termo polímero foi criado pelo químico alemão Jöns Jacob Berzelius em 1832, quando Berzelius tentou diferenciar moléculas orgânicas que possuíam os

mesmos elementos químicos, mas diferiam nas propriedades químicas (JÚNIOR, 1998; PITT *et al.*, 2011).

Conforme Brown e colaboradores (2005) os polímeros podem ser classificados em polímeros naturais e sintéticos, durante um longo tempo os humanos utilizaram polímeros naturais, como lã, couro e borracha natural para elaboração de materiais úteis ao cotidiano (BROWN *et al.*, 2005).

Os polímeros formados durante o ciclo de crescimento de organismos vivos são denominados polímeros naturais, em que sua síntese envolve geralmente reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento, de cadeia a partir de monômeros ativados, que são formados dentro das células por processos metabólicos complexos (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006). Como exemplo podemos citar a formação de biopolímeros na água superaquecida que ocorre nas fontes geotérmicas no fundo mar, com reações envolvendo ciclos de hidratação e desidratação; já nos seres vivos a reação de hidrólise da adenosina trifosfato (ATP) a qual se transforma em adenosina monofostato (AMP) dá origem aos ácidos nucleicos, que são polímeros naturais (ZAIA, 2003).

Pitt e colaboradores (2011) reportaram que os polímeros sintéticos se apresentaram inicialmente baseados no uso de insumos químicos oriundos do petróleo, através de reações em escala laboratorial.

Os polímeros sintéticos deram origem aos plásticos e com o passar do tempo mostraram os agravantes implicados nessa produção, por isso cada vez mais se torna atrativo a busca por produtos naturais com alternativa para diminuição dos impactos gerados.

A degradação de plástico sintético é muito lenta e pode levar até 500 anos. A "degradação" destes plásticos gera plásticos menores, que apesar de não sendo evidente, se acumulam nos ecossistemas em grandes quantidades. Os polímeros biodegradáveis são materiais plásticos com semelhantes propriedades, mas com um tempo de degradação menor, o que poderia ser utilizada para compensar esse problema (MARIANO-TORRES *et al.*, 2015).

O grande diferencial dos polímeros naturais (polissacarídeos e ou oligossacarídeos) é sua baixa toxicidade, biodegradabilidade, características filmogênicas, facilidade de derivatização, disponibilidade e baixo custo (VANDAME *et*

*al.*, 2002). Essas propriedades se apresentam como estímulo para a busca e produção de novos materiais poliméricos.

Com o passar do tempo foram descobertos os polímeros condutores, os hidrogéis ou hidroabsorventes, bioabsorvíveis, dentre outros, termos que vão sendo dados com o decorrer das pesquisas, de relevante importância no campo da biomedicina temos os bioabsorvíveis, materiais poliméricos que podem se dissolver em fluidos corpóreos sem qualquer clivagem da cadeia macromolecular ou diminuição de massa molecular (SANTOS; WADA, 2007).

Desta maneira, os polímeros vão sendo nomeados e classificados de acordo com suas características, não há uma padronização específica para os diversos nomes encontrados na literatura.

### **3 APROVEITAMENTO DOS RECURSOS NATURAIS PARA GERAÇÃO DE POLÍMEROS**

O Brasil como sendo um País de grande diversidade em sua fauna e flora apresenta-se com um ambiente propício para estudos avançados com polímeros, a fim de que possamos de fato usufruir de produtos com alto valor agregado e sobretudo com matrizes poliméricas de baixo impacto ambiental para o planeta.

Na Amazônia é desenvolvido o Projeto Fênix Amazônico – Renascendo das Cinzas da Destruição, que baseado na silvicultura de ciclo curto com espécies de plantas da Amazônia, trata da recuperação da floresta quando perturbações ocorrem, desenvolvendo compósitos de madeira com termoplásticos, que constitui umas das áreas de Pesquisa e Desenvolvimento na área de materiais poliméricos (MARINELLI *et al.*, 2008).

A aplicabilidade dos polímeros vai desde materiais simples até grandes componentes para uso na medicina, aviação, alimentação, cosméticos, dentre outros. O que torna relevante o conhecimento desses materiais, para elaboração dos mesmos em escala maior, a partir de fontes naturais.

As plantas com base na sua composição química possuem polímeros com bastante utilidade para os diversos ramos industriais. Muitas espécies apresentam em sua estrutura polissacarídeos capazes de formar redes poliméricas com amplas aplicações no mercado.

No campo da agricultura utilizam-se biopolímeros para auxílio nas técnicas de suplementação aos nutrientes do solo, conservação de climas ideais, identificação, e para possíveis tratamentos de diversas patologias que agridem o reino *Plantae* (LIMA; SOUSA, 2011).

Os polímeros advindos de fontes naturais também chamados de biopolímeros apresentam diversas aplicações citadas na literatura. A tabela 1 apresenta os resultados de uma pesquisa realizada somente no ano de 2016. Observa-se que os biopolímeros obtidos de plantas, algas marinhas e bactérias apresentam diferentes aplicações, em destaque pode-se notar o desenvolvimento de nanopartículas com composição e natureza variada para confinar o composto, tendo como estratégia a liberação controlada.

**Tabela 1- Principais biopolímeros e algumas de suas aplicações**

BIOPOLÍMEROS	FONTE	APLICAÇÕES	REFERÊNCIAS
Amido	Plantas	Melhoramento de gel	Lin <i>et al.</i> , 2016.
		Nanocompósito	Hamidian; Tavakoli, 2016.
		Nanopartícula	Najafi <i>et al.</i> , 2016.
Celulose	Plantas	Nanocompósito	Deng <i>et al.</i> , 2016.
		Nanofibra	Huang <i>et al.</i> , 2016.
		Biomaterial para liberação de droga	Bezerra <i>et al.</i> , 2016.
Agar	Algas marinhas	Gel	Bilal <i>et al.</i> , 2016.
		Nanopartícula	Patra <i>et al.</i> , 2016.
		Filmes	Vejdani <i>et al.</i> , 2016.
Dextrano	Bactérias	Nanopartícula	Barnerjee <i>et al.</i> , 2016.
		Nanocarregador	Kiani <i>et al.</i> , 2016.
		Sinalizador de proteínas	Reyes <i>et al.</i> , 2016.
Quitosana	Exoesqueleto de crustáceos	Filmes	Aljawish <i>et al.</i> , 2016.
		Nanopartícula	Wang <i>et al.</i> , 2016.
		Nanocompósito	Ansari <i>et al.</i> , 2016.
		Nanocarregador	Wu <i>et al.</i> , 2016.
Alginato	Algas marinhas	Nanopartículas	Huang <i>et al.</i> , 2016.
		Hidrogel	Padol <i>et al.</i> , 2016.
		Filmes	Shankar <i>et al.</i> , 2016.
Carragena	Algas marinhas	Nanocompósito	Duman <i>et al.</i> , 2016.
		Hidrogel	Tranquillan-Aranilla <i>et al.</i> , 2016.
		Nanopartícula	Long <i>et al.</i> , 2016.
Gelatina	Desnaturação do colágeno (principal proteína do tecido animal)	Gel	Morales <i>et al.</i> , 2016.
		Nanofibras	Steyaert <i>et al.</i> , 2016.
		Filmes	Teng <i>et al.</i> , 2016.
Lignina	Plantas	Polióis e espumas	Mahmood <i>et al.</i> , 2016.
		Hidrogel	Nakosone <i>et al.</i> , 2016.
		Nanofibras	Delgado-Aguilar <i>et al.</i> , 2016.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Muito da biodiversidade existente no planeta por vezes é subaproveitada por falta de investimento em Ciência e Tecnologia, para promoção de pesquisa científica, o que acaba afetando o desenvolvimento de produtos e processos que poderiam contribuir significativamente para a melhoria da qualidade de vida do ser humano.

Marinelli e colaboradores (2008) revelam que compósitos de polímeros com fibras naturais vêm sendo também apontados como alternativas potencias, economicamente rentáveis, para a fixação de carbono na natureza, reduzindo também a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante o seu ciclo de produção, processamento e utilização, ganhando assim um incremento de seu potencial econômico devido à possibilidade de comércio de créditos carbonos para a cadeia produtiva.

A necessidade de viabilizar a continuidade do desenvolvimento, racionalizar o consumo, optar por soluções e produtos sustentáveis em todo o seu ciclo de vida e buscar o equilíbrio entre o homem e a natureza passaram a ser considerações fundamentais no desenvolvimento de produtos (LEMOS; MARTINS, 2014).

É preciso sobretudo que se pense no saber usar, com fins adequados, respeitando o limite de recomposição dos ecossistemas para abstrair das plantas, dos habitats, reservas de água, dos animais, etc, o que de melhor eles podem oferecer sem de fato prejudicar a sobrevivência das gerações futuras.

### **3.1 BIOPOLÍMEROS SUSTENTÁVEIS**

Há um grande número de estudos com polímeros naturais, tendo em vista o universo de recursos que podem dar subsídios para essas atividades, nesse contexto existe o polímero extraído da mamona (*Ricinus communis*), que é útil para preenchimento de defeitos ósseos, no tratamento cirúrgico em ratos mostrou-se que o material é biocompatível para essas lesões, sendo osteocondutor, permitindo o crescimento de tecido ósseo em meio aos seus poros (ALMEIDA *et al.*, 2010).

Na busca pela sustentabilidade Pereira e colaboradores (2014) tratam da produção de biocompositos baseados no uso da palha de carnaúba *copernicia prunifera* (Miller), conhecida como carnaubeira com adição de quitosana, mostrando a viabilidade de filmes biodegradáveis.

Theodoro e colaboradores (2015) denotam que o polímero extraído da semente da *Moringa oleifera* Lam constitui uma alternativa em potencial bastante promissora para remoções dos sólidos dissolvidos na água, servindo para o tratamento de águas.

Fibras vegetais de bagaço de cana-de-açúcar, material em abundância no país, podem ser usadas para reforço de matrizes poliméricas recicladas, sobretudo no campo de aplicação e desenvolvimento de peças automobilísticas, esportivas, aeronáuticas, moveleiras e na indústria da construção civil (LIGOWSKI *et al.*, 2015).

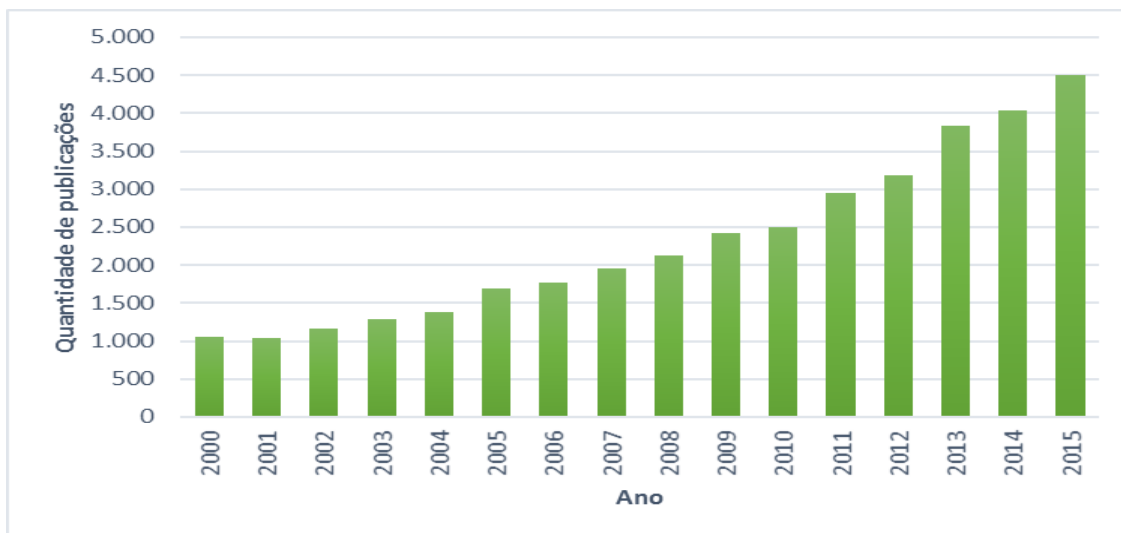
Dalcaton e colaboradores (2010) produziram poliésteres biológicos e biodegradáveis como os poli-hidroxicanoatos, através de matérias-primas renováveis no qual oferecem a possibilidade de um ciclo de produção fechado, onde a fonte de carbono metabolizada por microorganismo produz um biopolímero completamente biodegradável a gás carbônico e água, desta forma estes elementos serão absorvidos por plantas que, novamente, fornecerão a fonte de carbono necessária para a produção dos poli-hidroxicanoatos, fechando o ciclo.

Cada vez mais se intensifica a busca por produtos naturais com propriedades poliméricas que possam contribuir para a sustentabilidade, há uma tendência mundial por produtos que não causem impacto negativo ao meio ambiente. Os biopolímeros sustentáveis devem seguir os três pilares do desenvolvimento sustentável que são zelar pela harmonia da tríade: desenvolvimento econômico, social e a proteção ambiental (VARGAS, 2000; KAROSKA, ASKOUNIS; 2010).

Para que haja de fato um desenvolvimento sustentável onde as esferas social, ambiental e econômica caminhem juntas são necessárias algumas prioridades, Lu e colaboradores (2015) apontam que é preciso elaborar métodos de mensuração de impactos ambientais, estabelecer mecanismos de monitoramento, avaliar o progresso, melhorar a infra-estrutura, padronizar e verificar os dados; para que sejam alcançadas as metas de sustentabilidade propostas pela Organização das Nações Unidas.

Nesse contexto, apesar dos incipientes métodos de monitoramento para um eficaz desenvolvimento sustentável, notamos que é crescente o número de publicações que envolvem biopolímeros, uma vez que os mesmos são uma alternativa para promoção da sustentabilidade (GRÁFICO 1).

### **Gráfico 1 – Publicações anuais sobre biopolímeros**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da Base de dados *Science Direct* (2000-2015).

Esses dados denotam que apesar das dificuldades de conscientização global para termos um ambiente equilibrado, a cada ano cresce o número de pesquisas que desenvolvem materiais alternativos os quais agredem menos o meio ambiente.

### 3.2 APLICAÇÃO DOS POLÍMEROS NA INDÚSTRIA

A indústria de polímeros constitui um dos pilares do estilo de vida contemporâneo. É enorme a quantidade de bens que nos cercam que são produzidos de material polimérico, uma vez que eles são utilizados em quase todas as áreas das atividades humanas, principalmente nas indústrias automobilísticas, de embalagens, de revestimentos e de vestuário, os quais vão se incorporando de forma permanente no dia a dia de nossas vidas. Isso se deve também ao fato de que os materiais poliméricos vêm conquistando muitos mercados através da substituição de outros insumos, como papel, madeira e metais (HEMAIS *et al.*, 2000).

Wan e colaboradores (2001) afirmam que a principal fonte de renda da indústria petroquímica na segunda metade do século vinte passou a ser a produção de polímeros sintéticos, o que possibilitou um forte vínculo entre a química, ciência e engenharia de materiais.

A produção de polímeros no mercado global tem crescido de forma acentuada, em 1950 produzia-se 5 milhões de toneladas, em 2011 ficou em torno de 100 milhões de toneladas, sendo que o setor de embalagens responde por aproximadamente 42% do



total, que pode ser trabalhado de forma sustentável, através do uso de materiais biodegradáveis (SILVESTRE; DURACCIO; CIMMINO, 2011).

Atualmente há um grande interesse em polímeros no campo da biomedicina, o que resulta na proposição de biopolímeros, devido seu grande potencial biocompatível e biodegradável, muitos estudos se voltam para produção dessas matrizes, capazes de atuar no transporte ativo de substâncias dentro do organismo, o que está sendo produzido em escala industrial pelas indústrias farmacêuticas (PITT *et al.*, 2011).

De acordo com a Sociedade Nacional de Agricultura (2012) os principais biopolímeros produzidos no Brasil são: Polímero de amido (produzido com matérias-primas como o milho, a mandioca, a batata ou o trigo), Polilactatos (produzido a partir do ácido láctico feito por bactérias), Polihidroxialcanoato (produzido por bactérias que se alimentam de cana-de-açúcar, milho e óleo vegetal).

### **3.2.1 Os Biopolímeros na indústria farmacêutica**

Os produtos naturais há longo tempo servem de base para a medicina popular, muitos medicamentos foram sintetizados devido ao uso desses recursos naturais, o que varia de acordo com as reservas locais de cada comunidade.

Uma grande variedade de polímeros naturais pode ser utilizada para a preparação de sistemas poliméricos de transporte, dos quais se destacam os peptídeos, as proteínas e os polissacarídeos. Os polímeros naturais podem ser utilizados para preparar micropartículas poliméricas, bem como transportadores coloidais, isto é, as nanopartículas poliméricas (SEVERINO *et al.*, 2008).

Souza e colaboradores (2015) realizaram o encapsulamento do ácido ascórbico com a matriz polimérica de galactomanana, biopolímero obtido das sementes de *Delonix regia* (Flamboyant), como resultado observou-se o melhoramento da estabilidade química com preservação das propriedades funcionais do ácido ascórbico devido ao uso do biopolímero como matriz de revestimento do fármaco.

Na linha de liberação de fármaco El-Ghaffar *et al.* (2012) preparou um hidrogel com alginato de sódio e poliglicídios metacrilato para liberação da riboflavina em fluido instestinal/gástrico simulado, observou-se melhor eficiência de retenção da droga e boa estabilidade química.

A vitamina E quando encapsulada através de nanoemulsões com polímeros naturais da proteína isolada do soro de leite e com a goma arábica pode ser utilizada como emulsificantes naturais, neste caso a goma arábica apresentou-se mais eficaz na estabilização das esferas (Ozturk *et al.*, 2015).

O poliéster hexasubstituído poli(ácido lático) HEXPLA, polímero biodegradável, e semissólido, permite devido essas propriedades a liberação de drogas lipofílicas; a incorporação de substâncias ativas como haloperidol para posterior liberação de forma controlada pode ser feita mediante suspensão na razão droga e solução do polímero (ASMUS *et al.*, 2011).

A quitosana biopolímero natural obtida pela desacetilação da quitina em meio alcalino, é apontada por Popat e colaboradores (2012) como um material viável para revestimento do ibuprofeno, devido a mesma aumentar o potencial de liberação do fármaco.

Organogéis baseados em lanolina foram encapsulados com micropartículas de alginato, pelo método de gelificação ionotrópica, o que demonstrou melhorar a capacidade de entrega de drogas como ácido salicílico e metronidazol (SAGIRI; PAL; BASAK, 2014).

Para tanto, esses e outros polímeros naturais vem sendo testados com o objetivo de diminuir os gastos com materiais sintéticos e melhorar a eficiência dos produtos farmacêuticos.

#### **4 METODOLOGIA**

Para realização desse trabalho foi realizado uma pesquisa bibliográfica sobre polímeros a qual está embasada em dados qualitativos e quantitativos sobre o uso de polímeros naturais com o intuito de promover a sustentabilidade.

Como suporte para busca por artigos sobre a temática abordada utilizamos a base de dados de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a plataforma *Science Direct*, a pesquisa abrangeu tanto produções nacionais quanto internacionais entre 1998 – 2016.

#### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A utilização dos recursos naturais pelo homem sempre foi algo necessário para sua subsistência, agora pensar nesse uso de forma equilibrada, sustentável, para não exaurirmos esses recursos é algo que têm ocorrido de forma lenta, a conscientização para um consumo que não agrida o meio ambiente e aproveite ao máximo os benefícios das fontes naturais ainda está aquém do desejável para civilizações ditas pós-modernas.

Normalmente os interesses em preservação ambiental são deixados em segundo plano, quando há decisões que requerem investimentos e ou/ perdas financeiras. A proteção do meio ambiente torna-se uma condição da permanência do sistema econômico considerado como o único que tenha a flexibilidade suficiente para responder aos desafios sociais e ambientais (ROCHA, 2011).

Muitas vezes o conflito de interesses entre o econômico e o ambiental acaba prejudicando o aproveitamento dos recursos naturais, no caso do uso de polímeros naturais há grande viabilidade do ponto de vista ambiental, uma vez que faz uso de recursos que por vezes são descartados ou subaproveitados, no entanto, são necessários investimentos adequados em pesquisa para que esses resultados cheguem de fato ao mercado.

A conscientização entre consumidores e população em geral sobre as vantagens dos biopolímeros podem permitir uma economia dos recursos energéticos e diminuição dos processos de contaminação do meio, por conta do uso dos polímeros sintéticos (VALERO-VALDIVIESO, 2013).

Em suma, apesar das divergências quando se fala sobre viabilidade econômica dos biopolímeros é preciso lançar um olhar futurista sobre essa produção em termos também de economia de recursos naturais e não somente com relação aos lucros imediatistas; do ponto de vista ambiental e social é perceptível que com um aumento do uso e por consequência da produção de biopolímeros haverá maior geração de renda, o que pode estimular o mercado local e recuperar/aproveitar fontes naturais por vezes ignorada, além de contribuir para manutenção de um ambiente saudável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALJAWISH, A.; MUNIGLIA, L.; KLOUJ, A.; JASNIEWSKI, J.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Characterization of films based on enzymatically modified chitosan derivatives with phenol compounds. **Food Hydrocolloids**, v.16, p. 1-31, 2016.

ALMEIDA, J. M.; SANTOS, M. R.; FERNANDES, L. A.; THEODORO, L. H.; GARCIA, V. G. Estudo histomorfométrico do processo de cicatrização óssea em defeitos cirúrgicos de tamanho crítico em calvárias de ratos preenchidos com polímero de mamona. **Revista Odontológica Araçatuba**, v. 31, n. 01, p. 22-27, 2010.

ANSARI, F.; SOBHANI, A.; SALAVATI-NIASARI, M. Green synthesis of magnetic chitosan nanocomposites by a new sol-gel auto-combustion method. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 410, p. 27-33, 2016.

ASMUS, L. R.; GURNY, R.; MÖLLER, M. Solutions for lipophilic drugs: a biodegradable polymer acting as solvent, matrix, and carrier to solve drug delivery issues. **The International journal of artificial organs**, v. 34, n. 2, p. 238-242, 2011.

BANERJEE, A.; BANDOPADHYAY, R. Use of dextran nanoparticle: A paradigm shift in bacterial exopolysaccharide based biomedical applications. **International journal of biological macromolecules**, v. 87, p. 295-301, 2016.

BEZERRA, R. D.; MORAIS, A. I.; OSAJIMA, J. A.; NUNES, L. C.; SILVA FILHO, E. C. Development of new phosphated cellulose for application as an efficient biomaterial for the incorporation/release of amitriptyline. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, p. 362-375, 2016.

BILAL, M.; ASGHER, M.; SHAHID, M.; BHATTI, H. N. Characteristic features and dye degrading capability of agar-agar gel immobilized manganese peroxidase. **International journal of biological macromolecules**, v. 86, p. 728-740, 2016.

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L.F.M.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 256-261, 2008.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MELO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9 ed. Prentice-Hall, 2005.

DALCANTON, F.; IENCZAK, J. L.; FIORESE, M. L.; ARAGÃO, G. M. F. Produção de poli (3-hidroxibutirato) por *Cupriavidus necator* em meio hidrolisado de amido de arroz com suplementação de óleo de soja em diferentes temperaturas. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 552-556, 2010.

DELGADO-AGUILAR, M.; GONZÁLEZ, I.; TARRÉS, Q.; PELACH, M. A.; ALCALA, M.; MUTJE, P. The key role of lignin in the production of low-cost lignocellulosic nanofibres for papermaking applications. **Industrial Crops and Products**, v. 86, p. 295-300, 2016.

DENG, F.; DONG, Y. Y.; LIU, S.; WANG, B.; MA, M. G.; DU, X. Revealing the influences of cellulose on cellulose/SrF<sub>2</sub> nanocomposites synthesized by microwave-assisted method. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 258-265, 2016.

DUMAN, O.; TUNÇ, S.; POLAT, T. G.; BOZOGLAN, B. K. Synthesis of magnetic oxidized multiwalled carbon nanotube- $\kappa$ -carrageenan-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite adsorbent and its application in cationic Methylene Blue dye adsorption. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 79-88, 2016.

EL-GHAFFAR, M. A.; HASHEM, M. S.; EL-AWADY, M. K.; RABIE, A. M. pH-sensitive sodium alginate hydrogels for riboflavin controlled release. **Carbohydrate polymers**, v. 89, n. 2, p. 667-675, 2012.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811, 2006.

HAMIDIAN, H.; TAVAKOLI, T. Preparation of a new Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/starch-g-polyester nanocomposite hydrogel and a study on swelling and drug delivery properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 144, p. 140-148, 2016.

HEINZEN, D. A.; MATTOS, A. P. M. N.; CAMPOS, L. M.; PALIDINI, E. P. Estudo da viabilidade de produto inovador "verde" para o mercado consumidor comum. **Revista Gestão Organizacional**, v. 4, n. 2, p. 122-131, 2011.

HEMAIS, C. A.; ROSA, E.O.R.; BARROS, H.M. Observações sobre o Desenvolvimento Tecnológico e os Ciclos da Indústria de Polímeros no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 3, p. 149-154, 2000.

HUANG, J. F.; LI, Y. T.; WU, J. H.; CAO, P. Y.; LIU, Y. L.; JIANG, G. B. Floatable, macroporous structured alginate sphere supporting iron nanoparticles used for emergent Cr (VI) spill treatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 115-122, 2016.

HUANG, W.; WANG, Y.; CHEN, C.; LAW, J. L. M.; HOUGHTON, M.; CHEN, L. Fabrication of flexible self-standing all-cellulose nanofibrous composite membranes for virus removal. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 9-17, 2016.

JUNIOR, E. H. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 6-9, 1998.

KIANI, M.; TEKIE, F. S. M.; DINARVAND, M.; SOLEIMANI, M.; DINARVAND, R.; ATYABI, F. Thiolated carboxymethyl dextran as a nanocarrier for colon delivery of hSET1 antisense: In vitro stability and efficiency study. **Materials Science and Engineering: C**, v. 62, p. 771-778, 2016.

LEMOIS, A. L.; MARTINS, R. M. Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos à Base de Poli (Ácido Lático) e Fibras Naturais. **Polímeros**, v. 24, n. 2, p. 190-197, 2014.

LIGOWSKI, E. S.; BENEDITO, C. D.; FUJIWARA, S. T. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. **Polímeros**, v. 25, n. 1, p. 70-75, 2015.

LIMA, R. M. F. D.; SOUZA, V. V. Polímeros Biodegradáveis: Aplicação na Agricultura e sua Utilização como Alternativa para a Proteção Ambiental. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 1, 2011.

LIN, J. H.; LIANG, C.W.; CHANG, Y. H. Effect of starch source on gel properties of kappa-carrageenan-starch dispersions. **Food Hydrocolloids**, v. 60, p. 509-515, 2016.

LONG, J.; XU, E.; LI, X.; WU, Z.; WANG, F.; XU, X.; ZHAN, X. Effect of chitosan molecular weight on the formation of chitosan–pullulanase soluble complexes and their application in the immobilization of pullulanase onto Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-κ-carrageenan nanoparticles. **Food chemistry**, v. 202, p. 49-58, 2016.

LU, Y. L.; NAKICENOVIC, N.; VISBECK, M.; STEVANCE, A. S. Five priorities for the UN Sustainable Development Goals. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 28-28, 2015.

MAHMOOD, N.; YUAN, Z.; SCHMIDT, J.; XU, C. C. Depolymerization of lignins and their applications for the preparation of polyols and rigid polyurethane foams: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 317-329, 2016.

MARIANO-TORRES, J. A.; LÓPEZ-MARURE, A.; DOMIGUEZ-SÁNCHEZ, M. A. Synthesis and characterization of polymers based on citric acid and glycerol: Its application in non-biodegradable polymers. **Dyna**, v. 82, n. 190, p. 53-59, 2015.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MORALES, R.; MARTINEZ, M. J.; PILOSOFF, A. M. R. Dynamics of gelation, textural and microstructural properties of gelatin gels in the presence of casein glycomacropptide. **Food Research International**, v. 84, p. 102-107, 2016.

NAJAFI, S. H. M.; BAGHAIE, M.; ASHORI, A. Preparation and characterization of acetylated starch nanoparticles as drug carrier: Ciprofloxacin as a model. **International journal of biological macromolecules**, v. 87, p. 48-54, 2016.

NAKASONE, K.; KOBAYASHI, T. Cytocompatible cellulose hydrogels containing trace lignin. **Materials Science and Engineering: C**, v. 64, p. 269-277, 2016.

OZTURK, B.; ARGIN, S.; OZILGEN, M.; MCCLEMENTS, D. J. Formation and stabilization of nanoemulsion-based vitamin E delivery systems using natural biopolymers: whey protein isolate and gum arabic. **Food chemistry**, v. 188, p. 256-263, 2015.

PADOL, A. M.; DRAGET, K. I.; STOKKE, B. T. Effects of added oligoguluronate on mechanical properties of Ca–alginate–oligoguluronate hydrogels depend on chain length of the alginate. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 234-242, 2016.

PATRA, S.; ROY, E.; MADHURI, R.; SHARMA, P. K. Agar based bimetallic nanoparticles as high-performance renewable adsorbent for removal and degradation of cationic organic dyes. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 33, p. 226-238, 2016.

PEREIRA, M. R.; MARQUES, J. S.; FONSECA, J. L. C. Biocomposites based on chitosan and carnauba straw powder. **Polímeros**, v. 24, n. 4, p. 446-452, 2014.

PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A. C. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da UNIFEFE**, v. 1, n. 09, 2011.

POPAT, A.; LIU, J.; LU, G. Q. M.; QIAO, S. Z. A pH-responsive drug delivery system based on chitosan coated mesoporous silica nanoparticles. **Journal of Materials Chemistry**, v. 22, n. 22, p. 11173-11178, 2012.

REYES, A. W. B.; ARAYAN, L. T.; SIMBORIO, H. L. T.; HOP, H. T.; MIN, W.; LEE, H. J.; KIM, S. Dextran sulfate sodium upregulates MAPK signaling for the uptake and subsequent intracellular survival of *Brucella abortus* in murine macrophages. **Microbial pathogenesis**, v. 91, p. 68-73, 2016.

ROCHA, J. M. D. **Sustentabilidade em questão**: Economia, sociedade e meio ambiente. Jundiaí, SP: Paco, 2011.166p.

SAGIRI, S. S.; PAL, K.; BASAK, P. Encapsulation of animal wax-based organogels in alginate microparticles. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 20, p. 1-11, 2014.

SANTOS, A. R.; WADA, M. L. F. Polímeros biorreabsorvíveis como substrato para cultura de células e engenharia tecidual. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 4, p. 308, 2007.

SCHNEPP, Z. Biopolymers as a flexible resource for nanochemistry. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 52, n. 4, p. 1096-1108, 2013.

SEVERINO, P.; SANTANA, M. H. A.; MALMONGE, S. M.; SOUTO, E. B. Polímeros usados como sistemas de transporte de princípios ativos. **Polímeros**, v. 21, n. 5, p. 361-368, 2011.

SHANKAR, S.; WANG, L. F.; RHIM, J. W. Preparations and characterization of alginate/silver composite films: Effect of types of silver particles. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 208-216, 2016.

SILVESTRE, C.; DURACCIO, D.; CIMMINO, S. Food packaging based on polymer nanomaterials. **Progress in Polymer Science**, v. 36, n. 12, p. 1766-1782, 2011.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. Biopolímeros: “plásticos de grãos e tubérculos. A Lavoura, n. 690, p. 22-23, 2012.

Disponível em: [https://issuu.com/sociedadnacionaldeagricultura/docs/a\\_lavoura\\_690](https://issuu.com/sociedadnacionaldeagricultura/docs/a_lavoura_690)

Acesso em: 25 de abril de 2016.

SOUZA, C. A.; SIQUEIRA, S. M.; DE AMORIM, A. F.; DE MORAIS, S. M.; GONÇALVES, T.; Gomes, R. N.; RICARDO, N. M. Encapsulação do ácido l-ascórbico no biopolímero natural galactomanana por *spray-drying*: preparação, caracterização e atividade antioxidante. **Química Nova**, v. 38, n.7, p. 877-883, 2015.

STEYAERT, I.; RAHIER, H.; VAN VLIERBERGHE, S.; OLIJVE, J.; DE CLERCK, K. Gelatin nanofibers: Analysis of triple helix dissociation temperature and cold-water-solubility. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 200-208, 2016.

TENG, W. ;ZHANG, X.; MERKLE, V.; WU, X. Deformation-induced mechanical anisotropy of gelatin films. **Extreme Mechanics Letters**, v. 7, p. 18-26, 2016.

THEODORO, J. D. P.; PEREIRA, E. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. B.; DOS SANTOS, O. A. A. Estudo de extração salina da semente de Moringa oleifera Lam aplicado na remoção do parâmetro cor para o tratamento de água potável. **Revista Tecnológica**, edição especial, p. 275-283, 2015.

TRANQUILAN-ARANILLA, C.; BARBA, B. J. D.; VISTA, J. R. M.; ABAD, L. V. Hemostatic efficacy evaluation of radiation crosslinked carboxymethyl kappa-carrageenan and chitosan with varying degrees of substitution. **Radiation Physics and Chemistry**, v.124, p. 124-129, 2016.

VALERO-VALDIVIESO, M. F.; ORTEGON, Y.; USCATEGUI, Y. Biopolímeros: avances y perspectivas. **Dyna**, v. 80, n. 181, p. 171-180, 2013.

VANDAMME, T. F.; LENOURRY, A.; CHARRUEAU, C.; CHAUMEIL, J.C. The use of polysaccharides to target drugs to the colon. **Carbohydrate Polymer**, Oxford, v. 48, p. 219-231, 2002.

VEJDAN, A.; OJAGH, S. M.; ADELI, A.; ABDOLLAHI, M. Effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the physico-mechanical and ultraviolet light barrier properties of fish gelatin/agar bilayer film. **LWT-Food Science and Technology**, v. 71, p. 88-95, 2016.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. Polímeros sintéticos. **Química nova na escola**, edição especial, p. 1-4, 2001.

WANG, Y.; ZHOU, J.; LIU, L.; HUANG, C.; ZHOU, D.; FU, L. Characterization and toxicology evaluation of chitosan nanoparticles on the embryonic development of zebrafish, Danio Rerio. **Carbohydrate Polymers**, v. 141, p. 204-210, 2016.



Wu, M.; Cao, Z.; Zhao, Y.; Zeng, R.; Tu, M.; Zhao, J. Novel self-assembled pH-responsive biomimetic nanocarriers for drug delivery. **Materials Science and Engineering: C**, v. 64, p. 346-353, 2016.

ZAIA, D. A. M. Da geração espontânea à química prebiótica. **Química Nova**, v. 26, n. 2, p. 260-264, 2003.