



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – (UFERSA)

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO – (PRG)

CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS - (CMPF)

BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - (BCT)

DAVID MATHEUS DE OLIVEIRA ROLIM

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DOS BIOPOLÍMEROS PARA O
MELHORAMENTO DA QUALIDADE DE VIDA FRENTE ÀS POSSIBILIDADES DE
APLICAÇÃO E INOVAÇÃO**

PAU DOS FERROS-RN

2019

DAVID MATHEUS DE OLIVEIRA ROLIM

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DOS BIOPOLÍMEROS PARA O
MELHORAMENTO DA QUALIDADE DE VIDA FRENTE ÀS POSSIBILIDADES DE
APLICAÇÃO E INOVAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Bacharel Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos

PAU DOS FERROS-RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R748a Rolim, David Matheus de Oliveira.
ANÁLISE DA APLICABILIDADE DOS BIOPOLÍMEROS
PARA O MELHORAMENTO DA QUALIDADE DE VIDA FRENTE ÀS
POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO E INOVAÇÃO / David
Matheus de Oliveira Rolim. - 2019.
62 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Biopolímeros. 2. Avanço tecnológico. 3. Saúde.
4. Bem-estar. I. Ramos, Josy Eliziane Torres,
orient. II. Título.

DAVID MATHEUS DE OLIVEIRA ROLIM

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DOS BIOPOLÍMEROS PARA O
MELHORAMENTO DA QUALIDADE DE VIDA FRENTE ÀS POSSIBILIDADES DE
APLICAÇÃO E INOVAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 15 / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos (UFERSA)
Presidente



Prof. Dra. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Jennef Carlos Tavares (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, pela oportunidade de viver a cada dia e desfrutar de novas descobertas que o mundo pode proporcionar.

À minha mãe, uma mulher batalhadora, que me inspira a cada dia ser uma pessoa melhor, mais gentil, que corre atrás de seus sonhos e não mede esforços para realiza-los.

Agradecer aos meus irmãos que me apoiaram durante todo esse tempo.

Gostaria de agradecer à minha orientadora Josy, que me guiou durante todo o trabalho, através dos infinitos e longos caminhos do conhecimento.

Agradeço a todos os meus queridos amigos, que me acompanharam durante toda essa jornada e me deram forças para continuar a batalhar, que me fizeram viver momentos inesquecíveis que jamais irei esquecer e levarei comigo durante toda a minha vida.

Agradeço a todos os meus professores e ex-professores, que tiveram suas contribuições para que eu chegasse a onde estou hoje.

Agradeço a todos que, mesmo de forma indireta, contribuíram para que esse momento fosse possível.

“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

Os biopolímeros passaram a ser alvos de maior atenção à medida que foi crescendo a necessidade por produtos que não prejudiquem o meio ambiente, visto o uso exagerado de polímeros petroquímicos com suas características não biodegradáveis, proporcionando sérios problemas ambientais como o acúmulo de plásticos, e a longo prazo prejudicando a qualidade de vida. Este trabalho apresenta uma análise a respeito da aplicabilidade dos biopolímeros que possam beneficiar e proporcionar qualidade de vida para os usuários finais. O estudo foi realizado através de pesquisa exploratória e descritiva, buscando artigos e/ou livros em fontes de dados acadêmicos. Nisso, soluções tecnológicas estão em desenvolvimento com esse propósito, com polímeros naturais de diferentes grupos e seus respectivos constituintes, cada um com suas formas de aplicação que possam beneficiar a vida humana de forma direta ou indiretamente, dependendo de sua forma de aplicação. Com esses avanços tecnológicos e demanda mundial em busca de melhoria da saúde, a substituição de polímeros com origem não renovável por materiais ecologicamente corretos têm sido testados em diversas áreas com esse propósito, como na área biomédica, tratamento de águas e efluentes industriais, na farmacologia e na geração de eletricidade, mostrando boas características ao serem aplicados nesses segmentos que beneficiam a vida humana.

Palavras-chave: Biopolímeros. Avanço tecnológico. Saúde. Bem-estar.

ABSTRACT

Biopolymers became the target of increased attention as the need for environmentally-friendly products increased, as the use of petrochemical polymers with their non-biodegradable characteristics, leading to serious environmental problems such as the accumulation of plastics, and long-term impairing the quality of life. This work presents an analysis about the applicability of biopolymers that can benefit and provide quality of life for end users. The study was conducted through exploratory and descriptive research, seeking articles and/or books in academic data sources. In this, technological solutions are in development with this purpose, with natural polymers of different groups and their respective constituents, each one with its forms of application that can benefit the human life directly or indirectly, depending on its form of application. With these advances in technology and worldwide demand for health improvement, the substitution of non-renewable polymers with environmentally friendly materials has been tested in a number of areas for this purpose, such as biomedical, water and industrial effluent treatment, pharmacology and the generation of electricity, showing good characteristics when applied in these segments that benefit human life.

Keywords: Biopolymers. Technological progress. Health. Welfare.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação gráfica de monômero e polímero.....	16
Figura 2: Representação de uma célula solar sensibilizada por corante e de seus componentes.	21
Figura 3: Ilustração esquemática de uma célula DSSC clássica e seu mecanismo de funcionamento, em que a letra D representa o corante (dye) e BC a banda de condução.....	22
Figura 4: Carácter da pesquisa.....	27
Figura 5: Objetivo do estudo descritivo.	27
Figura 6: Fontes de dados acadêmicos para a pesquisa bibliográfica.	29
Figura 7: Comparação entre 3 grupos de ratos Wistar nos tempos de 2 e 8h, para acompanhar a eliminação de ⁶⁴ Cu do organismo de forma natural, e com o auxílio dos biopolímeros (1 – Controle, 2 – Celulose e 3 – Quitosana).....	36
Figura 8: Técnicas de bioimpressão: A) bioimpressão baseado em extrusão, B) bioimpressão baseado em gotículas, C) bioimpressão à laser.	37
Figura 9: Representação de uma possível aplicação de nanocompósito de quitosana para regeneração óssea.	38
Figura 10: Estruturas moleculares de alginato e agarose e suas estruturas impressas representativas em 3D.	38
Figura 11: Representação dos métodos de revestimento de frutos pelo método de imersão (A) e de aspersão (B).....	41
Figura 12: Etapas do método de imersão do fruto em solução filmogênica.....	41
Figura 13: Agarose e alginato de sódio e seu diagrama de mecanismo de gelificação ideal. ..	44
Figura 14: a) Molécula de agarose e b) Mecanismo de transporte dos íons K ⁺ através da agarose.	46
Figura 15: Esquema de interação entre a quitosana reticulada com glutaraldeído e o corante reativo laranja 16.	50
Figura 16: a) flocos únicos e b) flocos agregados.	50
Figura 17: Mecanismo de adsorção de Cr (VI) pelo ISPC.	52
Figura 18: Mecanismo de adsorção.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais biopolímeros e algumas de suas aplicações.....	26
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Publicações anuais artigos de pesquisa na área dos biopolímeros.	30
Gráfico 2: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na biomedicina.	31
Gráfico 3: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na farmacologia.	31
Gráfico 4: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na área de cobertura de alimentos.	32
Gráfico 5: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na área de tratamento de águas residuárias.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 POLÍMEROS	16
3.1.1 Polímeros sintéticos	16
3.1.2 Polímeros naturais/Biopolímeros.....	18
3.2 DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELLS – CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTE).....	19
3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	23
3.4 BIOMEDICINA E FARMACOLOGIA	24
3.4.1 Farmacologia	24
3.4.2 Biomedicina	24
3.5 APLICAÇÕES EM GERAL	25
4 METODOLOGIA.....	27
4.1 CARÁCTER DA PESQUISA	27
4.2 PROCEDIMENTOS	28
4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1. PRODUTOS MÉDICOS E FARMACÊUTICOS	33
5.1.1 Biopolímeros na biomedicina	34
5.1.2 Biopolímeros na farmacologia.....	39
5.2 APLICAÇÃO NA ÁREA DE ALIMENTOS	40
5.2.1 Compósitos biopoliméricos	43
5.3 APLICAÇÃO NA ENGENHARIA DE ENERGIA	44
5.4 APLICAÇÕES NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	47
5.4.1 Biopolímero quitosana como destaque na área.....	48
6 CONCLUSÃO.....	54

5.1 TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O primeiro contato do homem com resinas e/ou graxas, que passaram por determinado processo de refinamento, remonta à antiguidade com os egípcios e romanos que faziam o uso deles para carimbar, colar documentos e vedar vasilhames (CANEVAROLO, 2006). Em 1000 a.C., segundo Wiebeck e Harada (2005), os chineses fizeram a descoberta do verniz, o qual é extraído da seiva da árvore *Rhus vernicflua*, um dos materiais poliméricos que passaram a ser utilizados como revestimento impermeáveis e duráveis, o qual foram utilizados em móveis domésticos até a década de 1950.

Com o passar do tempo, as técnicas foram cada vez mais sendo aperfeiçoadas por meio da ciência, esta que também passou por enorme desenvolvimento. Com isso, no ano de 1550, é mencionada pela primeira vez a borracha natural, feita por Valdes em uma expedição feita à América Central, o qual os nativos já faziam uso dela. Além das já citadas descobertas, outras também relevantes foram feitas ao longo do tempo, como em 1840, ano que Alexander Parkes desenvolve a Parkesina, uma resina moldável à base de nitrato de celulose, material extremamente inflamável. Nelson Goodyear, em 1851 patenteia e comercializa a ebonite, um material produzido pela vulcanização da borracha usando excesso de enxofre, sendo primeiro material termofixo usado comercialmente, e que também envolveu a modificação de um polímero natural. Em 1880 uma gravadora berlinense começou a usar goma-laca para a fabricação de discos fonográficos, pois a mesma detinha a capacidade de reproduzir detalhes finos de formato, até ser substituída em 1952 pelo polímero PVC (Policloreto de vinila), polímero esse que apareceu em 1927. Com o passar das décadas, várias outras descobertas foram realizadas até chegar nos tempos atuais (WIEBECK; HARADA, 2005).

Nota-se através desses estudos citados que não é dos tempos atuais que os biopolímeros tem sido utilizado pela humanidade, destinando-as para alguma utilidade cabível para os conhecimentos da época seguinte de sua descoberta. Conforme passaram-se os anos, as ciências passaram por um contínuo desenvolvimento e produção de conhecimento, principalmente ao longo de boa parte do século XX (JÚNIOR *et al.*, 2014).

Atualmente, a cada ano a demanda por polímeros biodegradáveis cresce a uma taxa de 20% a 30%. No entanto, represente ainda cerca de menos de 0,1% do mercado mundial de plástico. Esse fato se dá por conta dos altos preços, poucos produtos encontrados no mercado, baixa performance e pouca atenção a sua legislação (FECHINE, 2017).

Com as problemáticas enfrentadas atualmente a respeito da questão ambiental, a utilização de polímeros obtidos a partir de derivados de petróleo geram danos à natureza ao serem descartados, interferindo para a qualidade de vida humana. Chegando aos tempos atuais, com mais pesquisas sendo realizadas, várias delas buscando maneiras de desenvolver produtos a partir de polímeros naturais, como é mostrado nos estudos de Farias *et al.* (2016), que estejam à altura de os substituir igualmente, ou, com características que os superem, com um preço mais em conta de sua matéria-prima para serem amplamente utilizadas pela indústria.

Através do desenvolvimento de produtos e processos, os biopolímeros poderiam encontrar espaço para mostrarem suas capacidades, principalmente em áreas que beneficiam a qualidade de vida humana, seja de forma direta ou indireta, mas que só com investimentos adequados em pesquisa para o seu desenvolvimento são necessários para que os biopolímeros cheguem ao mercado (FARIAS *et al.* 2016).

2 OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivo analisar a importância dos polímeros na vida humana, no que tangente a ampla gama de aplicações, paralelamente associadas à vantagem de ter diversas alternativas no que se refere a indicação do material mais adequado ao problema em questão.

2.1 OBJETIVO GERAL

Abordar e/ou avaliar os principais aspectos relacionados a importância dos polímeros na vida humana, bem como as consequências de sua aplicabilidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar uma perspectiva sobre os principais polímeros aplicados em algumas áreas específicas, sobretudo à vida humana;
- Contribuir para a compreensão e compreender os mecanismos das interações existentes entre os produtos poliméricos e suas aplicabilidades;
- Avaliar os benefícios dos materiais fabricados na qualidade de vida humana;
- Avaliar os benefícios dos materiais para a diminuição dos impactos ambientais, relacionando aos possíveis beneficiamentos para a qualidade de vida humana.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

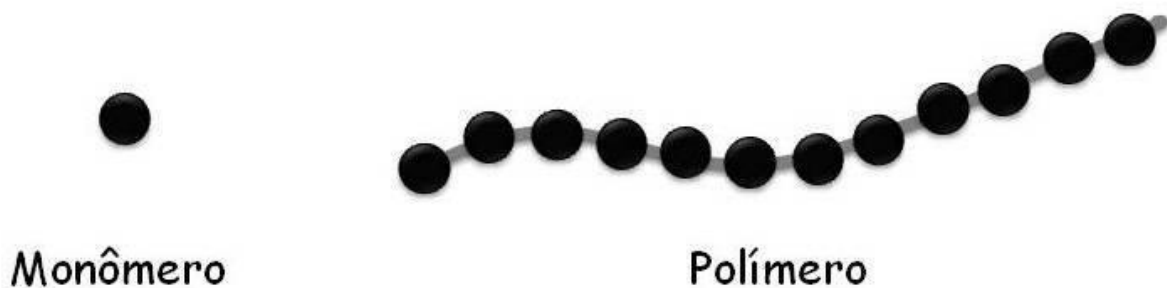
3.1 POLÍMEROS

Segundo Canevarolo (2006),

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidade de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, podemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras.

A Figura 1 ilustra a unidade básica de um polímero, o monômero, e a junção dos monômeros para compor o polímero.

Figura 1: Representação gráfica de monômero e polímero.



Fonte: SULZBACH *et al.* (2015).

Os polímeros podem ser classificados de diversas maneiras. Uma de suas principais classificações decorre de sua origem. A partir daí os polímeros podem ser classificados em polímeros sintéticos e naturais.

3.1.1 Polímeros sintéticos

Desde a década de 50, o crescimento pela demanda de plásticos vem passando por um crescimento positivo. Esses plásticos são conhecidos como polímeros sintéticos, no qual são

obtidos, normalmente, a partir de reações químicas provenientes da refinação ou craqueamento do petróleo. Esses polímeros possuem uma série de vantagens, destacando-se sua alta durabilidade e o uso diversificado, por serem bastante flexíveis quanto ao seu uso, resistentes, maleáveis e por terem seu processo com fácil reprodutibilidade, visto que um único polímero pode apresentar propriedades que atendam diversos nichos de mercado (OLIVEIRA, 2017; GARCIA *et al.*, 2018).

Fechine (2017) afirma que

Na sociedade contemporânea, os polímeros vêm substituindo gradualmente os materiais convencionais em quase todos os setores da economia, não só por seu baixo custo, mas também em consequência do desenvolvimento contínuo de sua funcionalidade. Apesar do apelo visual comercialmente interessante, são as suas propriedades físicas e químicas que os fazem tecnologicamente atraentes.

Fechine (2017) também comenta que os polímeros sofrem degradação através de vários mecanismos, podendo acontecer de forma gradual ou rapidamente. Particularmente, os polímeros que são formados a base de hidrocarbonetos possuem alta resistência ao ataque químico e biológico, motivo esse que os assegura em possuir alta longevidade em relação ao ataque de microorganismos.

Com o aumento do consumo desses polímeros, aumentou também o impacto ambiental causado pela quantidade excessiva de descarte desses materiais pelo consumo na sociedade contemporânea (GALDEANO *et al.*, 2009).

Por serem amplamente utilizados, por conta do crescimento das indústrias e também do desenvolvimento tecnológico, cresceu também a variedade de polímeros sintéticos, o que possibilitou que vários processos surgissem, implicando num grande aumento de sua produção, o que consequentemente acarretou para um dos grandes problemas que são discutidos atualmente causados pelos polímeros sintéticos, a questão ambiental. Por terem sua origem a partir do petróleo, possuem alta resistência à degradação, que os fazem levar inúmeros anos para serem degradados, causando problemas ao meio ambiente, tornando-se um grave problema ambiental (OLIVEIRA, 2017; ANDRADE-MOLINA *et al.*, 2013).

3.1.2 Polímeros naturais/Biopolímeros

Segundo Elnashar (2010), biopolímeros são polímeros produzidos por organismos vivos. Como exemplo de biopolímeros, têm-se a celulose, amido e quitina, proteínas e peptídeos, DNA e RNA, são todos exemplos de biopolímeros, nos quais as unidades monoméricas são açúcares, aminoácidos e nucleotídeos.

Elnashar (2010) diz que

Biopolímeros e seus derivados são diversos, abundantes e importantes para a vida. Eles exibem propriedades fascinantes e são de importância crescente para diferentes aplicações. A matéria viva é capaz de sintetizar uma enorme variedade de polímeros, que podem ser divididos em proteínas e poli (aminoácidos), polissacarídeos como celulose, amido e xantana, quitosana, alginato, carragenina, poliésteres orgânicos como os ácidos poli (hidroxialcanóicos), poli (ácido málico) e cutina.

Os biopolímeros são uma classe de material derivado de fontes renováveis, que podem ser divididos em três categorias de acordo com Shalini (2009), no qual depende de sua origem e produção:

- 1) polímeros extraídos diretamente da biomassa (polissacarídeos - amido, celulose, quitina/quitosana, dextrana, etc. e proteínas - colágeno/gelatina, caseína, albumina, seda, elastina, etc.);
- 2) polímeros produzidos por síntese química clássica usando monômeros de fonte renovável (poliácido láctico - PLA, um biopoliéster polimerizado a partir de ácido láctico e monômeros, que podem ser produzidos pela fermentação de carboidratos);
- 3) polímeros produzidos por microrganismos ou bactérias modificadas geneticamente (polihidroxialcanoatos – PHAs, polihidroxibutirato – PHB, etc.).

Segundo Brown *et al.* (2005), desde muito tempo, no decorrer do desenvolvimento humano, os homens sempre utilizaram polímeros naturais como a lã, couro e borracha natural, processando conforme se fizesse necessário.

Os biopolímeros se apresentam como uma alternativa em relação aos polímeros à base de fontes não renováveis, como o petróleo (plásticos tradicionais). Isto porque alguns polímeros se degradam em apenas algumas semanas, enquanto outros demoram vários meses. A biodegradabilidade e outras propriedades plásticas dependem diretamente da estrutura do

polímero. Ao fazer modificações, alterando suas estruturas, essas propriedades podem ser melhoradas e aperfeiçoadas (KUMAR, 2013).

Sharmin e Zafar (2017) afirmam que com a persistência dos perigos ambientais e perigos que comprometam a saúde humana, os biopolímeros passaram por um aumento na sua utilização. Eles possuem vários atributos que são altamente desejáveis, tais como biodegradabilidade, biocompatibilidade e versatilidade funcional, o que os colocam em uma determinada vantagem sobre outros polímeros. Hoje, eles encontram amplas aplicações em diversos campos. Em conjunto com a nanotecnologia, que oferece enormes oportunidades para projetar e adaptar os biopolímeros, suas aplicações são consideravelmente aumentadas.

Por possuírem características que os fazem ter grande vantagem, se tratando das propriedades que os diferenciam por serem justamente polímeros naturais, tais como os polissacarídeos e/ou oligossacarídeos, são justamente por apresentarem baixa toxicidade, características filmogênicas, biodegradabilidade, disponibilidade, derivação e baixo custo, segundo Vandame *et al.* (2002, apud FARIAS *et al.*, 2016). Por possuírem propriedades tão importantes para um desenvolvimento sem gerar impactos à natureza e consequente estabelecer uma melhor relação do ser humano com esta, a busca por novos materiais poliméricos que apresentem tais propriedades torna-se um estímulo a mais.

Com a ciência avançando à medida que o tempo passa, novos materiais poliméricos aplicáveis em diversas áreas com determinadas características foram sendo descobertos. Como exemplo, tem-se os hidrogéis, polímeros condutores, polímeros bioabsorvíveis, sendo este último possuindo grande relevância no campo da biomedicina, pois possuem a capacidade de se dissolver sem sofrer clivagem da cadeia macromolecular ou sem sua massa molecular diminuir em fluidos orgânicos. (SANTOS e WADA, 2007; FARIAS *et al.*, 2016).

“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.” (FARIAS *et al.*, 2016).

Os estudos de polímeros a partir de fontes renováveis e biodegradáveis capazes de substituir com a mesma ou até melhor performance os polímeros advindos do petróleo têm sido trabalhados justamente com essa perspectiva (PITT *et al.*, 2011).

3.2 DSSC (Dye Sensitized Solar Cells – Células solares sensibilizadas por corante)

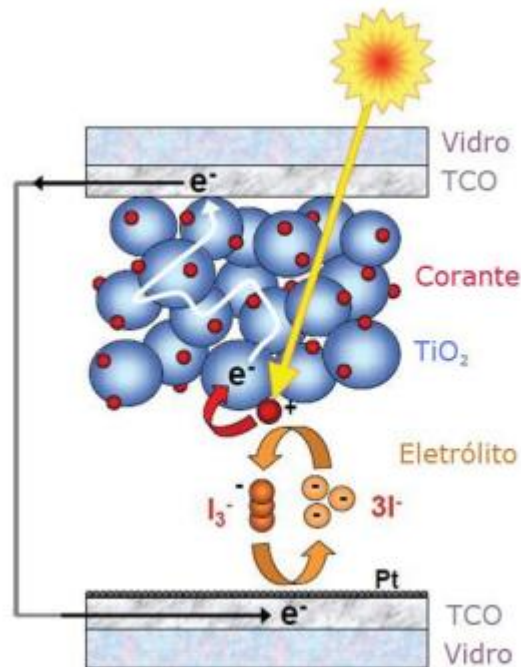
Células solares são dispositivos capazes de transformar a energia luminosa, proveniente do Sol ou de outra fonte de luz, em energia elétrica. Também chamadas de células fotovoltaicas, uma célula fotovoltaica pode funcionar como geradora de energia elétrica a partir da luz (COUTINHO, 2014).

DSSC é um dispositivo eletroquímico que usa moléculas de corante de absorção de luz adsorvidas em nanopartículas semicondutoras para gerar eletricidade a partir da luz solar. Eles são promissores para a geração de eletricidade solar de baixo custo, devido aos seus materiais de impressão baratos e às técnicas de fabricação simples (HALME *et al.*, 2010).

Segundo Iqbal *et al.* (2019) as DSSC têm surgido como um dos desenvolvimentos tecnológicos mais promissores no campo das energias renováveis. O corante, como um dos constituintes de um dispositivo DSSC, como sensibilizador, desempenha um papel imperativo na avaliação do desempenho desses dispositivos.

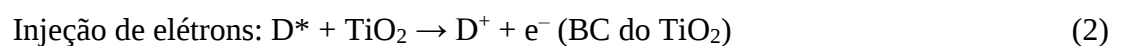
São constituídas por três partes principais: um fotoeletrodo, uma solução eletrolítica e um contra-eletrodo. O primeiro é formado por uma placa de vidro onde é depositado um óxido transparente condutor, TCO (Transparent Conductor Oxide), que é logo em seguida revestido por um filme de nanopartículas de um óxido semicondutor, como por exemplo o dióxido de titânio (TiO_2), que são sensibilizadas por um corante. O corante absorve a luz incidente, transferindo elétrons para as nanopartículas. Um par redox contido no eletrólito, geralmente I^-/I_3^- , faz a redução do corante oxidado e é regenerado no contra-eletrodo. O contra-eletrodo é geralmente constituído por um vidro condutor, revestido por um filme de Platina (Pt) (COUTINHO, 2014). A Figura 2 apresenta um esquema de uma célula solar sensibilizada por corante com seus componentes.

Figura 2: Representação de uma célula solar sensibilizada por corante e de seus componentes.



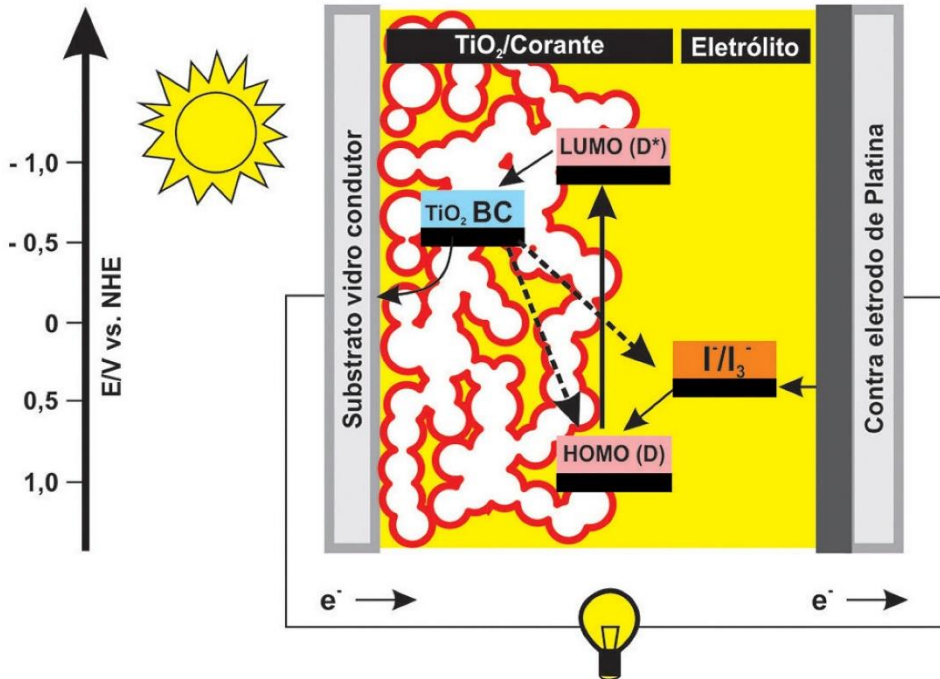
Fonte: COUTINHO (2014).

Semelhante ao processo de conversão de energia que é realizado pelas plantas através da fotossíntese, que também envolve a absorção da luz solar por um corante, a clorofila, Sonai *et al.* (2015) comentam que o princípio básico de funcionamento de uma DSSC é similar ao processo citado. No caso do DSSC, quando iluminação é incidido sobre ele, o corante presente absorve luz, segundo a Equação (1), e no estado excitado é capaz de transferir elétrons para a banda de condução (BC) do TiO_2 como mostra a Equação (2):



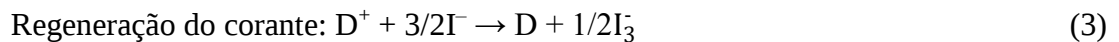
Na Figura 3 a seguir é ilustrada a representação do funcionamento de uma célula DSSC padrão:

Figura 3: Ilustração esquemática de uma célula DSSC clássica e seu mecanismo de funcionamento, em que a letra D representa o corante (dye) e BC a banda de condução.

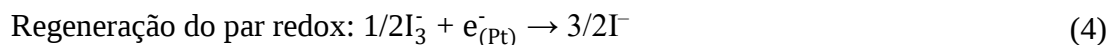


Fonte: SONAI *et al.* (2015).

O corante que até então foi oxidado, é regenerado sendo reduzido pelos íons iodeto (I^-) que em conjunto com os íons triiodeto (I_3^-) formam o eletrólito, como mostra a Equação (3):



Os elétrons fotogerados são então transportados através do circuito externo, realizando trabalho e atingem o contra eletrodo, onde os íons I_3^- são então reduzidos a I^- de acordo com a Equação (4).



Uma abordagem alternativa utiliza materiais naturais, como polissacarídeos, para gelificar os eletrólitos líquidos de DSSCs, o que evita a poluição ambiental por não formar resíduos que exijam descarte ou tratamento adicional (BIDIKOU DI *et al.*, 2015).

3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Os métodos mais utilizados para o fim de tratamento de efluentes são a utilização de produtos químicos, tais como sais inorgânicos, como sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3), sulfato ferroso (FeSO_4) e policloreto de alumínio ($\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$, na qual a relação $m/3n$ representa a basicidade do composto), são utilizados rotineiramente como coagulantes para tratamento de águas (JÚNIOR *et al.*, 2018).

Ainda segundo Júnior *et al.* (2018), entre os floculantes mais utilizados na atualidade, se destacam aqueles a base de poliacrilamida, ácido poliacrílico, poli (cloreto de dialil dimetil amônio) e poliamina, em que são baseados em polímeros sintéticos orgânicos solúveis em água, que na maioria das vezes são derivados de matérias primas não renováveis. Esses floculantes podem ser classificados como catiônicos, aniônicos, anfóteros e não iônicos, como também podem apresentar estruturas ramificadas ou lineares.

A utilização desses coagulantes a base de sais inorgânicos e floculantes poliméricos sintéticos apresentam desvantagens e problemas quanto ao seu uso, tais como possíveis impactos ambientais, em que são constantemente discutidos como consequências da utilização de coagulantes inorgânicos a base de alumínio e ferro (altos custos, toxicidade, geração de grandes volumes de lodo e alteração do valor do pH da água tratada), e os resíduos gerados nos processos de coagulação e floculação são ricos em hidróxidos metálicos não biodegradáveis (OLADOJA *et al.*, 2017; JÚNIOR *et al.*, 2018).

Além disso, o uso de coagulantes poliméricos sintéticos também tem sido relatado por apresentar vários problemas ambientais, pois alguns dos derivados não são biodegradáveis e os produtos intermediários de sua degradação são perigosos para a saúde humana, pois seu monômero é neurotóxico e carcinogênico (OLADOJA *et al.*, 2017).

Alguns polímeros naturais podem ser aplicados para o tratamento de água e efluentes, Theodoro *et al.* (2015) apontam que o biopolímero extraído da *Moringa oleifera* Lam possuem potencial elevado para o tratamento de águas, assim como também a quitosana e taninos vegetais (JÚNIOR *et al.*, 2018).

3.4 BIOMEDICINA E FARMACOLOGIA

3.4.1 Farmacologia

Muitos polímeros de origem natural podem ser utilizados para a preparação de sistemas poliméricos de transporte, entre eles destacando-se os peptídeos, as proteínas e os polissacarídeos. Os biopolímeros podem ser utilizados para preparar micropartículas poliméricas, bem como transportadores coloidais, ou seja, nanopartículas poliméricas (SEVERINO *et al.*, 2011).

Segundo Santos (2018), a degradabilidade “in vivo” com a boa biocompatibilidade podem ser combinadas pelos biopolímeros, assim, possibilitando-os de serem utilizados usados como agentes encapsulantes com o objetivo de libertarem compostos bioativos. Santos (2018) comenta que os polissacarídeos têm sido frequentemente estudados, apresentando resultados promissores, apresentando várias vantagens importantes como a alta estabilidade, hidrofilicidade, segurança e biocompatibilidade.

O que torna vantajoso a utilização de transportadores coloidais, é a possibilidade desses mesmos transportadores coloidais de entregarem vários princípios ativos de forma controlada ao longo do corpo (RAVAL *et al.*, 2010; RAMTOOLA *et al.*, 2011), bem como no aumento da sua captação celular por parte das células do sistema fagocítico mononuclear, designadamente dos macrófagos.

As vantagens por trás dessa classe de biopolímeros incluem a bioadesão a mucosas (ocular, nasal, urinária, gastrointestinal e vaginal), ao qual proporcionando biocompatibilidade, biodegradabilidade e, por fim, uma maior biodisponibilidade dos princípios ativos administrados. A desvantagem é que no processo de obtenção, sofrem variações no rendimento no processo de obtenção do produto a cada lote, devido às dificuldades de obtenção e purificação (SEVERINO *et al.*, 2011).

3.4.2 Biomedicina

O uso de polímeros naturais em aplicações médicas se estende a tempos antigos (KUMAR, 2013). Segundo Santos (2018), tem crescido a procura e utilização de materiais biopoliméricos, sendo esta procura principalmente às aplicações biomédicas, em que o motivo

para esse crescimento é devido ao desenvolvimento das novas tecnologias de processamentos e engenharia de bioprocessos.

Para se fazer uso de um biomaterial ideal para a medicina regenerativa, algumas exigências devem ser atendidas. Entre algumas delas deve ser não tóxico, biocompatível e promover interações celulares ao tecido em desenvolvimento, com propriedades mecânicas e físicas adequadas (PARK *et al.*, 2017).

Park *et al.* (2017) comenta que os biopolímeros por serem similares às macromoléculas biológicas são capazes de serem reconhecidas e metabolizadas no ambiente biológico. Além disso, eles não provocam reações inflamatórias ou imunológicas crônicas, que estão relacionados com frequência aos polímeros sintéticos, devido à sua semelhança com a matriz extracelular. E que ainda as taxas de degradação de biopolímeros dentro de sistemas biológicos podem ser manipuladas modificando suas condições de processamento.

3.5 APLICAÇÕES EM GERAL

Assim como os polímeros convencionais obtidos a partir do petróleo, os biopolímeros podem ser usados para a produção de diversas embalagens como bandejas, garrafas, copos, laminados, filmes de monocamadas, compósitos etc, através dos mesmos equipamentos e técnicas de processamento que são empregadas na confecção dos polímeros convencionais. Para isso, é preciso tomar medidas com o equipamento ao trabalhar com o polímero em processamento, tal como o ajuste das máquinas de acordo com as propriedades reológicas do polímero (COLTRO *et al.*, 2005).

Farias *et al.* (2016) trazem na Tabela 1 vários biopolímeros e suas aplicações, bem como também suas fontes de obtenção.

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	Vejdan <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	Tranquilan-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: FARIAS *et al.* (2016).

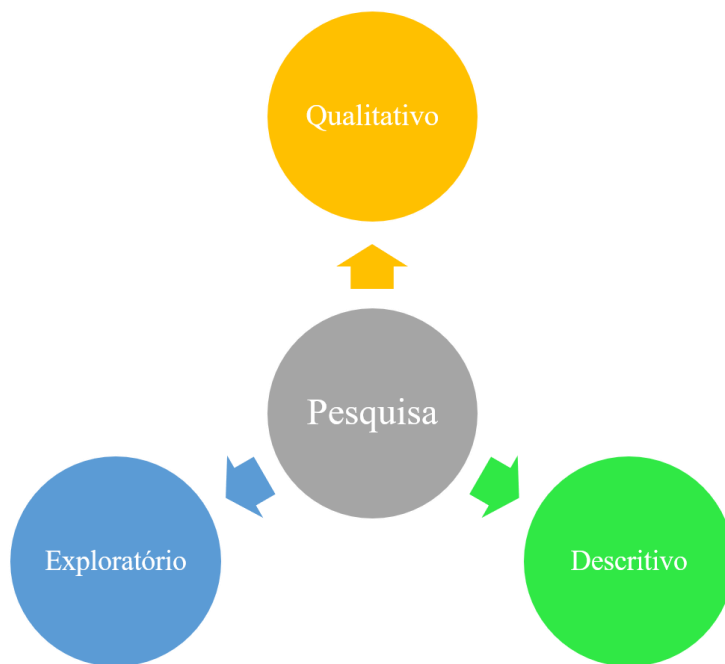
Através da Tabela 1, percebe-se que há várias fontes de biopolímeros com diversas aplicações. Assim, Farias *et al.* (2016) complementam afirmando que a biodiversidade do planeta não é totalmente aproveitada por falta de investimento adequado na ciência e tecnologia, o que acaba interferindo diretamente no desenvolvimento da ciência, que consequentemente afeta na obtenção de produtos que poderiam contribuir para a melhoria da qualidade de vida do ser humano.

4 METODOLOGIA

4.1 CARÁCTER DA PESQUISA

A pesquisa de revisão bibliográfica aplicada apresenta carácter qualitativo, exploratório e descritivo, como ilustra a Figura 4.

Figura 4: Carácter da pesquisa.



Fonte: Próprio autor (2019).

O estudo descritivo objetiva, como apresentado na Figura 5:

Figura 5: Objetivo do estudo descritivo.



Fonte 1: Próprio autor (2019).

De acordo com Silva e Menezes (2005), a respeito da pesquisa qualitativa:

A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

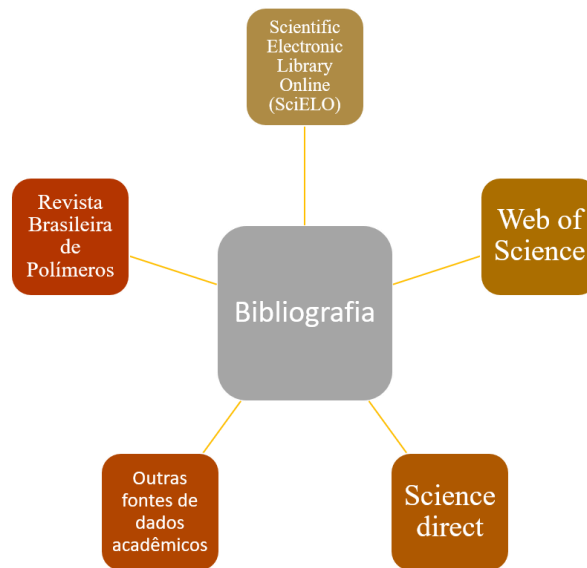
Segundo as afirmações de Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa exploratória e descritiva possui os seguintes aspectos:

- Pesquisa Exploratória – Possui um planejamento flexível, o que permite o estudo do tema sob diversos ângulos e aspectos, envolvendo levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assim, assume em geral as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso.
- Pesquisa Descritiva – O pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles. Tal pesquisa observa, registra, analisa e ordena dados, sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador. Assume, em geral, a forma de levantamento.

4.2 PROCEDIMENTOS

Quanto aos procedimentos, ilustrado na Figura 6, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que tem como recurso à coleta de artigos científicos com pesquisa no idioma inglês/português, realizados em bases de dados eletrônicos como: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Science direct, Web of Science, em revistas especializadas como a Revista Brasileira de Polímeros, entre outras fontes de dados acadêmicos.

Figura 6: Fontes de dados acadêmicos para a pesquisa bibliográfica.



Fonte: Próprio autor (2019).

Além da pesquisa bibliográfica, foi feito um levantamento de dados a respeito do objeto de estudo do trabalho.

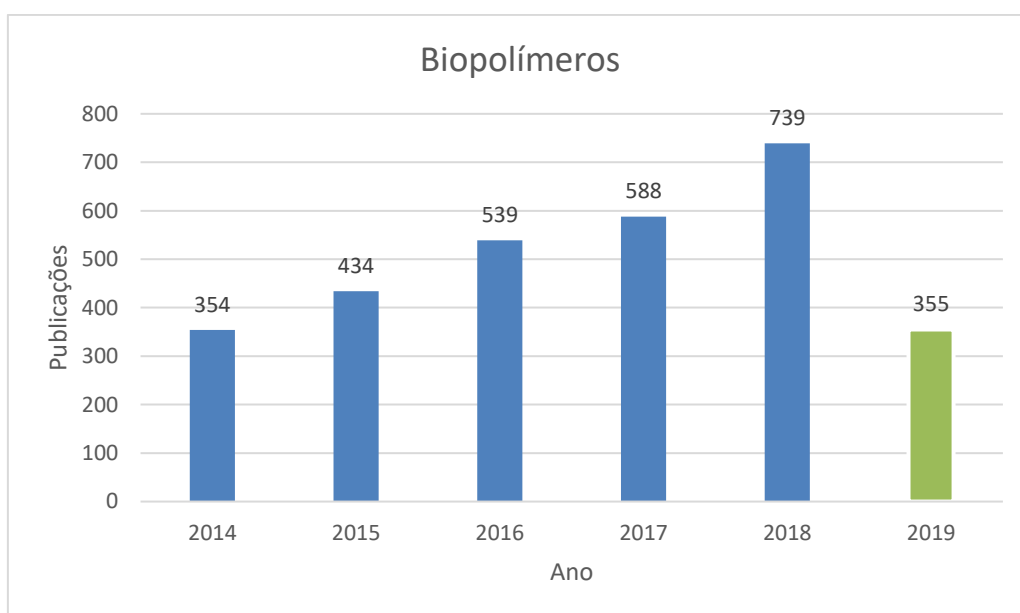
4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

Foi feita uma revisão bibliométrica, quantificando o número de publicações de artigos de pesquisa dos últimos 5 anos no sítio Science Direct, refinando a pesquisa utilizando um filtro para apresentar artigos de pesquisa. O levantamento se deu a respeito do número de publicações dos biopolímeros em geral, utilizando a palavra-chave “Biopolymers”, até a data de 20 de março. Biopolímeros em aplicações biomédicas utilizando as palavras-chave “Biopolymers in biomedical application”, até a data de 20 de março. Em aplicações farmacêuticas utilizando as palavras-chave “Applications of Biopolymers in pharmacology”, até a data de 20 março. Em aplicações como a cobertura de alimentos com biofilme utilizando as palavras-chave “Biopolymer Food Packaging”, até a data de 22 de janeiro. Por fim, a utilização de biopolímeros para o tratamento de águas residuárias através das palavras-chave “Biopolymers in wastewater treatment”, até a data de 20 de março.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o avanço e crescimento de pesquisas a respeito dos biopolímeros, uma das principais áreas que esses materiais ganham maior visibilidade para a sua utilização, é a biomedicina aliada a farmacologia, por abrangerem novas aplicações destes materiais que têm enorme potencial para proporcionar melhorias significativas à qualidade de vida. Têm-se como consequência direta na qualidade de vida pelo fato de os próprios materiais serem de fontes naturais com potencial biocompatibilidade com o corpo humano. O Gráfico 1 ilustra o crescimento de pesquisa a respeito dos biopolímeros ao longo dos últimos 5 anos, com destaque para o ano de 2019, que já possui 355 publicações na área.

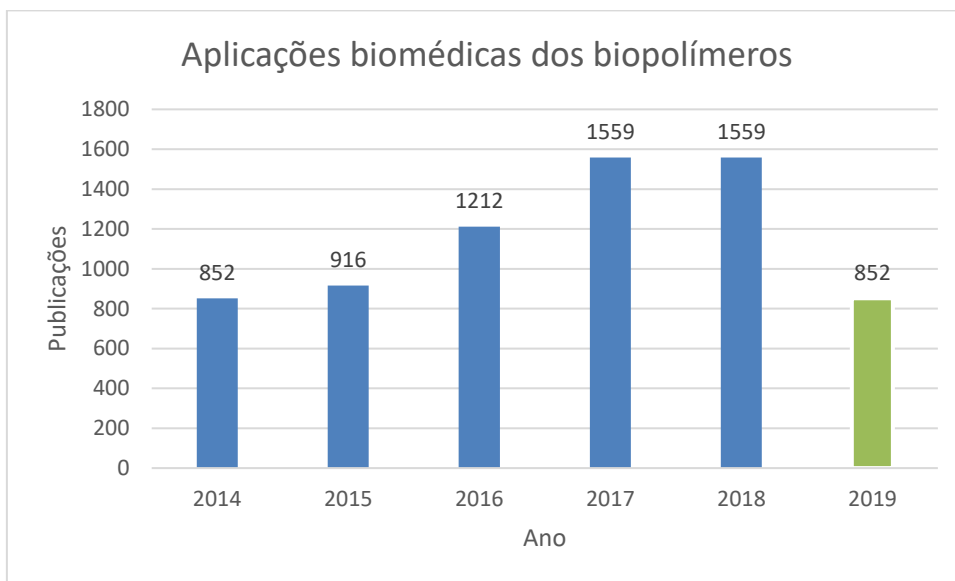
Gráfico 1: Publicações anuais artigos de pesquisa na área dos biopolímeros.



Fonte: Próprio autor (2019).

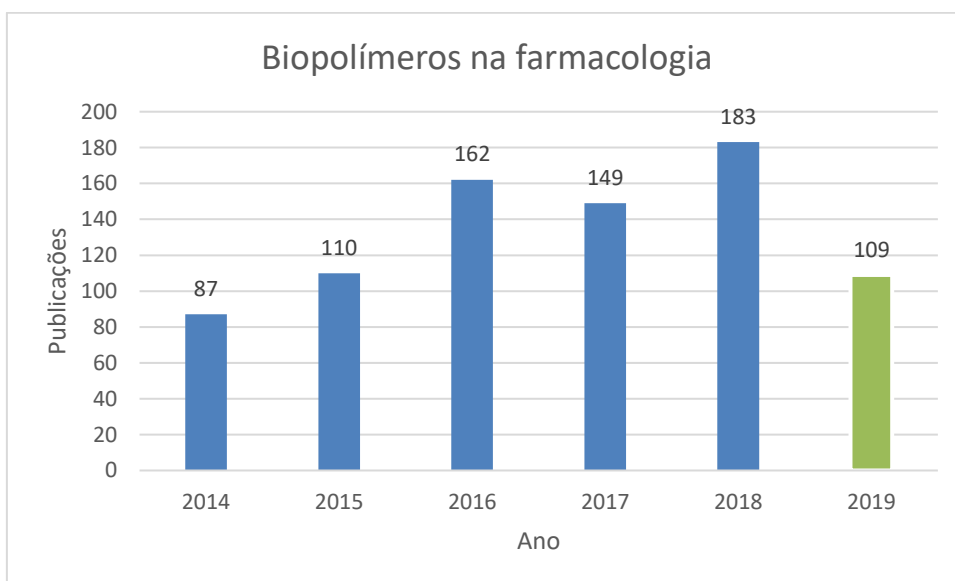
Um dos vetores responsáveis pela possibilidade da usabilidade dos biopolímeros na biomedicina e na farmacologia, que podem os auxiliar na aplicação destes materiais, são técnicas de impressão em três dimensões (3D), em que a mesma é um processo para a construção de objetos físicos 3D a partir de modelos digitais através da deposição sucessiva camada-por-camada de materiais tais como plástico, metal, cerâmica, ou até mesmo células vivas (LIU *et al.*, 2018). Nos Gráficos 2 e 3 a seguir, apresenta o número de publicações ao longo dos últimos 5 anos na biomedicina e farmacologia respectivamente, no ano de 2019 apresenta o número de publicações.

Gráfico 2: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na biomedicina.



Fonte: Próprio autor (2019).

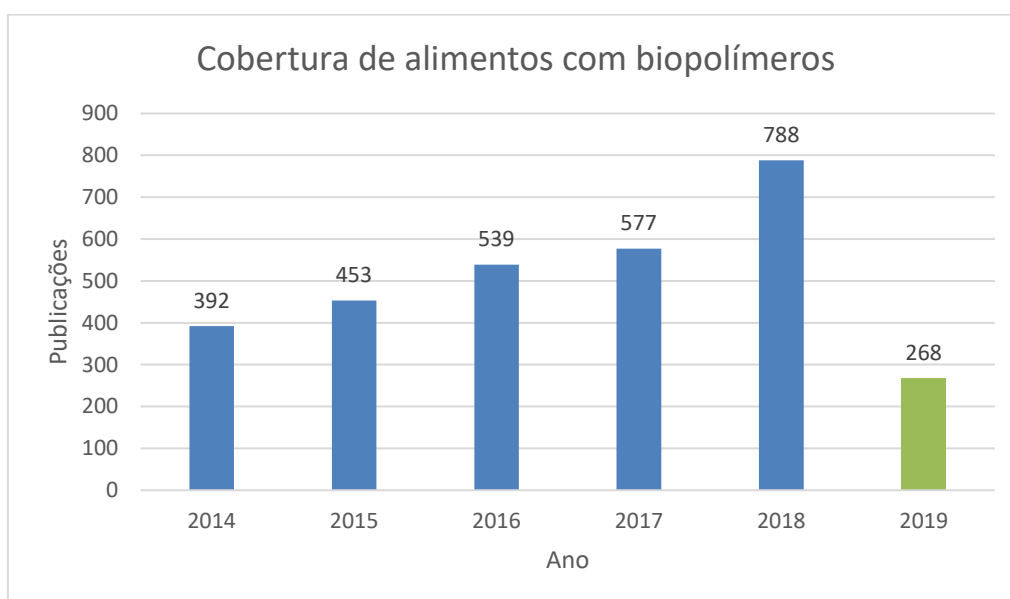
Gráfico 3: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na farmacologia.



Fonte: Próprio autor (2019).

Além das aplicações biomédicas, os biopolímeros vem sendo empregados cada vez mais na área de alimentos, visto o crescimento anual em pesquisas nessa área, principalmente no que diz respeito na cobertura de frutos e alimentos, recebendo o nome de biofilmes. O Gráfico 4 apresenta o crescimento das pesquisas dos biopolímeros em termos de novas publicações nessa área, ao passar dos anos.

Gráfico 4: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na área de cobertura de alimentos.



Fonte: Próprio autor (2019).

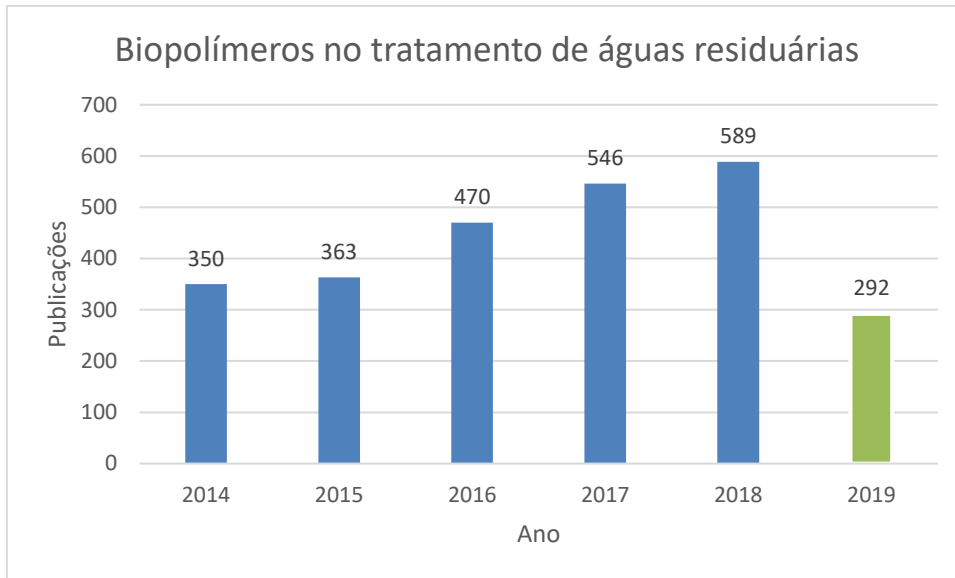
Das informações presentes, tem um maior destaque para o ano de 2019, pois mesmo ainda no início do ano, já se tinham 268 publicações na linha de pesquisa de cobertura de alimentos com biopolímeros.

Munidos com a capacidade de aumentar o tempo de prateleira de alimentos que possuem curto período de vida por conta da desidratação, possuindo um grau de permeabilidade muito baixo em relação à água, sem ter que recorrer a polímeros que originalmente eram utilizados, estes que são obtidos a partir de fontes não renováveis, principalmente o petróleo.

Os biofilmes conciliam duas características almejadas nos dias atuais, onde em tempos de grandes acúmulos de resíduos plásticos na natureza vem preocupando cada vez mais a população em geral. Os filmes obtidos com biopolímeros possui alto grau de degradabilidade, passando muito pouco tempo na natureza até ser totalmente degradado. Além de já citado, aumentam o tempo de vida de prateleira de alimentos altamente perecíveis, principalmente frutos e hortaliças.

Além dessas aplicações, os biopolímeros também estão sendo empregados para o tratamento de águas residuárias, pois apresentam benefícios ao serem utilizados em relação aos produtos químicos que já são amplamente aplicados com esse propósito. No Gráfico 1 a seguir, é apresentado a quantidade de publicações nessa área nos últimos 5 anos.

Gráfico 5: Publicações anuais de artigos de pesquisa sobre biopolímeros na área de tratamento de águas residuárias.



Fonte: Próprio autor (2019).

Nota-se que no ano de 2019 já se possui 292 artigos nessa área. Além disso, percebendo-se também um crescimento ao longo dos anos em pesquisas dos biopolímeros para aplicação nessa área.

5.1. PRODUTOS MÉDICOS E FARMACÊUTICOS

O estudo acerca da aplicação dos biopolímeros em prol da qualidade de vida humana já vem sendo estudada já faz algumas décadas. Mas devido aos avanços da tecnologia, principalmente nos últimos 10 anos, o avanço da ciência proporcionou um acelerado crescimento no desenvolvimento de técnicas de impressão em três dimensões (3D), proporcionando novas maneiras em que os biopolímeros poderiam ser aplicados.

Na última década principalmente, Park *et al.* (2016) comenta que vários biopolímeros passaram a serem alvos de atenção para fins de aplicações médicas envolvendo novos biomateriais devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e facilidade de processamento. Até hoje, muitos compósitos funcionais baseados em biopolímeros foram desenvolvidos para aumentar o valor de biopolímeros crus obtidos de fontes naturais ou sistemas microbianos.

Charles W. Hull foi o primeiro a propor o conceito de impressão 3D, usando uma estereolitografia para fazer objetos de polímeros na década de 1980. Hoje em dia, existem

muitas tecnologias de impressão 3D ou AM (do inglês *additive manufacture* – fabricação aditiva) diferentes que foram divididas em várias categorias de processo de acordo com a norma ISO/ASTM 52921: 2013 (LIU *et al.*, 2018).

Uma delas principalmente é biomedicina, em que estes polímeros por se tratarem de matéria natural, possuem grande potencial para serem aplicadas diretamente para proporcionar qualidade de vida, por possuírem potencial de biocompatibilidade com o mesmo, não sendo rejeitados, tornando-se parte dele. Diferente de alguns materiais que podem ser rejeitados pelo corpo. Com isso, as pesquisas que são desenvolvidas atualmente e as futuras pesquisas tem grandes interesses na utilização das técnicas de impressão 3D na confecção de produtos biomédicos e farmacêuticos, que incluem principalmente:

- 1) fabricação de tecidos e órgãos;
- 2) personalização de próteses, implantes, e modelos anatômicos;
- 3) formas personalizadas de dosagem de drogas, de administração de fármaco.

Para que se possa utilizar a tecnologia de impressão 3D com fins de aplicabilidade com propósitos médicos e farmacêuticos, as técnicas que poderiam ser utilizadas seriam principalmente a impressão baseada em extrusão, a impressão baseada em jato de tinta, a impressão 3D baseada em partículas e a impressão 3D assistida por luz (LIU *et al.*, 2018).

No entanto, para se fazer uso da impressão 3D como um dos meios para utilização dos materiais biopoliméricos em aplicações específicas direcionadas, as propriedades de cada material têm de ser levadas em consideração, ou seja, apresentarão requisitos diferentes para as propriedades de cada material (COLTRO *et al.*, 2005). Todavia, para que todos os materiais biopoliméricos possam fazer uso da impressão 3D para que sejam implementadas tanto na medicina como na farmacologia, eles precisam cumprir uma série de requisitos rigorosos, considerando as condições fisiológicas onde serão implementadas e suas interações associadas com o ambiente corporal que serão alocadas, como apontam Liu *et al.* (2018).

5.1.1 Biopolímeros na biomedicina

Como citado anteriormente, os biopolímeros possuem grande potencial na aplicabilidade para o melhoramento da qualidade de vida, principalmente se tratando na área biomédica.

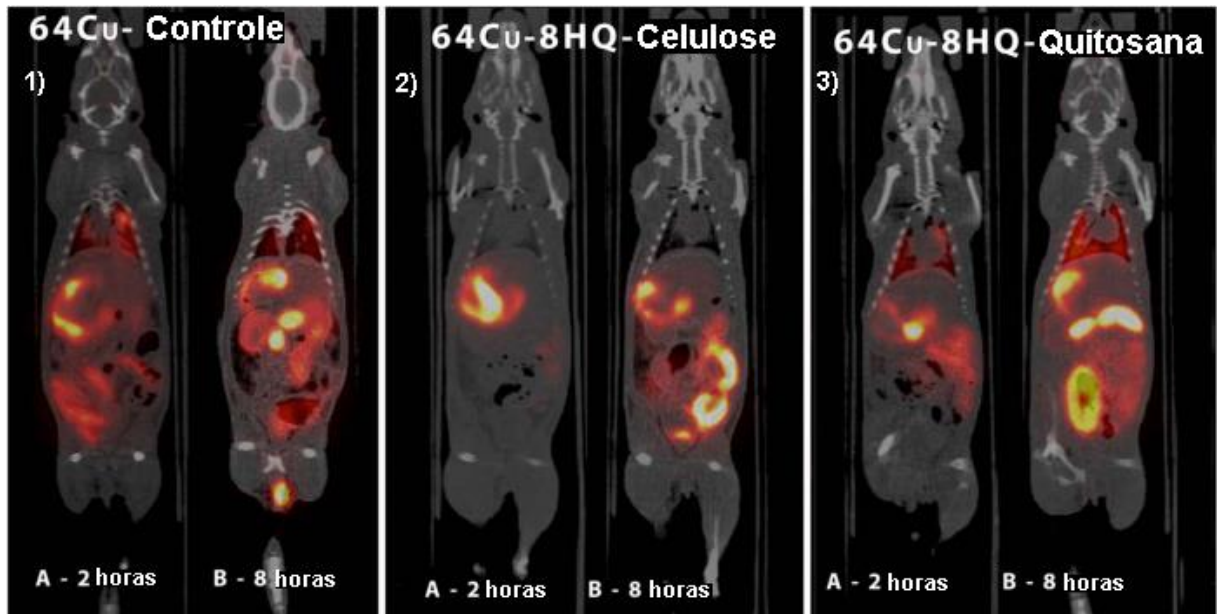
Isso se dá devido as estruturas químicas e composições dos biopolímeros serem bastante semelhantes com as macromoléculas que se encontram no ambiente extracelular em que está inserida. O que as torna também bastante vantajosas sobre os polímeros tradicionais, é que podem ser utilizadas em situações que aumentem suas funcionalidades e gerem vários benefícios extras. Entre essas vantagens são de que possivelmente reduziriam uma inflamação crônica, reações imunológicas que os rejeitassem, além de sua toxicidade, problemas estes bastante recorrentes ao se utilizar polímeros sintéticos, como citam Pattanashetti *et al.* (2016). Os biopolímeros ainda podem obter propriedades bastante interessantes se passarem por processos que os modifiquem quimicamente, os conferindo propriedades elétricas e mecânicas para determinadas aplicações de interesse.

Um dos exemplos mais recentes, é o desenvolvimento e estudo de materiais à base de biopolímeros com possíveis propriedades excelentes para o tratamento da doença de Wilson.

A Síndrome de Wilson, segundo os estudos de Silvério *et al.* (2018), é uma doença rara que se caracteriza pela deficiência, de caráter autossômico recessivo, na excreção do Cobre (Cu^{+2}) do organismo. Ainda segundo os autores, a doença provoca o acúmulo de cobre inicialmente no fígado e no cérebro, o que faz com que o paciente possa apresentar deficiências hepáticas (hepatite crônica ativa, hepatite aguda, falha aguda hepática e cirrose), manifestações psiquiátricas e alterações neurológicas.

Como é dito nos estudos de Vetric *et al.* (2018), os mesmos propuseram a utilização de celulose modificada e quitosana modificada com 8HQ (8-hidroxiquinolina) ligado covalentemente como portadores para a remoção de cobre diretamente do trato gastrointestinal. Os catadores de cobre, desenvolvidos a partir desses biopolímeros, são capazes de complexar o cobre a partir da solução modelo de Cloreto de Cobre (II) ($^{64}\text{CuCl}_2$), mantendo o cobre complexado em todo o trato gastrointestinal e ajudando-o a eliminá-lo do corpo. A Figura 7 apresenta um comparativo para eliminação de cobre 64 utilizando os biopolímeros estudados e de forma natural.

Figura 7: Comparação entre 3 grupos de ratos Wistar nos tempos de 2 e 8h, para acompanhar a eliminação de ^{64}Cu do organismo de forma natural, e com o auxílio dos biopolímeros (1 – Controle, 2 – Celulose e 3 – Quitosana).



Fonte: Adaptado de VETRIK *et al.* (2018).

Esses dois biopolímeros passam pelo trato digestivo e podem ser totalmente eliminados. Todas essas propriedades evitam os efeitos colaterais nocivos típicos da terapêutica de baixa molécula (presentes em todos os sistemas biológicos) atualmente em uso, como apontam Vetrik *et al.* (2018). Consequentemente, pelo fato desses efeitos colaterais em todo o processo de tratamento sendo evitado, pode proporcionar um grande conforto aos futuros pacientes dessa técnica de tratamento em desenvolvimento, que por ser uma doença crônica, submete o paciente a enfrentar tratamento no decorrer de toda sua vida. Esses transportadores apresentam um caráter ecologicamente correta e podem ser biodegradados após serem excretadas do corpo.

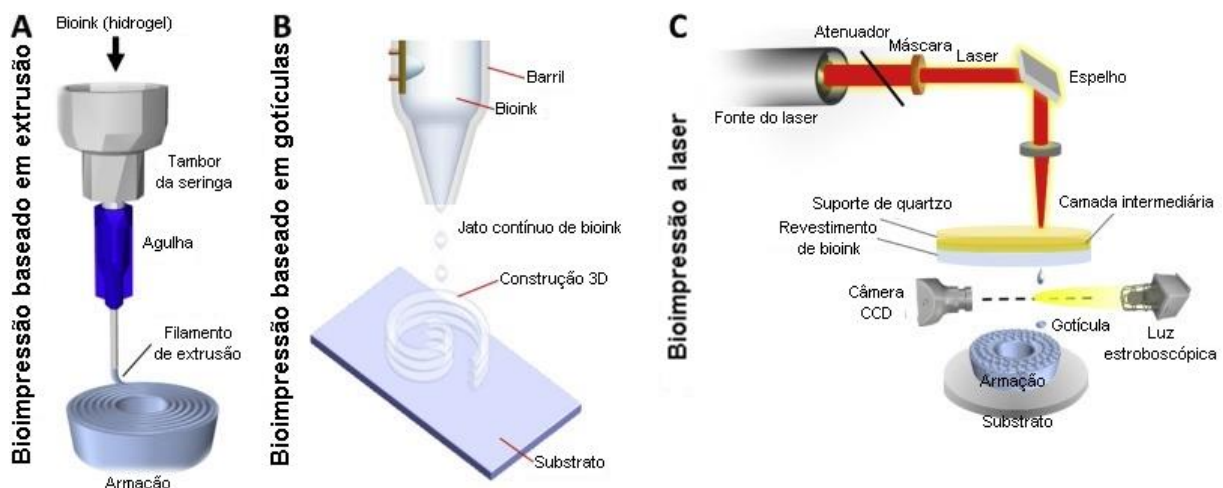
Além dessas misturas de biopolímeros já citados, há várias outras possibilidades de combinação e utilização deles para determinados fins de utilização.

5.1.1.1 Biopolímeros com impressão 3D

As atuais tecnologias de bioimpressão, segundo Datta *et al.* (2018), são baseadas nas técnicas de bioimpressão baseada em extrusão (EBB – extrusion-based bioprinting), bioimpressão baseada em gotas (DBB – droplet-based bioprinting) ou bioimpressão à base de laser (LBB – laser-based bioprinting), o qual são mostradas na Figura 8.

A EBB explora sistemas robóticos automatizados de três eixos para extrusão contínua de bio-inks em formas de filamentos. Na DBB, o bio-pente constituído por células vivas e outros materiais biológicos, tais como hidrogéis em meio de cultura, e é depositado em gotículas com um posicionamento preciso sem contato. O LBB funciona utilizando um feixe de energia a laser utilizado para padronização precisa de células. A energia laser pode ser utilizada em duas modalidades diferentes, uma das quais envolve fotopolimerização (estereolitografia ou polimerização de dois fotões) e a outra modalidade baseia-se na transferência de células (escrita direta guiada por laser e transferência direta induzida por laser) (DATTA *et al.* 2018).

Figura 8: Técnicas de bioimpressão: A) bioimpressão baseado em extrusão, B) bioimpressão baseado em gotículas, C) bioimpressão à laser.

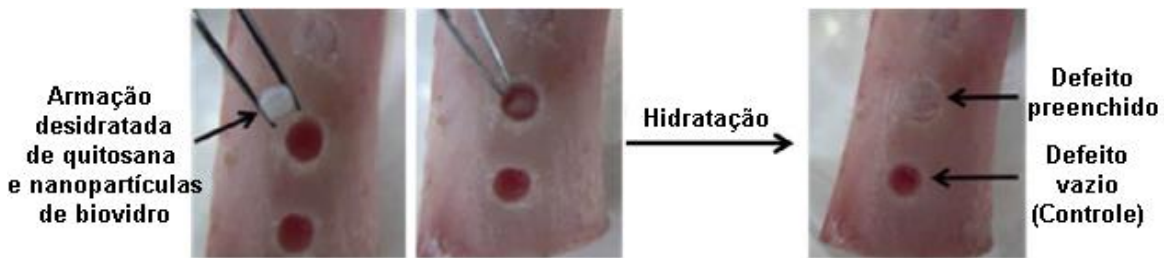


Fonte: Adaptado de DATTA *et al.* (2018).

A primeira técnica pode ser aplicada para a engenharia de tecidos e medicina regenerativa, como também modelagem e pesquisa de doenças. A segunda pode ser aplicada à pesquisa com células-tronco, medicamentos teste e engenharia de tecidos. Por fim, a terceira técnica pode ser aplicada à modelos de tecidos para testes de toxicidade, engenharia de tecidos (DATTA *et al.*, 2018).

Como exemplos na engenharia de tecidos, utilizando de técnicas de bioimpressão, uma possível aplicação para a regeneração de tecido ósseo, a quitosana em conjunto com nanopartículas de vidro bioativo (representa um grupo de materiais reativos à superfície com a capacidade de se ligar a estruturas fisiológicas, como o osso) (MOURA *et al.*, 2016). Como ilustra a Figura 9, nanocompósitos de quitosana ao ser hidratados, preenchem fissuras em tecido ósseo.

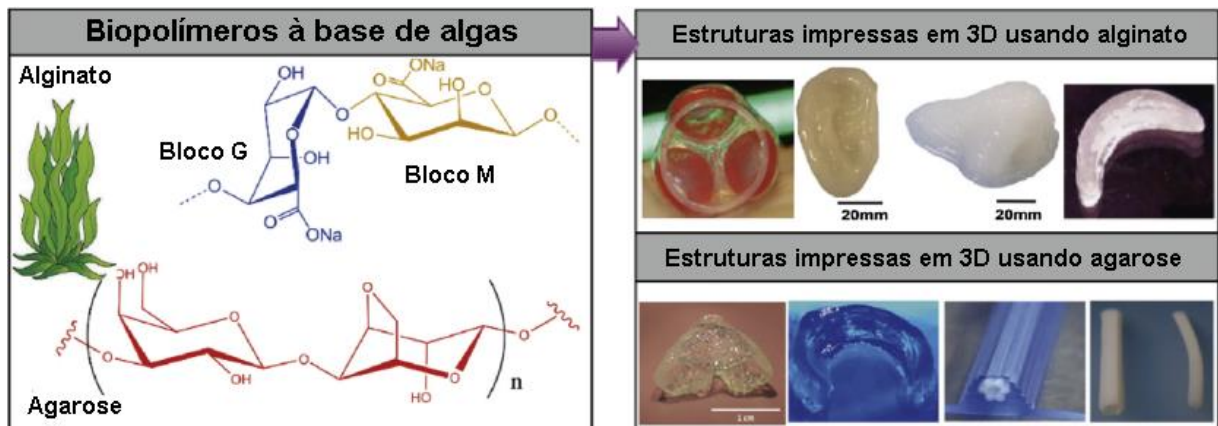
Figura 9: Representação de uma possível aplicação de nanocompósito de quitosana para regeneração óssea.



Fonte: Adaptado de MOURA *et al.* (2016).

Outros biopolímeros como a agarose e o alginato apresentaram capacidades para serem utilizados na bioimpressão 3D, como mostra a Figura 10.

Figura 10: Estruturas moleculares de alginato e agarose e suas estruturas impressas representativas em 3D.



Fonte: Adaptado de LIU *et al.* (2018).

Outras possibilidades de aplicação dos biopolímeros por intermédio da bioimpressão estão o alginato (sais da algina), o ácido hialurônico e CNF (cellulose nanofibrils - nanofibras de celulose), utilizando uma mistura dos três, podem ser utilizados com grande potencial para a aplicação no tratamento de lesões nas cartilagens como também na regeneração do tecido adiposo. Uma outra mistura entre CNF, alginato e glicerina, podem ser aplicados na forma de dispositivos biomédicos, sensores vestíveis e materiais de liberação de drogas na área farmacológica. Utilizando PLA (polylactic acid - políácido láctico), podem ser amplamente aplicados na engenharia de tecidos ósseos segundo Liu *et al.* (2018).

Com uma mistura de alginato e alginato oxidado podem ser aplicados na engenharia de tecidos, como fabricação de tecidos moles complexos e clinicamente dimensionados, na substituição de válvulas cardíacas, em aplicação mioregenerativa buscando a recuperação de tecido muscular em doenças degenerativas, como também na engenharia de tecidos ósseos (LIU *et al.*, 2018).

5.1.2 Biopolímeros na farmacologia

Segundo Saikai *et al.* (2015) e Gopi *et al.* (2016), sistema de administração de medicamentos com tecnologia de liberação controlada, como nanopartículas e hidrogéis à base de biopolímeros são ferramentas poderosas e promissoras para várias aplicações. Eles têm a capacidade de ser usado para fins de entrega de drogas e mostraram significativa atividade antiviral, anticâncer, antibacteriana, antimicrobiana e antifúngica. Podem também aumentar a estabilidade, solubilidade, biodisponibilidade do índice terapêutico do princípio ativo, como também a distribuição local específica.

Segundo Liu *et al.* (2018), um bom exemplo de biopolímeros para esses fins, seria uma associação de agarose e colágeno. Como também biopolímeros a base de algas, pois apresentam os benefícios de não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, não antigenicidade e rápida gelificação.

Outro biopolímero que se destaca também nessa área é a quitosana, pois a mesma apresenta propriedades antibacterianas que facilitam seu uso nos produtos farmacêuticos, pois restringe a ameaça de infecções. Materiais à base de quitosana têm sido, portanto, amplamente utilizados no tratamento de feridas e queimaduras, como citam Saikai *et al.* (2015). Bem como a quitosana não só possui propriedades antimicrobiana, mas também sua capacidade de transportar os agentes antimicrobianos extrínsecos para as feridas e queimaduras os tornaram materiais perfeitos para essas aplicações

Outra maneira de sistemas de transporte de drogas, é o sistema de TDD (transdermal drug delivery - administração transdérmica de medicamentos), que se tratando de comodidade e uma melhor qualidade de vida, podem ser a solução procurada por pacientes e médicos para uma terapia farmacêutica simples, autoadministrativa e sem dor que contorne as desvantagens das vias tradicionais de administração, como fobia por agulha, dor ou problemas digestivos. Os biopolímeros se apresentam como materiais promissores para esse tipo de aplicação, como citam Economidou *et al.* (2018).

5.2 APLICAÇÃO NA ÁREA DE ALIMENTOS

Segundo o MMA (Ministério do Meio Ambiente), um terço do lixo doméstico é composto por embalagens. Cerca de 80% das embalagens são descartadas após usadas apenas uma vez (MMA, 2012). Pelo motivo de nem todos seguirem para a reciclagem, acarreta em uma superlotação dos aterros e lixões, exigindo novas áreas para depositar o lixo que é gerado. Se fosse o caso de que todos os resíduos seguissem com destino ao depósito de lixo (MMA, 2012).

Uma outra área que a aplicação dos biopolímeros vem crescendo acentuadamente e se destacando, é na área de alimentos, no que diz respeito principalmente na obtenção de filmes para embalagem de alimentos e também para a cobertura dos mesmos.

Em ambientes com clima tropical, como por exemplo o brasileiro, os frutos após passarem pelo processo de colheita, sofrem com o aumento no processo de deterioração e maturação, ou seja, amadurecem mais rapidamente devido às mudanças bioquímicas e fisiológicas com temperaturas elevadas, além de possivelmente passarem por procedimentos de acondicionamento e serem manuseadas de forma inadequada (LUVIELMO *et al.*, 2013).

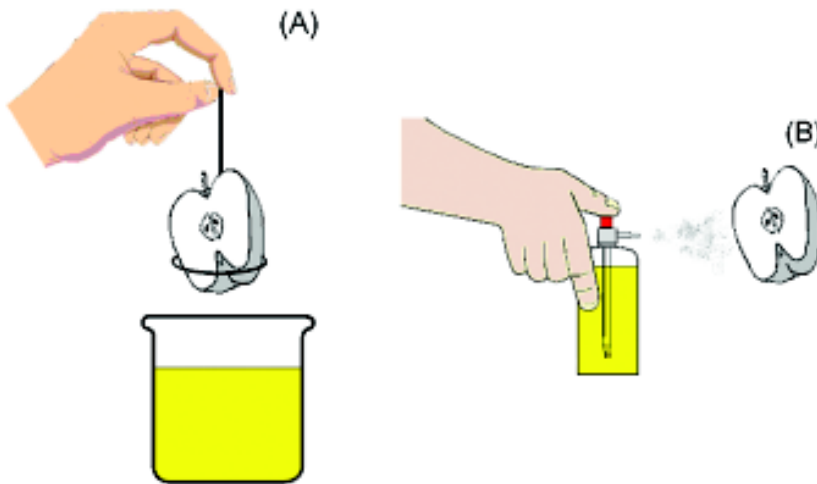
Ao recobrir com filme a superfície de frutos, é preenchida de forma parcial os estômatos e as lenticelas, implicando na redução de trocas gasosas (respiração) e na transferência de umidade (transpiração), segundo Assis *et al.* (2009). Um dos responsáveis diretos pelo processo de maturação é o etileno, substância esta que necessita de gás oxigênio (O₂) para a sua produção. Com a diminuição da permeabilidade ao O₂, ocasionada pela diminuição do contato da superfície do fruto com o ar, implicando consequentemente na redução da produção de etileno, como mostra os estudos de Qi *et al.* (1999), o que permite o prolongamento da vida dos frutos devido ao retardo do amadurecimento (ASSIS *et al.*, 2009).

Das formas de revestir frutos, existem duas maneiras:

- 1) imersão do fruto em uma solução filmogênica, seguido do repouso do alimento até que o solvente evapore, sobrando somente a película formada sobre a superfície da fruta (LUVIELMO e LAMAS, 2012);
- 2) aspersão, cujo processo é semelhante, com a diferença que a solução filmogênica é borrifada sobre o alimento (LUVIELMO e LAMAS, 2012).

Na Figura 11, temos a representação do que seria os métodos citados, onde (A) representa o método de imersão e (B) o de aspersão.

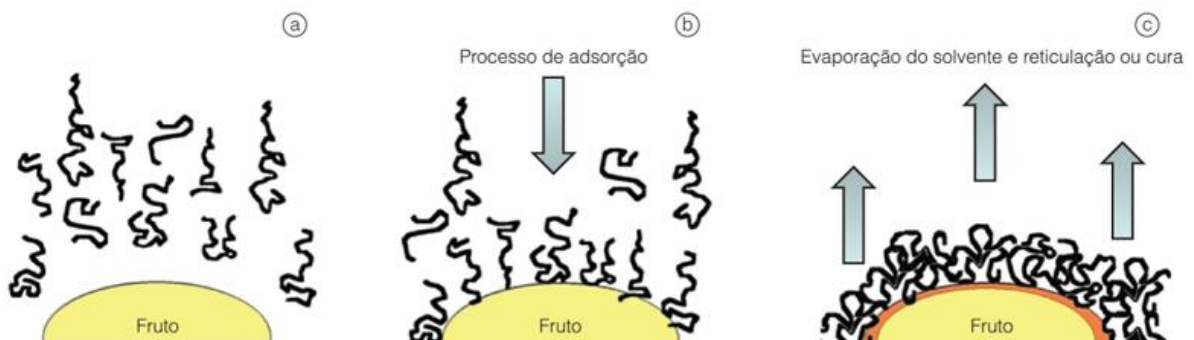
Figura 11: Representação dos métodos de revestimento de frutos pelo método de imersão (A) e de aspersão (B).



Fonte: ASSIS e LEONI (2003).

Na Figura 12 é mostrado uma sequência ilustrativa da formação de uma cobertura comestível pelo método da imersão rápida do fruto em solução filmogênica. Em (a), ocorre a imersão do fruto em solução filmogênica. Em (b), ocorre a deposição dos compostos diluídos na solução filmogênica sobre a casca do fruto. Após um período de deposição, o fruto é removido da solução e, por meio da evaporação do solvente, ocorre a reticulação do biopolímero, formando a cobertura (c), segundo Assis e Britto (2014).

Figura 12: Etapas do método de imersão do fruto em solução filmogênica.



Fonte: ASSIS e BRITTO (2014).

Vários materiais biopoliméricos estão se destacando cada vez mais em pesquisas por materiais que sejam biodegradáveis para obtenção de filmes capazes de substituir os filmes obtidos a partir de derivados de fontes não renováveis e que levam de décadas à séculos para serem degradados, é o caso do amido de mandioca (OLIVEIRA *et al.*, 2018), amido de milho (AZEVEDO *et al.*, 2018), quitosana (DOMINGOS *et al.*, 2018), gelatina (MENEZES *et al.*,

2018). Cada um desses polímeros naturais se apresentando como materiais com considerável potencial e considerados bastante promissores devido as suas excelentes propriedades e muitos deles possuírem baixo custo por se apresentarem em abundancia na natureza.

Com isso, vem-se pesquisando e aprimorando cada vez mais a produção, caracterização e aplicação de filmes que em sua constituição seja a base desses biomateriais, apresentando-se promissora para aplicações diversas.

No entanto, apesar das vantagens e capacidades apresentadas, alguns dos biopolímeros, como o amido de mandioca na utilização de filmes, sua utilização como única matéria prima para produção de filmes biodegradáveis apresentam desvantagens por conta de sua baixa resistência à umidade e a notável variação de suas propriedades mecânicas em condições de umidade e de armazenamento diferentes. Uma maneira encontrada para contornar essa situação é de misturar o amido com outros biopolímeros para a formação de blendas, aliando propriedades desejadas dos materiais misturados (SUEIRO *et al.*, 2016).

Segundo Luvielmo e colaboradores (2013), os compostos que são amplamente utilizados para a produção de revestimentos comestíveis são:

- Proteínas: gelatina, caseína, ovoalbumina, glúten de trigo, zeína e proteínas miofibrilares;
- Polissacarídeos: amido e seus derivados, pectina, celulose e seus derivados, alginato e carragena;
- Lipídios: monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido graxo.

Luvielmo e colaboradores (2013) complementam que também há a combinação destes compostos para a formação de blendas biopoliméricas, que como dito anteriormente, permite utilizar vantajosamente as distintas características funcionais de cada classe.

Dependendo dos constituintes em que os filmes forem produzidos, eles podem adquirir características antimicrobianas, a partir do uso de cerâmicas no processo de produção da solução filmogênica.

Com a utilização dos biopolímeros para a produção de filmes que revestem alimentos, com elas passando por diversos avanços em seus estudos, poderiam ser capazes de substituir embalagens que originalmente são advindas de fontes não renováveis, que demoram várias décadas para ser degradado, chegando até 400 anos para ser decomposto pela natureza, segundo dado do IDEC (Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor) (IDEC, 2005).

5.2.1 Compósitos biopoliméricos

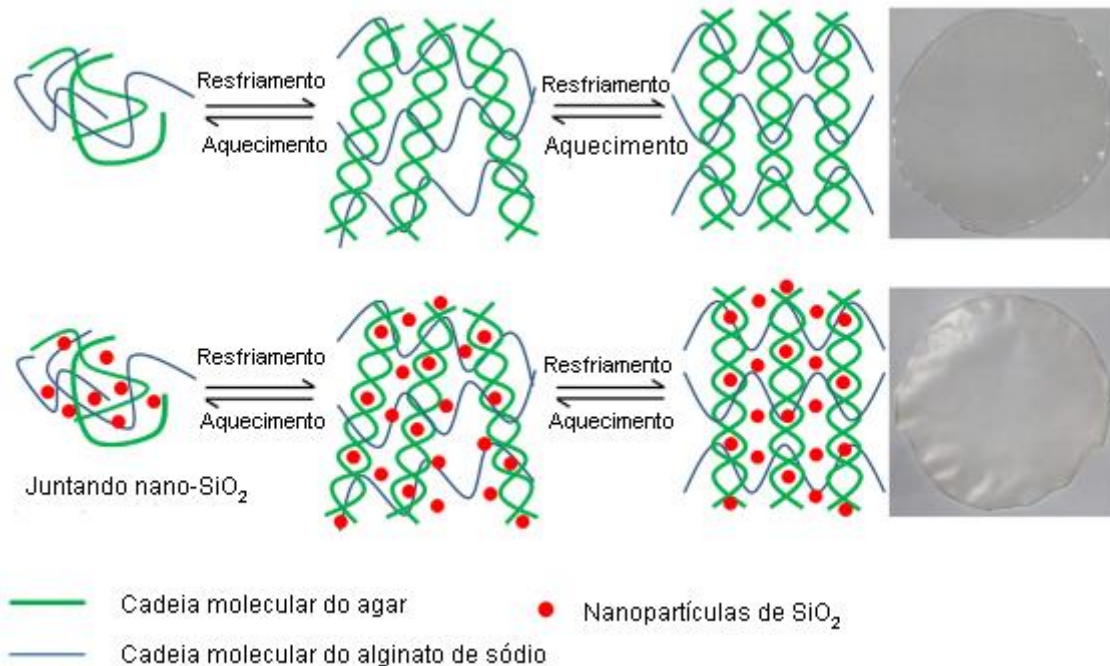
Ainda que os filmes para revestimento de alimentos à base de biopolímeros possuam características e propriedades interessantes, vários delas ainda apresentam carência em algumas delas que deixam a desejar, tal como PVA (Permeabilidade ao Vapor de Água) elevada, considerável solubilidade em água, propriedades mecânicas como a resistência à tração não satisfatórias e outras. Essas carências apresentam-se geralmente em biopolímeros que são hidrofílicos, ou seja, solúveis em água como a fécula de mandioca e outros polímeros naturais que apresentam alta interação com a água, mas também há a ocorrência em biofilmes em que seus constituintes não são hidrofílicos.

Com o desenvolvimento das pesquisas, essas carências podem ser melhoradas de diversas maneiras. Entre elas, através do acréscimo de nanomateriais à matriz biopolimérica do filme. Conferindo melhoras em suas propriedades, além de proporcionar outras inerentes ao material utilizado para constituir o biofilme.

Como no trabalho de Siripatrawan *et al.* (2018), utilizou a quitosana com nanopartículas de óxido de titânio (TiO_2), o que conferiu ao filme melhoras em suas propriedades, como também a conferiu propriedades antimicrobianas, e a capacidade de fotodegradar o etileno, substância que acelera a maturação do fruto.

Em outro trabalho no ramo, Hou *et al.* (2018) utilizaram uma mistura dos biopolímeros agar e alginato de sódio, juntamente com nanopartículas de óxido de silício (SiO_2), conferiu aos filmes melhoras em suas propriedades. Um esquema de como seria a interação dos biopolímeros com as nanopartículas é apresentada na Figura 13.

Figura 13: Agarose e alginato de sódio e seu diagrama de mecanismo de gelificação ideal.



Fonte: Adaptado de HOU *et al.* (2018).

Com isso, melhorando as propriedades dos produtos efetuando a adição de compostos, torna esses polímeros naturais mais aptos a serem utilizados mais amplamente no futuro em um futuro tecnológico mais desenvolvido, promovendo, assim, maior sustentabilidade por serem biodegradáveis e ecologicamente corretos.

5.3 APLICAÇÃO NA ENGENHARIA DE ENERGIA

Se tratando de desenvolvimento sustentável, outra área que se vem buscando diminuir os impactos é na geração de eletricidade, onde os meios mais recorrentes para a sua geração causam impactos na natureza.

Além das aplicações citadas anteriormente, biopolímeros possuem a capacidade de atuarem na área de geração de eletricidade, sendo utilizadas em células solares. É o caso da agarose, sendo um biopolímero do tipo polissacarídeo, pode ser utilizado para a confecção de células solares, é o que apresenta nos estudos de Singh *et al.* (2017). Para fazerem um dispositivo DSSC em escala laboratorial para testes, utilizaram a agarose em conjunto com

outros produtos químicos como iodeto de potássio (KI), líquido iônico (denominado IL nos estudos): dicianamida de 1-etil-3-metilimidazólio.

Os solventes utilizados nos estudos foram dimetilsulfóxido (DMSO) e dimetilformamida (DMF). Como no método de preparação comum do eletrólito de polímero em gel (chamado de GPE), quantidades fixas de pó de agarose foram dissolvidas em solventes (DMSO, DMF) em um béquer (chamada de B1). Depois desse passo, foram misturados de forma estequiométrica iodeto de potássio (KI) em DMSO e DMF, respectivamente, em outro béquer (sendo chamado de B2). A adição de B2 em B1 resultou em um GPE transparente e claro, relatam Singh *et al.* (2017). No passo seguinte, foi adicionado o líquido iônico gota a gota em B1, para ser utilizada como eletrólito em DSSC.

Cortando uma placa de vidro de óxido de estanho (FTO) com flúor ($1 \times 1 \text{ cm}^2$) e limpadas completamente em banho ultrassônico com etanol e metanol, seguido de água destilada e acetona, seguindo os seguintes passos:

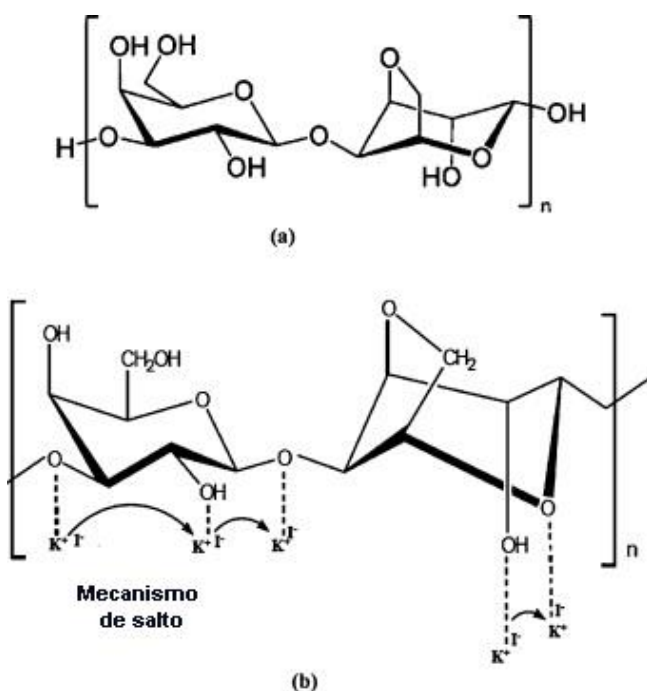
1. Algumas gotas de solução de diisopropóxido de bis (etilacetoacetato) de Ti (IV) (2% em peso em 1-butanol) como camada de bloqueio de pasta de titânio foram então revestidas em placa de vidro FTO.
2. Para preparar o eletrodo de dióxido de titânio poroso (TiO_2), a pasta de TiO_2 foi espalhada sobre a superfície condutora do FTO e aquecida, fornecendo um filme de TiO_2 poroso (10–15nm de diâmetro) com aproximadamente 10 mm de espessura.
3. O contra-eletrodo foi preparado revestindo uma camada de platina em outra peça de vidro FTO e depois calcinada.
4. O eletrodo de trabalho (indicado acima) foi mergulhado em 535-bisTBA (corante N_3) em solução de etanol destilada durante algumas horas. Logo em seguida o eletrólito de polímero (com máxima condutividade iônica) foi então colocado entre o eletrodo de trabalho (WE) e os contra-eletrodos (CE).

Ainda segundo Singh *et al.* (2017) o eletrólito biopolimérico formado à base de agarose forma um gel estável e um filme espesso que é consideravelmente forte mecanicamente, apresentando uma condutividade líquida que o torna candidato adequado para a aplicação em dispositivos DSSC. Além disso, outra forma de agarose forma uma boa matriz biopolimérica reticulada que pode ser considerada uma matriz polimérica eficaz que pode beneficiar as propriedades de transporte iônico.

O eletrólito biopolimérico estudado por Singh *et al.* (2017) possui o biopolímero agarose, iodeto de potássio (KI), sendo então dissolvidos em dois solventes diferentes, onde um deles é a dimetilformamida (DMF) e a dimetilsulfóxido (DMSO). No entanto, para que se pudesse alcançar ainda a condutividade razoável para a aplicação de DSSC, adicionaram um líquido iônico de baixa viscosidade ao eletrólito biopolimérico.

No sistema apresentado por Singh e colaboradores (2012) em um outro trabalho mais antigo, o íon potássio (K^+) e o ânion iodeto (I^-) do sal KI são coordenados com o oxigênio do grupo éter da agarose. Dentro da matriz, o íon K^+ é delimitado mais rigidamente e os I^- são fracos. A fraca ligação I^- pode ser facilmente dissociada sob a influência de um pequeno campo elétrico DC. Com isso, estes mesmos íons podem saltar através de cada sítio de coordenação, como mostrado na Figura 14.

Figura 14: a) Molécula de agarose e b) Mecanismo de transporte dos íons K^+ através da agarose.



Fonte: Adaptado de SINGH *et al.* (2012).

Corroborando com as conclusões de Singh *et al.* (2012), Bidikoudi *et al.* (2015) comenta que todos os resultados obtidos sugerem que o eletrólito de polímero a base de agarose é um candidato promissor para a aplicação de dispositivos de armazenamento e conversão de energia, e uma maneira ecologicamente correta de produção de energia, com os DSSCs a base de biopolímeros formando eletrólitos estáveis e eficientes.

Além do biopolímero agarose, outros podem ser utilizados com os mesmos fins, entre eles está a carragenina (olissacarídeos lineares sulfatados obtidos a partir de extratos de algas marinhas vermelhas), quitosana, amido de arroz, entre outros (SINGH *et al.*, 2016).

Os estudos em relação ao projeto para a utilização de biopolímeros nessa área ainda está em desenvolvimento, com ainda poucos estudos sendo produzidos na área. Ainda se busca uma eficiência aceitável para sua utilização em larga escala. Quanto a esse aspecto, com o avanço da tecnologia, resultados satisfatórios podem ser alcançados em um futuro não tão distante, se tratando do aparato tecnológico e desenvolvimento atual, polímeros naturais ainda são limitados em sua aplicabilidade nessa área. Contudo, mostram-se capazes para aplicações nesse ramo, aliando a utilização de energia limpa que não gera resíduos, com produtos naturais que não agredem o meio-ambiente, proporcionando uma melhor perspectiva para uma qualidade de vida sem gerar impactos ao meio ambiente.

5.4 APLICAÇÕES NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES INDUSTRIAIS

Entre as aplicações já citadas, há diversos outros ramos que os biopolímeros podem atuar que refletem indiretamente para proporcionar, de alguma maneira, uma melhor qualidade de vida a longo prazo. Uma dessas aplicações seria empregar biomateriais para o uso de tratamentos de efluentes industriais, como os da indústria têxtil.

Em relação ao uso de sais químicos utilizados para o processo de coagulação, biopolímeros obtidos a partir de vegetais apresentam as seguintes vantagens segundo Silva *et al.* (2003),

- 1) a natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento;
- 2) menor volume de lodo gerado após o tratamento, como também isento de metais pesados se comparado ao lodo gerado devido ao uso de constituintes químicos;
- 3) biopolímeros que podem ser obtidos a partir de plantas locais que são facilmente processados, podem ter potencial para gerar custos operacionais baixos comparado a reagentes químicos cujo a obtenção se dê por meio de importação.

Dos agentes coagulantes e floculantes que são utilizados com bastante frequência são aditivos minerais, incluindo sais metálicos, tais como cloreto de polialumínio e polímeros sintéticos, como a poliacrilamida.

O uso desses agentes além de ocasionarem consequências ambientais, como o aumento da concentração de metais na água, o que pode acarretar em complicações para a saúde humana, como também podem produzir grandes quantidades de lodo tóxico e também a dispersão de oligômeros de acrilamida que podem também ser um perigo para a saúde.

Com isso, os biopolímeros podem ser de grande interesse, uma vez que são produtos naturais de baixo custo, caracterizados por seu comportamento ecologicamente correto (RENAULT *et al.*, 2008).

Um grande número de coagulantes está comercialmente disponível para uso, mas alguns deles receberam atenção pelos possíveis impactos que podem provocar à saúde, provocando a crescente demanda por produtos ecologicamente corretos. Como exemplo, o uso de sais inorgânicos (como cloreto de alumínio ou sulfato de alumínio) é agora controverso devido à sua possível contribuição para a doença de Alzheimer. Com isso, foi despertado interesse em polieletrólitos naturais, com potencial para substituir os floculantes sintéticos (SZYGULA *et al.*, 2009).

Como a maioria dos coloides naturais é carregado negativamente, os polieletrólitos catiônicos são de particular interesse como potenciais floculantes. Sendo assim, o biopolímero catiônico mais promissor para aplicação extensiva é a quitosana (SZYGULA *et al.*, 2009).

Como os estudos acerca dos biopolímeros são aplicados em geral ao tratamento de águas para fins potáveis, já para o tratamento de diferentes águas residuárias industriais há lacunas sobre este conhecimento com a utilização de biopolímeros que ainda necessitam serem preenchidas (DA SILVA *et al.*, 2003).

Dos biopolímeros que se destacam para esse fim, estão a quitosana, a Moringa oleífera e os taninos vegetais, sendo o primeiro estando em maior destaque.

5.4.1 Biopolímero quitosana como destaque na área

Entre os biopolímeros com os fins de tratamento de água e de efluentes, a quitosana é um dos polímeros naturais que se destaca na capacidade de ser utilizado com estes fins. Segundo WAN-NGAH *et al.* (2010), a quitosana tem sido avaliado na remoção de poluentes, sendo capaz de adsorver metais pesados e corantes que são tanto catiônicos quanto aniônicos, justamente pela presença de grupos amino e hidroxila em sua estrutura.

Entre as vantagens apontadas por Crini e Badot (2007), o uso de materiais como a quitosana em comparação aos adsorventes como o carvão ativado para a remoção de corantes,

estão o seu baixo custo por ser muito abundante (a quitosana é derivada da desacetilação do biopolímero natural quitina, que é o segundo mais abundante polissacarídeo no mundo após a celulose), e por possuir um excelente comportamento de quelação (uma das principais aplicações deste polímero natural baseia-se na sua capacidade de ligar fortemente aos poluentes, em particular aos íons de metais pesados).

Esse biopolímero apresenta importantes propriedades biológicas, sendo elas como exemplo a baixa toxicidade, não causa alergia, pode ser empregado como anticoagulante, é biodegradável, biocompatível e possui propriedades antibacterianas, segundo Janegitz *et al.* (2007). Além disso, ela pode ser modificada de diversas maneiras, conferindo-as propriedades bastante atraentes, como exemplo, maior resistência à dissolução em meio ácido (GONSALVES; ARAÚJO, 2011).

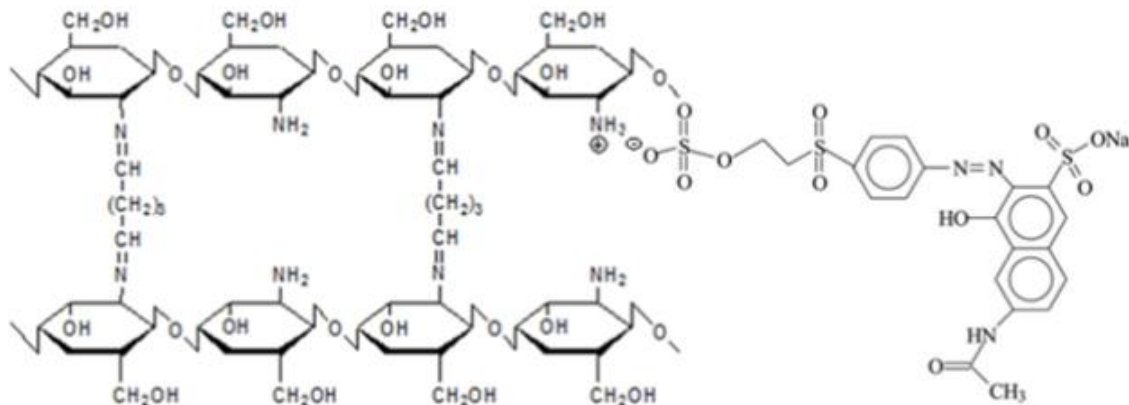
5.4.1.1 Remoção de corantes em efluentes têxteis

Guibal e Roussy (2007) e Szygula *et al.* (2009) em seus respectivos estudos a respeito da quitosana para a coagulação-floculação de corantes aniônicos, concluíram que os corantes foram eficientemente removidos, sendo as observações consistentes com a possibilidade do uso da quitosana para o tratamento de efluentes têxteis.

No processo de coagulação-floculação, a velocidade de assentamento dos flocos é um parâmetro de grande importância, pois influencia no custo e na eficiência geral. A quitosana se mostrou muito eficaz na remoção de corantes e produz uma pequena quantidade de lodo (SZYGULA *et al.*, 2009).

Como ilustração do processo de interação da quitosana com corantes, a Figura 15 apresenta o mecanismo de adsorção da quitosana reticulada com glutaraldeído e o corante reativo laranja 16.

Figura 15: Esquema de interação entre a quitosana reticulada com glutaraldeído e o corante reativo laranja 16.

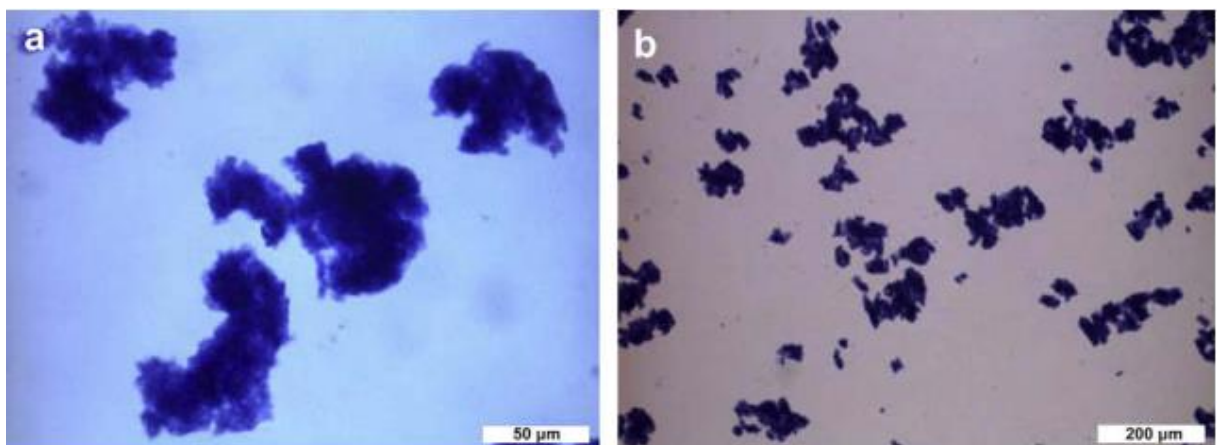


Fonte: SILVA (2017).

Sua alta capacidade adsortiva, como cita Silva (2017), se deve a protonação dos grupos aminos da quitosana em solução ácida, o que facilita a interação eletrostática com as cargas negativas do corante.

Em outro estudo, Szygula e colaboradores (2009) estudaram a quitosana para remoção do corante aniônico AB92 (Acid Blue 92). Como resultado de suas pesquisas, concluíram que a coagulação-floculação de AB92 com quitosana é um método eficaz para clarificar as águas residuais de corantes. Os resultados mostraram que quantidades menores de quitosana foram necessárias para a remoção ideal quando o corante foi preparado em água da torneira do que quando foi preparado em água desmineralizada. A Figura 16 apresenta imagens microscópica de flocos formados pela quitosana.

Figura 16: a) flocos únicos e b) flocos agregados.



Fonte: SZYGULA *et al.* (2009).

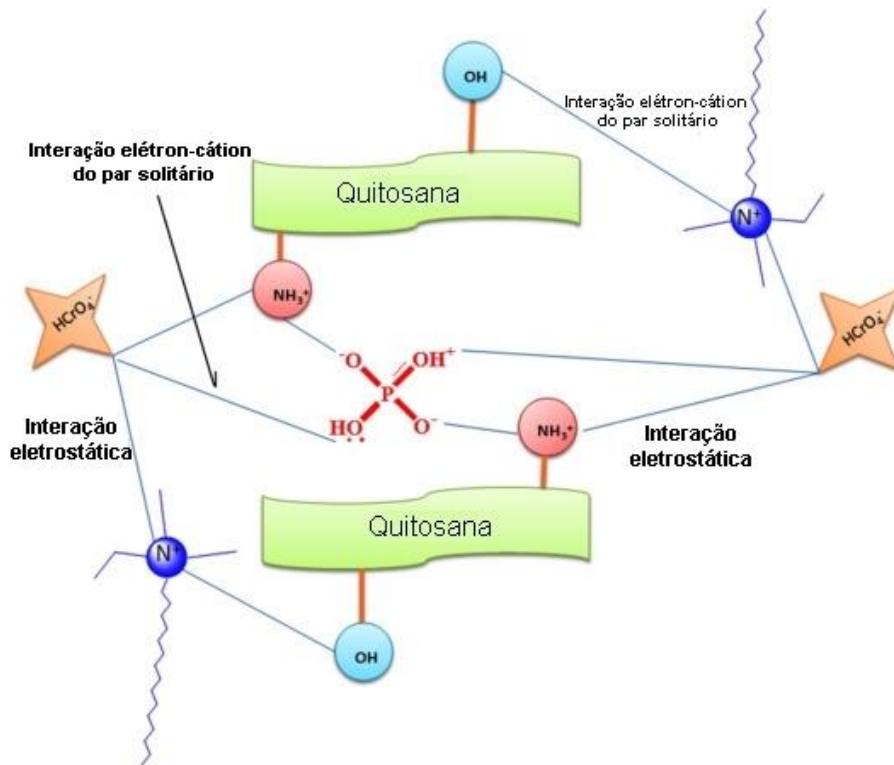
Logo, biopolímeros como a quitosana mostram-se detentores da capacidade de servir com os propósitos apresentados para a remoção de corantes de efluentes da indústria têxtil, mas ainda vários estudos precisam ser feitos para buscar a melhor maneira de se aplicar com esses fins.

5.4.1.2 Remoção de metais

Por vezes, faz-se necessário modificar determinados materiais com o propósito de melhorar suas qualidades para determinadas aplicações de ponto de vista industrial. Com isso, Kahu *et al.* (2016) modificaram a quitosana em termos estruturais duas vezes, grupo amina e grupo hidroxila. Com essas modificações, foi obtido um material com excelentes capacidades para adsorção do Cr (VI). O adsorvente a base de quitosana foi feita misturando a mesma com hidrogenofosfato dipotássico, brometo de etilhexadecildimetilamônio (EHDA-Br), seguindo uma metodologia rigorosa. O produto final, chamado de ISPC (do inglês Ionic Solid impregnated phosphated chitosan - Quitosana fosfatada impregnada de sólidos iônicos). O adsorvente ISPC mostrou uma capacidade de adsorção admirável para o cromo hexavalente, que é muito mais alto em comparação com a maioria dos adsorventes reportados, como cita Kahu *et al.* (2016).

A Figura 17 evidencia o mecanismo de associação da quitosana modificada (ISPC) para adsorção de compostos que contenham Cr (IV).

Figura 17: Mecanismo de adsorção de Cr (VI) pelo ISPC.



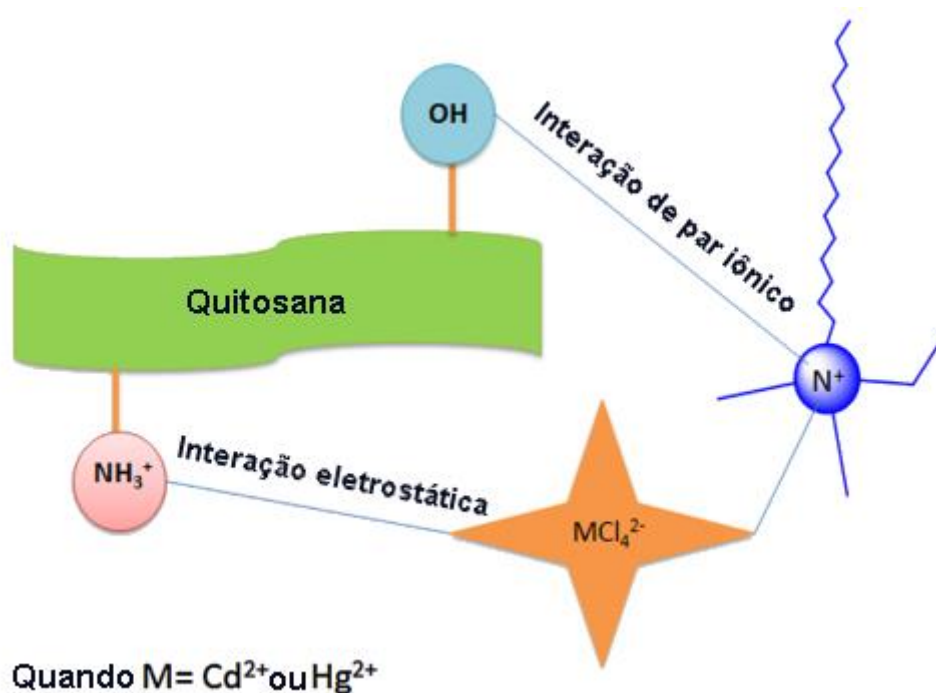
Fonte: Adaptado de KAHU *et al.* (2016).

Kahu *et al.* (2016) ainda comenta que o ISPC é capaz de ser reutilizado, com alta capacidade de adsorção, o que o torna-o um material mais verde para remoção de Cr (VI) de efluentes industriais. Assim, evitando o uso de substâncias normalmente usuais que podem causar problemas de saúde às pessoas que entrem em contato com a água tratada por tais substâncias, melhorando a qualidade de vida.

Nos estudos de Shekhawat *et al.* (2017), utilizaram somente a quitosana com o etilhexadecildimetilamônio (EHDA-BR), formando um composto de Quitosana impregnada com brometo de etilhexadecildimetilamônio, chamado de EHDAIC. Esse composto tem a potencial aplicação como adsorvente para a adsorção efetiva de íons metálicos potencialmente tóxicos como Cd^{2+} e Hg^{2+} . Shekhawat *et al.* (2017) citam ainda que a exposição por um longo período ao cádmio e ao mercúrio podem causar danos aos rins, fígado, ossos e sangue e que os sintomas de intoxicação por mercúrio são observados principalmente na forma de distúrbios neurais.

A Figura 18 apresenta o mecanismo de adsorção proposto pelos autores, no qual os grupos amina e hidroxila do composto formado interagem com os metais.

Figura 18: Mecanismo de adsorção.



Fonte: Adaptado de SHEKHAWAT *et al.* (2017).

Na Figura 18, as ligações resultantes se formaram devido às interações eletrostáticas e de Van der Waals. Mostrando interações de pares de íons com o nitrogênio quaternário do EHDA. Assim como também, os grupos amino de quitosana são protonados em meio ácido e isso aumenta ainda mais a interação eletrostática entre o ânion tetraclorometalato (II) e o EHDAIC, como cita os autores.

Com isso, com a possibilidade da utilização desse composto com base primária de um polímero natural para remoção desses metais tóxicos beneficia diretamente para a qualidade de vida, visto que os metais que são adsorvidos pelo mesmo apresentam sérios riscos para a saúde de quem tem contato prolongado por esses metais.

Os biopolímeros sempre estiveram presentes na vida humana, mas com as necessidades demandadas nos tempos atuais, estão tendo suas potencialidades cada vez mais exploradas, com a necessidade de materiais que não afetem a natureza de forma geral, mas que também proporcionem benefícios para a vida humana, tem sido um objetivo a ser alcançado. Nisso, os polímeros naturais em toda sua gama de aplicação apresentam grande relevância para a vida humana, pois os mesmos se apresentam com grande abundância na natureza, que podem ser destinados a áreas que sejam benéficas para uma melhor qualidade de vida, além de não serem prejudiciais para a natureza, por não se acumularem por vários anos nela, preservando o meio-ambiente como um todo.

6 CONCLUSÃO

No geral, os diversos tipos de biopolímeros encontram amplas aplicações que beneficiam de forma direta e indiretamente na vida humana, influenciando na qualidade de vida. Implementando-as desde em aplicações biomédicas, que confere diversos benefícios pelas propriedades que os polímeros naturais possuem e proporcionam ao serem utilizadas, como também para uso farmacológico, se estendendo também na utilização para tratamento de água e de efluentes industriais, em diversas embalagens na área de alimentos, contribuindo a medida que pode em reduzir os impactos ambientais ao tomarem espaço de embalagens tradicionais a base de polímeros não renováveis, e por fim, em áreas que estão em seus primeiros passos como líquido iônico em placas solares sensibilizadas por corante.

Mas um dos fatores que ainda limitam seu uso mais abrangente, é na sua viabilidade econômica, pois muitos dos processos para sua implementação em larga escala com bom rendimento ainda é inexistente ou limitada pela tecnologia que está disponível na atualidade.

Por fim, apesar das divergências e empecilhos quanto ao uso dos biopolímeros no que se trata em relação a viabilidade econômica de muitos deles, é preciso ter consciência que muitas de suas aplicações de larga escala tem a necessidade de ter perspectivas somente no futuro, quando a tecnologia avançar de tal modo que beneficiem o seu uso e os tornem amplamente viáveis.

Assim, em um futuro próximo com seu uso amplamente difundido, também estará contribuindo para a economia de recursos naturais, não esgotando permanentemente só uma de suas partes, contribuindo para um melhor ponto de vista ambiental e social.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Espera-se que os resultados desse estudo possam contribuir com o desenvolvimento de novas pesquisas e aprofundamento da aplicação dos biopolímeros, nas mais diversas áreas aqui apresentadas. Algumas sugestões para continuação do trabalho teórico de suas conclusões são:

- 1) A partir desses dados teóricos, podem ser testados outras condições para melhoramento da capacidade dos biopolímeros;
- 2) Estudar outros materiais e replicar o embasamento teórico;

- 3) Simular condições ainda não reportadas na literatura, afim de gerir novas condições de aplicações dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE-MOLINA, T. P. C.; SHIRAI, M. A.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Active biodegradable packaging for fresh pasta. **LWT- Food Science and Technology**, v. 54, p. 25-29, 2013.
- ASSIS, O.B.G.; LEONI, A.M. 2003. Filmes Comestíveis de Quitosana. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 30, p. 33-38, 2003.
- ASSIS, O.B.G.; FORATO, L.A.; BRITTO, D. 2008. Revestimentos Comestíveis Protetores em Frutos Minimamente Processados. **Higiene Alimentar**, v. 22, n. 160, p. 99-106, 2008.
- ASSIS, O.B.G.; BRITO, D.; FORATO, L.A. O uso de biopolímeros como revestimentos comestíveis protetores para conservação de frutas in natura e minimamente processadas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. São Carlos, **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, 23 p., 2009.
- ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. Coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87-97, 2014.
- AZEVEDO, L. C.; DE SÁ, A. S. C.; ROVANI, S.; FUNGARO, D. A. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. **Cadernos de Prospecção**, Edição Especial, v. 11, p. 351-358, 2018.
- BIDIKOUDI, M.; PERGANTI, D.; KARAGIANNI, C.-S.; FALARAS, P. Solidification of ionic liquid redox electrolytes using agarose biopolymer for highly performing dye-sensitized solar cells. **Eletrochimica Acta**, v. 179, p. 228-236, 2015.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, J. R. **Química: a ciência central**. 9ª. ed. Prentice-Hall, 2005.
- CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª. ed. São Paulo: Artliber, 2006.
- COUTINHO, N. F. *Células solares sensibilizadas por corante*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Dissertação (Mestrado).
- COLTRO, L.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JESUS, I. A. Biopolímeros usados em embalagem: Propriedades e aplicações. In: **8º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS**, 2005, Águas de Lindóia. Anais do 8º Congresso do CBPol. Águas de Lindóia, 2005, p. 1301-1302.
- CRINI, G.; BADOT, P. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dyeremoval from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. **Progress in Polymer Science**, v. 33, p. 399-447, 2007.
- DATTA, P.; BARUI, A.; WU, Y.; OZBOLAT, V.; MONCAL, K. K.; OZBOLAT, I. T. Essential steps in bioprinting: From pre- to post-bioprinting. **Biotech advances**, v. 36, p. 1481-1504, 2018.

DOMINGOS, A. L. M.; PEREIRA, A. C. M.; NOLETO, A. P. R.; REIS, A. B. Caracterização de Revestimento Biopolimérico Visando Aplicação em Embalagens Celulósicas. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 2, p. 196-201, 2018.

ECONOMIDOU, S. N.; LAMPROU, D. A.; DOUROUMIS, D. 3D printing applications for transdermal drug delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 544, p. 415-424, 2018.

ELNASHAR, Magdy. (2010). **Biopolymers, Edited by Assoc. Prof. Dr. Magdy M. Elnashar**; ISBN 978-953-307-109-1. Editor: Professor Dr. Magdy M. Elnashar, publicado por Sciyo Inc. 2010.

FARIAS, S. S.; SIQUEIRA, S. M. C.; CRISTINO, J. H. S.; ROCHA, J. M. Biopolímeros: Uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial 5, Campina Grande, v. 7, nº 26, p.61-77, 2016.

FECHINE, Guilhermino J. M. **A Era dos Polímeros Biodegradáveis**. 2017. 42 slides. Disponível em: <<https://www.crq4.org.br/downloads#forumsuperior2017>>. Acesso em: 01 de fev. 2019.

GALDEANO, M. C.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F.; GARCÍA, M. A. Effects of plasticizers on the properties of oat starch films. Materials. **Science and Engineering: C**, v. 29, p. 532-538, 2009.

GARCIA, A. A. T.; BASTOS, C. S.; XAVIER, R. O.; VIANNA, M. P. TECNOLOGIA DOS MATERIAIS: POLIMEROS USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Ciências exatas e tecnológicas**, Alagoas, v. 4, n. 3, p. 105-124, 2018.

GONSALVES, A. A.; ARAÚJO, C. R. M. Diferentes estratégias para a reticulação de quitosana. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 7, p. 1215-1223, 2011.

GOPI, S.; AMALRAJ, A.; THOMAS, S. Effective Drug Delivery System of Biopolymers Based On Nanomaterials and Hydrogels - A Review. **Drug Designing: Open Access**, v. 5, 2016.

GUIBAL, E.; ROUSSY, J. Coagulation and flocculation of dye-containing solutions using a biopolymer (Chitosan). **Reactive and Functional Polymers**, v. 67, p. 33-42, 2007.

HALME, J.; VAHERMAA, P.; MIETTUNEN, K.; LUND, P. Device Physics of Dye Solar Cells. **Advanced Materials**, v. 22, p. E210-E234, 2010.

HOU, X.; XUE, Z.; XIA, Y.; QUIN, Y.; ZHANG, G.; LIU, H.; LI, K. Effect of SiO₂ nanoparticle on the physical and chemical properties of eco-friendly agar/sodium alginate nanocomposite film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 125, p. 1289-1298, 2018.

IDEC. **Manual de Educação para o Consumo Sustentável**. Disponível em: <https://blog.fastformat.co/como-fazer-citacao-de-artigos-online-e-sites-da-internet/>. Acesso em: 03 de fev. 2019.

IQBAL, M. Z.; ALI, S. R.; KHAN, S. Progress in dye sensitized solar cell by incorporating natural photosensitizers. **Solar Energy**, v. 181, p. 490-509, 2019.

JANEGITZ, B. C.; LOURENÇÃO, B. C.; LUPETTI, K. O.; FATIBELLO-FILHO, O. Desenvolvimento de um método empregando quitosana para remoção de íons metálicos de águas residuárias. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 879-884, 2007.

JÚNIOR, E.B.; MONARIM, M.M.S.; CAMARGO, M.; MAHL, C.E.A.; SIMÕES, M.R.; SILVA, C.F. Efeito de diferentes biopolímeros no revestimento de mamão (Carica papaya L) minimamente processado. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 131-142, 2010.

JÚNIOR, O. F.; GRECA, I. M.; EL-HANI, C. N. **Ciências na transição dos séculos: conceitos, práticas e historicidade**. EDUFA: Salvador, 2014.

JÚNIOR, R. N. L.; ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018.

KAHU, S. S.; SHEKHAWAT, A.; SARAVANAN, D.; JUGADE, R. M. Two fold modified chitosan for enhanced adsorption of hexavalent chromium from simulated wastewater and industrial effluents. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 1254-1266, 2016.

KUMAR, S. S. **Biopolymers in Medical Applications**. TechnicalTextile.Net. 2013. Disponível em: <<https://technicaltextile.net/articles/biopolymers-in-medical-applications-6842>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

LIU, J.; SUN, L.; XU, W.; WANG, Q.; YU, S.; SUN, J. Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, p. 297-316, 2018.

LUVIELMO, M.M. e LAMAS, S.V. Revestimentos comestíveis em frutas. **Periódico Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 1, p. 8-15, 2012.

MMA. Impacto das embalagens no meio ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente.html>. Acesso em: 03 de fev. 2019.

MENEZES M. L. L. R. *et al.* Effect of tannic acid as crosslinking agent on fish skin gelatin-silver nanocomposite film. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 19, p. 7-15, 2018.

MOURA, D.; MANO, J. F.; PAIVA, M. C.; ALVES, N. M. Chitosan nanocomposites based on distinct inorganic fillers for biomedical applications. **Science and Technology of Advanced Materials**, v. 17, n. 1, p. 626-643, 2016.

OLADOJA, N. A.; SALIU, T. D.; OLOLADE, I. A.; ANTHONY, E. T.; BELLO, G. A. A new indigenous green option for turbidity removal from aqueous system. **Separation and Purification Technology**, v. 186, p. 166-174, 2017.

OLIVEIRA, V. R. L. **Avaliação da incorporação de cera de abelha na hidrofobização de filmes biopoliméricos e seu efeito como cobertura na conservação pós-colheita da goiaba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus de Mossoró. Mossoró, p. 109. 2017.

OLIVEIRA, V. R. L.; SANTOS, F. K. G.; LEITE, R. H. L.; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, K. N. O. Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, v. 259, p. 55-64, 2018.

PARK, SUNG-BIN.; LIH, E.; PARK, KWAN-SOOK; JOUNG Y. M.; CRINI, K. G.; HAN, D. K. Biopolymer-based functional composites for medical applications. **Progress in Polymer Science**, v. 68, p. 77-105, 2017.

PATTANASHETTI, N. A.; HEGGANAVAR, G. B.; KARIDURAGANAVAR, M. Y. Smart Biopolymers and their Biomedical Applications. **Procedia Manufacturing**, v. 12, p. 263-279, 2016.

PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A. C. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da Unifebe**, Santa Catarina, v. 1, n. 9, p. 53-70, 2011.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª. ed. Novo Hamburgo: Universidade Freevale, 2013.

QI, L.; WU, T.; WATADA, A. E. Quality changes of fresh-cut honeydew melons during controlled atmosphere storage. **Journal of Food Quality**, v. 22, p. 513-521, 1999.

RAMTOOLA, Z.; LYONS, P.; KEOHANE, K.; KERRIGAN, S. W.; KIRBY, B. P.; KELLY, J. G. Investigation of the interaction of biodegradable micro- and nanoparticulate drug delivery systems with platelets. **Jornal of Pharmacy Pharmacology**, v. 63, p. 26-32, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.2010.01174.x>

RAVAL, J. A.; PATEL, J. K.; PATEL, M. M. Formulation and in vitro characterization of spray dried microspheres of amoxicillin. **Acta Pharmaceutica**, v. 60, p. 455-465, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10007-010-0034-7>

RENAULT, F.; SANCEY, B.; BADOT, P. M.; CRINI, B. G. Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, p. 1337-1348, 2008.

SAIKAI C., GOGOI P., MAJI T. K. (2015) Chitosan: A Promising Biopolymer in Drug Delivery Applications. *J Mol Genet Med S4*: 006. doi: 10.4172/1747-0862.S4-006

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. 308-3017, 2007.

SANTOS, M. T. M. *Uso de um Polissacarídeo de Amido para Síntese de um Biopolímero Compatível para o Encapsulamento e Controle de Dosagem de Fármacos*. Dissertação

(Mestrado em Medicina) - Faculdade de Medicina de Botucatu, Campus de Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, p. 63. 2018.

SEVERINO, P.; SANTANA, M. H. A.; MALMONGE, S. M.; SOUTO, E. B. Polímeros Usados como Sistemas de Transporte de Princípios Ativos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 5, p. 361-368, 2011.

SHALINI, R.; SINGH, A. Biobased Packaging Materials for the Food Industry. **J. Food Sci. & Technol. Nepal**, v. 5, p. 16-20, 2009.

SHARMIN, E.; ZAFAR, F. **Biopolymers and Nanocomposites for Biomedical and Pharmaceutical Applications**. NOVA Science publishers U.S, 2017.

SHEKHAWAT, A.; KAHU, S. S.; SARAVANAN, D.; JUGADE, R. M. Removal of Cd(II) and Hg(II) from effluents by ionic solid impregnated chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 1556-1568, 2017.

SILVA, A. C. O. **Estudo de Adsorção do Corante Reativo Laranja 16 com Quitosana e seus Derivados**. Tese (Tese em Química e Biotecnologia) – UFAL. Alagoas, p. 166. 2017.

SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. L. Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo. **In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2003. Joinville - SC.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVÉRIO, A.; COUTO, T.; OLIVEIRA, J. Síndrome de Wilson. **Medicina (Ribeirao Preto. Online)**, v. 51, n. 1, p. 75-81, 2018.

SINGH, R.; JADHAVA, N. A.; MAJUMDER, S.; BHATTACHARYA, B.; SINGH, P. K. Novel biopolymer gel electrolyte for dye-sensitized solar cell application. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, p. 682-685, 2012.

SINGH, R.; POLU, A. R.; BHATTACHARYA, B.; RHEE, H.-W.; MAJUMDER, S.; SINGH, P. K. Perspectives for solid biopolymer electrolytes in dye sensitized solar cell and battery application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1098-1117, 2016.

SINGH, R.; BHATTACHARYA, B.; TOMAR, S. K.; SINGH, V.; SINGH, P. K. Electrical, optical and electrophotochemical studies on agarose based biopolymer electrolyte towards dye sensitized solar cell application. **Measurement**, v. 102, p. 214-219, 2017.

SIRIPATRAWAN, U.; KAEWKLIN, P. Fabrication and characterization of chitosan-titanium dioxide nanocomposite film as ethylene scavenging and antimicrobial active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 125-134, 2018.

SONAI, G. G. al. Células Solares Sensibilizadas Por Corantes Naturais: Um Experimento Introdutório Sobre Energia Renovável Para Alunos de Graduação. **Química Nova**, v. 38, n. 10, p. 1357-1365, 2015.

SUEIRO, A. C.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; LONNI, A. A. S. G.; MALI, S. Filmes Biodegradáveis de Amido de Mandioca, Pululana e Celulose Bacteriana. **Química Nova**, v. 9, n. 9, p. 1059-1064, 2016.

SULZBACH, A. C. et al. A Bioquímica do Glúten através de Oficinas Temáticas. **Ciência e Natura**, v. 37 n. 3, p. 767-776, 2015.

SZYGULA, A.; GUIBAL, E.; PALACÍN, M. A.; RUIZ, M.; SASTRE, A. M. Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation–flocculation using chitosan. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2279-2986, 2009.

THEODORO, J. D. P., PEREIRA, E. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. B.; 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**, p. 275-283, 2015.

VAZ, L. G. L. **Performance do Processo de Coagulação/Floculação no Tratamento de Efluente Líquido Gerado na Galvanoplastia**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Química) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná, p. 100, 2009.

VETRIK, M., et al. Biopolymer strategy for the treatment of Wilson's disease. **Journal of Controlled Release**, v. 273, p. 131-138, 2018.

WAN NGAH, W. S.; TEONG, L. C.; HANAFIAH, M. A. K. M. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, p. 1446-1456, 2010.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de engenharia**. São Paulo: Artliber, 2005.