

CEETEPS - CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
PAULA SOUZA
Etec TRAJANO CAMARGO
Curso Técnico Profissionalizante em Química

AGLEA FELÍCIO SENA
CAUÊ ROCHA DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-
DE-AÇÚCAR**

Limeira - SP
2023

Aglea Felício Sena
Cauê Rocha de Souza

**PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-
DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da ETEC Trajano Camargo, orientado pela Prof.^a Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Química.

Limeira - SP
2023

AGRADECIMENTOS

Neste trabalho agradecemos, primeiramente a Deus, em seguida aos nossos familiares, amigos e parentes, em especial nossos pais que sempre nos apoiaram com tudo que precisávamos durante a nossa vida e que depositaram sua confiança no desenvolvimento do trabalho. Agradeço a minha dupla de pesquisa pelo companheirismo depositado ao longo e durante o desenvolvimento do projeto. A nossa orientadora Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo, professora do curso de química modular noturno na ETEC Trajano Camargo, bem como Lucas Bueno, professor de Biologia do Colégio Jandyra, obrigado pela instrução. Maiormente devemos nossa gratidão à ETEC pela oportunidade de trabalhar nesta pesquisa e por proporcionar um ambiente favorável ao trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa sustentável e econômica de produção de plásticos convencionais (polímeros). A fabricação destes materiais é feita por intermédio de recursos não renováveis e altamente poluentes, como petróleo e o gás natural (recursos fósseis), que ao entrarem em estado de degradação liberam substâncias tóxicas prejudiciais ao solo e à atmosfera. Além disso, o descarte errôneo acarreta na alteração do nicho ecológico de muitas espécies. Para tanto, a seguinte pesquisa dispõe do estudo de recursos de fácil acesso e biodegradáveis, a cana-de-açúcar, que apresentam cadeias poliméricas semelhantemente aos polímeros sintéticos, para a produção de polímeros, por mediação da mistura dos produtos naturais citados, como a celulose, extraída das folhas de cana-de-açúcar depositadas em soda cáustica, e outros produtos quelantes, tais como a farinha de trigo e a glicerina. Assim, espera-se alcançar o resultado satisfatório de fabricação de biopolímeros, obtendo utensílios equiparáveis aos plásticos e igualmente eficientes, porém feitos com materiais sustentáveis.

Palavras-chave: Polímeros. Sustentabilidade. Poluentes. Produtos naturais.

ABSTRACT

The present work aims to present a sustainable and economical alternative for the production of conventional plastics (polymers). The manufacture of these materials is done using non-renewable and highly polluting resources, such as oil and natural gas (fossil resources), which, when in a state of degradation, release toxic substances that are harmful to the soil and the atmosphere. In addition, erroneous disposal leads to changes in the ecological niche of many species. To this end, the following research includes the study of easily accessible and biodegradable resources, sugar cane, which have polymer chains like synthetic polymers, for the production of polymers, by mixing the aforementioned natural products with cellulose, extracted from sugar cane leaves deposited in caustic soda, and other chelating products, such as wheat flour and glycerin. Thus, it is expected to achieve the satisfactory result of manufacturing biopolymers, obtaining utensils comparable to plastics and equally efficient, but made with sustainable materials.

Keywords: Polymers. Sustainability. Pollutants. Natural products.

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA..... | 7 |
| 2. OBJETIVOS GERAIS..... | 9 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 10 |
| 4. METODOLOGIA..... | 18 |
| 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS..... | 22 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 28 |
| REFERÊNCIAS..... | 29 |

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Originalmente descoberto por Alexander Parker em 1862, o plástico (cadeia polimérica/polímeros formada, principalmente, por átomos de carbono) se popularizou por ser uma opção econômica e higiênica para se guardar diferentes tipos de produtos. Em 1907, Leo Hendrik Baekeland, considerado o pai da indústria do plástico, criou a baquelite, primeira resina totalmente sintética criada a partir de uma mistura de fenol e formaldeído. Comercializada como “o material para milhares de usos”, a baquelite foi um sucesso, pois podia ser moldada, fornecendo possibilidades infinitas (POLOFILMS, 2020).

O vidro deu lugar às garrafas PETs e os recipientes de alumínio deram lugar aos recipientes de polímeros, que são mais leves e baratos (GUANAPLAST, 2019). Além disso, os polímeros são utilizados na maioria das indústrias para os mais variados fins, devido à sua resistência química, elasticidade e alta durabilidade (APLASTIK, 2022). Contudo, a desvantagem do uso dos polímeros petroquímicos é a dificuldade de degradação desse material no meio ambiente. A indústria alimentícia e de bebidas são as que utilizam maior quantidade deste polímero, sendo embalagens o setor que mais utiliza polímeros, o qual geralmente são polímeros sintéticos de origem petroquímica.

A produção de polímeros oriundos de fontes não renováveis, como o petróleo, está crescendo cada vez mais e causando diversos problemas. Estes materiais, devido à disposição inadequada, causam inúmeros danos ambientais e podem proliferar espécies danosas ao ser humano. Os polímeros levam em média 400 anos para se decompor e ainda liberam gases tóxicos que podem afetar o solo, a água e o ar, prejudicando alimentos, animais, bem como causando doenças nas pessoas.

Além disso, um dos principais polímeros empregados na indústria é o polietileno tereftalato (PET), uma substância que acarreta problemas ambientais sobretudo devido a presença do ácido tereftálico em sua composição, uma vez que é sintetizado por meio da oxidação catalítica do p-xileno (MATAR; HATCH, 2000). Assim, tal composto é usado para dar ligamento e sustentação às ligações poliméricas (ALPEK, 2018). Entretanto, conforme aponta a pesquisadora Nádia Alves Lima (2015), sua substituição na produção dos polímeros por demais substâncias de origem

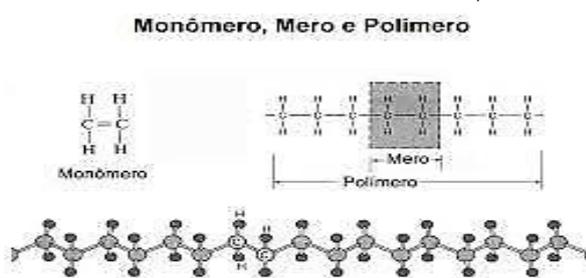
renovável é possível e potencial para a redução dos impactos ambientais associados à sua síntese (LIMA, 2015).

Em conformidade com o defendido por Sanches e Barbieri (2018), pesquisadores do Centro Universitário Lusíada (UNILUS), os polímeros convencionais, derivados do petróleo, são utilizados em todos os segmentos da sociedade (SANCHES; BARBIERI, 2018). Desde a 2ª Guerra Mundial, houve um grande avanço na produção de produtos polímeros, devido ao seu baixo custo e fácil manipulação, com os produtos poliméricos substituindo a maior parte dos produtos convencionais e dominando o mercado.

Tendo em vista os malefícios ambientais causados pela produção de polímeros a partir de matéria-prima não renovável, a indústria tem procurado a adaptação de métodos produtivos utilizando-se de materiais biodegradáveis, ou seja, materiais polímeros total ou parcialmente derivados de cana-de-açúcar, milho, celulose de madeira, óleos vegetais, entre outras fontes naturais renováveis, mediante processos químicos ou biotecnológicos. Alguns deles têm uso já bem estabelecido, outros buscam seu lugar no mercado; em conjunto, eles perfazem um percentual ainda pequeno, porém crescente, da oferta global de resinas (SANTOMAURO, 2020).

Em geral, os polímeros biodegradáveis, derivados de produtos vegetais e animais, tais como a celulose, amido, quitina, entre outros, além de serem encontrados abundantemente na natureza, decompõem-se em componentes mais simples pela atividade dos microrganismos ao entrar em contato com o solo, umidade, ar e luz solar. Ao contrário do que ocorre com os polímeros petroquímicos, que permanecem por longo período sem sofrer alteração (PETRÓPOLIS, 2021).

Figura 1: Estruturas moleculares de monômeros, meros e polímeros.



Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5047074/mod_resource/content/1/Seminario%20%20-%20%20texto%20generalidades%20sobre%20pol%C3%ADmeros

2. OBJETIVOS GERAIS

Esta pesquisa tem por objetivo a produção do biopolímero poliestireno (PS) a partir do bagaço da cana-de-açúcar, dispondo-se de celulose, hemicelulose e lignina essenciais para a realização do procedimento.

2.1 Objetivos específicos

- Obter a celulose da própria cana-de-açúcar por extração por meio básico;
- Produzir o polímero poliestireno a partir de produtos de fácil acesso e renováveis;
- Reduzir os custos necessários para a produção de polímeros;
- Alcançar a estrutura rígida e consistente da substância final, a fim de evitar deformações que afetariam no uso do polímero;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Polímeros e Biopolímeros

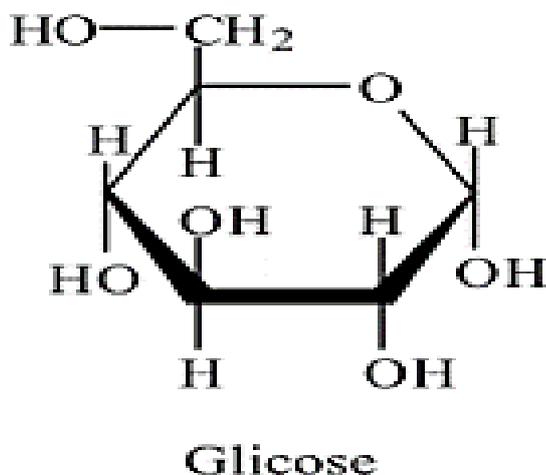
O primeiro biopolímero foi descoberto em 1926 pelo cientista francês Maurice Lemoine em seu trabalho com a bactéria *Bacillus megaterium*. A importância da descoberta de Lemoine foi ignorada por décadas porque o petróleo era barato e abundante na época (ZURICH, 2017).

Uma pesquisa realizada pela revista Piauí Potencialidades (2019), a respeito da cana-de-açúcar, explicita que a cana é um grupo de gramíneas altas perenes indígenas dos trópicos do sul da Ásia e da Melanésia e utilizadas principalmente para a produção de açúcar e etanol.

É importante observar que, assim como os polímeros sintéticos tradicionais, a cana-de-açúcar é formada por cadeias poliméricas, que na verdade são carboidratos. Os carboidratos encontrados na cana-de-açúcar são a sacarose e o amido respectivamente (UFSC, 2021).

No livro escrito por Sebastião V. Canevarolo (CIÊNCIA DOS POLÍMEROS, 3ª ed. 2010), diz-se que um polímero é uma macromolécula, formada pela ligação química de uma série de blocos monoméricos. A palavra "polímero" vem das palavras gregas poli, que significa "muitos", e meros, que significa "partes", então um polímero é uma molécula de "muitas partes" (monômero, que significa "parte" em grego). Os monômeros, por sua vez, são moléculas que reagem com outras moléculas de monômeros para formar cadeias poliméricas maiores ou redes tridimensionais, processo denominado polimerização.

Em concordância com Brás (2015), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a sacarose consiste em um polissacarídeo, isto é uma cadeia carbônica sequenciada pela repetição de uma cadeia menor, formado pelos monossacarídeos, açúcares simples, sendo geralmente cristalinos, doces e solúveis em água, de fórmula estrutural $[C(H_2O)]_n$, onde $n > 2$): tais como: glicose, carboidrato usado como energia pelos seres vivos, e frutose, glicídio natural presente nas frutas, conforme apresentado na figura abaixo:

Figura 2: Fórmula estrutural da Glicose.

Fonte: <https://lh4.ggpht.com/-v4oxKxODOoY/TnKVQHX9D-I/AAAAAAAAADUs/aPeerg0LMtl/image%25255B9%25255D.png?imgmax=800>

Segundo Carvalho (2011), em seu artigo publicado no repositório institucional da UNESP, a respeito da cana-de-açúcar e suas propriedades poliméricas, o material pode ser utilizado para a síntese de polímeros, visto que se trata de um polissacarídeo e, portanto, pode assumir comportamento semelhante a polímeros, por conseguinte, é usada na produção dos “polímeros verdes”, ou biopolímeros (macromoléculas constituídas de material vegetal).

Esse mesmo fato é ainda corroborado por Gonçalves (2017), em especial ao pontuar que o polietileno produzido a partir do etanol de cana-de-açúcar apresenta as mesmas propriedades físicas e químicas do polietileno tradicional produzido a partir de matéria-prima fóssil. Portanto, não é possível diferenciar esses dois polímeros pela análise visual, pois são iguais em cor, aparência e composição. Além disso, são indistinguíveis dos produtos fósseis em termos de reciclagem mecânica, porque o etanol da cana é desidratado para formar a eteno, que polimeriza em polietileno. Esse biopolímero vai para empresas de terceira geração que o transformam em produtos polímeros. Os biopolímeros produzidos a partir da cana-de-açúcar retêm o dióxido de carbono e ajudam a reduzir os gases de efeito estufa.

3.2 Poliestireno

O poliestireno ou PS é um termoplástico rígido, amorfo e transparente polimerizado com estireno (vinil benzeno). Essa polimerização ocorre aquecendo uma suspensão em água e utilizando peróxido para iniciar a reação (MAIS POLIMEROS, 2019). Existem três nomes para o poliestireno: Poliestireno Cristal, Alto Impacto e Isopor.

O cristal normal ou poliestireno tem aparência semelhante ao vidro. Neste estado, o PS é mais frágil e menos flexível do que outros estados. Além disso, possui um índice de refração mais alto e é muito mais transparente (ALSER, 2020).

Figura 3: Imagem do poliestireno cristal.



Fonte: Polydeia.

O poliestireno de alto impacto é obtido quando mais de 10% de poli butadieno ou estireno butadieno é adicionado ao PS. Dessa forma, o material torna-se mais durável e opaco (POLYBRASIL, 2020).

Essa resistência ao impacto do PSAI se deve ao fato de ter sido adicionado um elastômero, que faz com que o material perca a transparência, deixando-o branco opaco e capaz de receber posterior pigmentação. Entre as principais características do poliestireno de impacto estão: alta rigidez, resistência ao impacto, atóxico, inodoro, baixo

3.3 Celulose

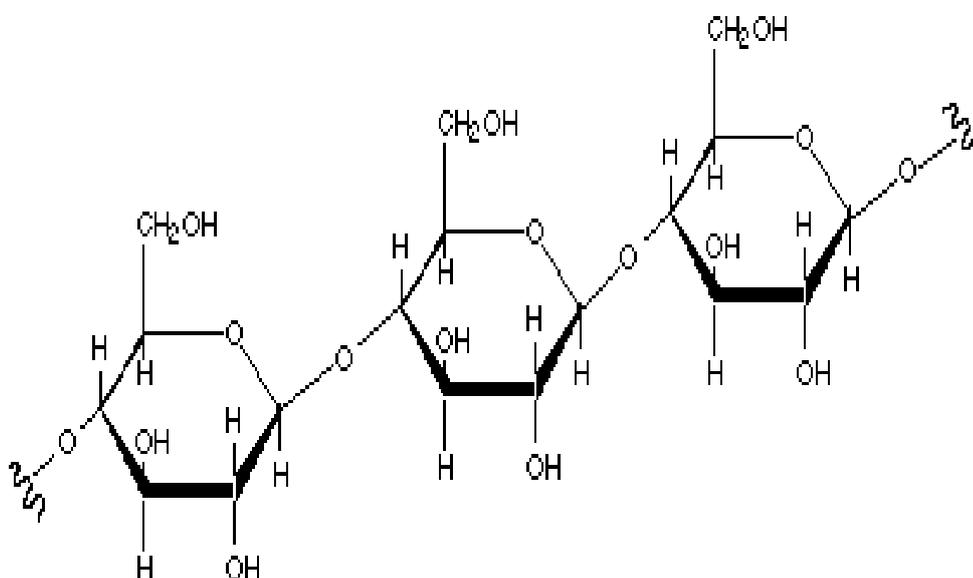
De acordo com o trabalho realizado por Almeida (2022), um farmacêutico usou o termo celulose pela primeira vez em 1838, cujo nome era Anselme Payen, francês (KHALIL *et al.*, 2017; PENG *et al.*, 2020). Desde aquele tempo, a celulose tem sido reconhecida como um material inovador por ser amplamente disponível e utilizado em muitas aplicações biotecnológicas devido à sua abundância e excelentes propriedades, como alta resistência à tração, alta absorção de água, biocompatibilidade e não toxicidade (TROVATTI *et al.*, 2012; MISHRA, SABU, TIWARI, 2018; GALDINO JÚNIOR *et al.*, 2019).

Almeida (2022), ainda conseguiu descobrir métodos para a utilização de celulose na produção dos polímeros naturais, como cita em seu trabalho “Produção de biopolímero de celulose bacteriana aditivado com antioxidante natural”, através do uso de celulose bacteriana, que consiste na celulose produzida a partir de processos químicos realizados por bactérias, e na esterilização feita por radiação gama.

Nesse sentido, a pesquisa realizada pelo grupo ChopLife Brasil, mostra que a celulose é a estrutura da parede celular vegetal. É uma molécula química formada a partir de uma complexa cadeia de açúcar (glicose) e é encontrada em quase todas as plantas. A celulose compõe cerca de 33% de toda a matéria vegetal do planeta. Cerca de 90% do algodão e 50% da madeira é a celulose.

Como mencionado acima, a celulose é o mais abundante de todos os compostos orgânicos que ocorrem naturalmente. A celulose, de grande importância econômica, é processada para a fabricação de papel e fibras têxteis. Também pode ser modificada quimicamente para produzir substâncias usadas na fabricação de polímeros, conforme representado na figura abaixo:

Figura 6: Fórmula estrutural da celulose.



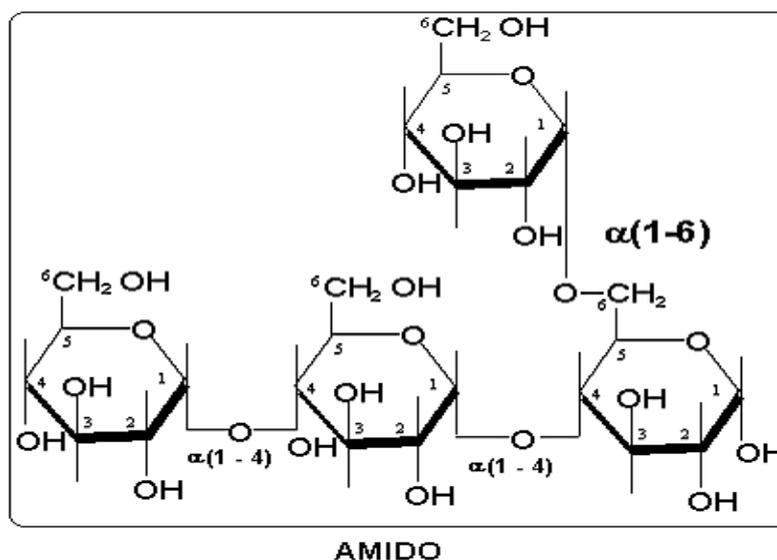
Fonte: <https://www.soquimica.com.br/conteudos/em/macromoleculas/celulose.php>

3.4 Amido

De acordo com a pesquisa realizada por Cavalcanti, Sousa, Rovani e Alves (2017), o amido é um polímero semicristalino de alto peso molecular composto por moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas. Tem sido considerado um dos materiais biopolímeros mais promissores devido à sua atraente combinação de disponibilidade global, preço e desempenho (ABDILLAHY *et al.*, 2013). Porém, como os filmes de amido não apresentam boas propriedades mecânicas, várias modificações estruturais têm sido feitas neles, desde o desenvolvimento de polímeros híbridos (orgânico-inorgânicos) até a utilização de nanocompósitos inorgânicos, que são adicionados a cadeias orgânicas e cargas, com fibras naturais (SILVA, 2012; VERSINO; GARCIA, 201).

O grupo de pesquisadoras também conseguiu descobrir que o amido tem aplicações na produção dos polímeros naturais, especificamente a amilose, composto utilizado por plantas para armazenamento do amido como reserva energética e altamente usado na produção dos biopolímeros, por ser uma cadeia carbônica aderente. Conforme representado na figura 4 abaixo:

Figura 7: Fórmula estrutural do amido.



Fonte:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fqniint.sbq.org.br%2Fqni%2Fpopup_visualizarMolecula.php%3Fid%3DN46O8

3.5 Lignina

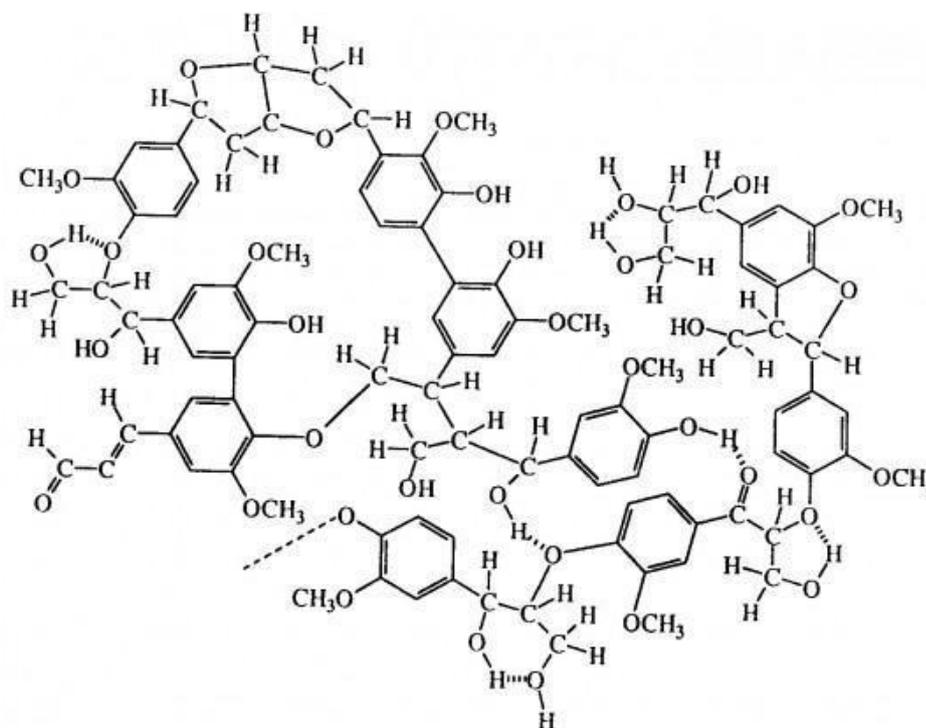
A lignina é um polímero amorfo e complexo, sendo o segundo componente mais abundante na madeira, atrás apenas da celulose. No presente trabalho, a lignina foi extraída da madeira de pinus em pó por meio do processo de organosolv, utilizando ácido acético e etanol como solventes. O produto da reação de organosolv consistiu na lignina solubilizada no solvente, no qual foi posteriormente submetido a outra etapa de precipitação da lignina para então realizar sua análise pela técnica de espectroscopia na região do infravermelho (WOICIECHOWSKI, 2018).

O termo lignina foi cunhado por Anselme Payen em 1838, significando o resíduo solúvel obtido quando a madeira é tratada com ácido nítrico concentrado. A composição química deste resíduo permaneceu obscura por muito tempo. Em 1917, Peter Klason propôs que a lignina poderia ser classificada como uma substância macromolecular composta por unidades de álcool de coníferas conectadas por ligações do tipo éter. Em 1940, estudos baseados em reações químicas orgânicas clássicas concluíram que a lignina era geralmente composta de unidades fenilpropanóides ligadas por ligações éter e carbono-carbono (SCIMAGO, 2001).

A estrutura aromática da lignina, única na natureza, torna-a adequada, através de transformações catalíticas em compostos fenólicos de baixo peso molecular, para substituir alguns compostos derivados do petróleo (SENA-MARTINS *et al.*, 2008; MATSUSHITA *et al.*, 2009), além de servir como matéria-prima para produção de resinas e adesivos (ASADA *et al.*, 2015; LEE *et al.*, 2015).

Diante da importância da lignina, foi desenvolvido pelo laboratório Sueco, STFIPackforsk, AB, o processo Lignoboost. A utilização do processo em fábricas de celulose proporciona a redução do licor negro a ser recuperado, aumentando a capacidade de produção de celulose e a redução de gases do efeito estufa liberados na atmosfera. Para a separação e obtenção da lignina a partir do licor negro, é retirada parte do licor da planta de evaporação. A lignina passa pela precipitação, abaixando seu pH para aproximadamente 9 a 10,5 a partir da injeção de dióxido de carbono.

Figura 8: Fórmula estrutural da lignina

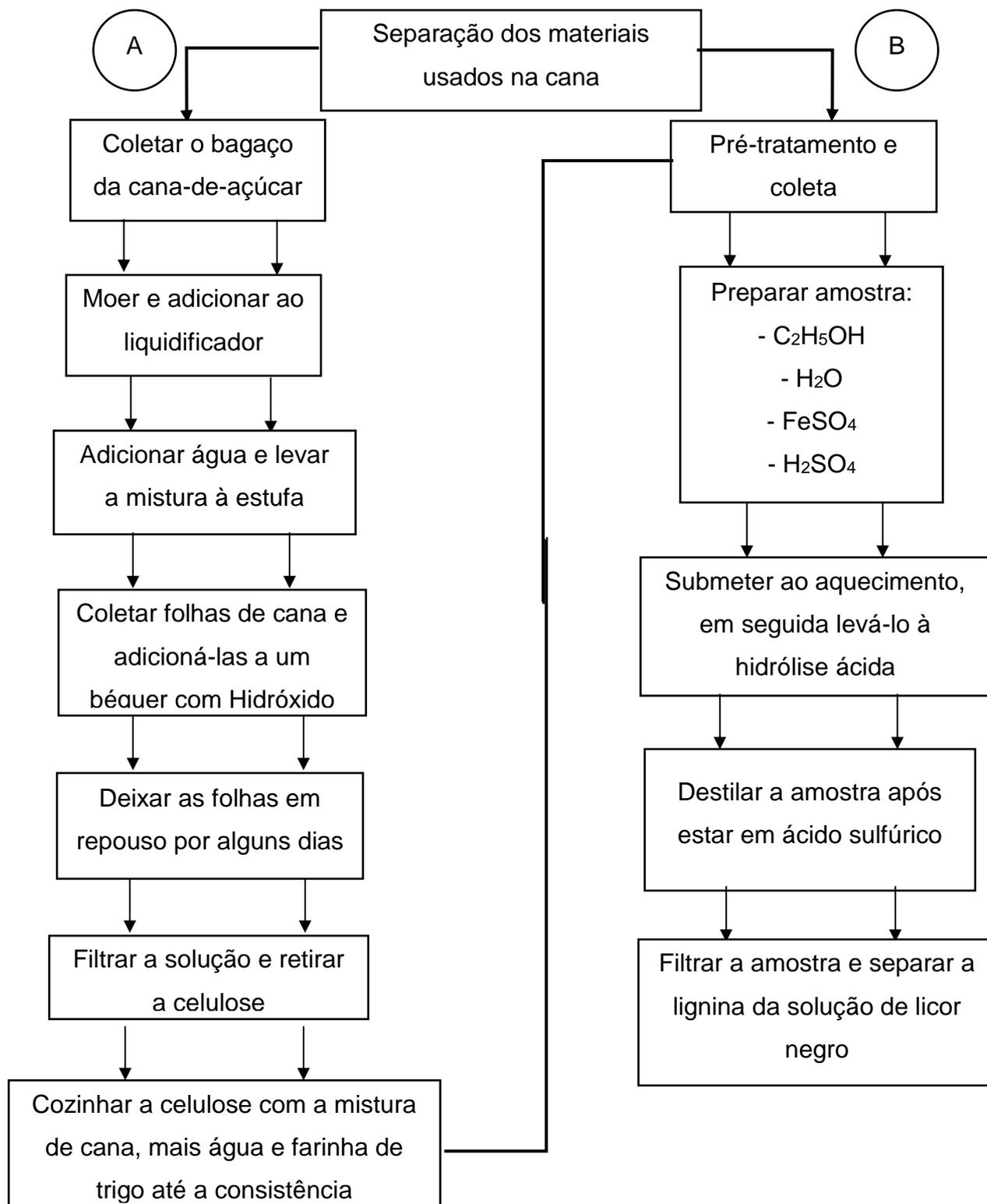


Fonte: <https://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/06/lignina-550x417>.

4. METODOLOGIA

Os métodos e procedimentos realizados na produção dos biopolímeros de cana-de-açúcar são expostos no fluxograma abaixo:

Fluxograma 1: Metodologia usada na produção dos biopolímeros



4.1 Parte A

Separamos os materiais e reagentes que seriam adicionados à amostra de cana-de-açúcar. Nesse momento, também moemos o bagaço da cana-de-açúcar, essa amostra foi transferida para um liquidificador ao qual também adicionamos água. Após essa etapa, a amostra resultante foi encaminhada para a estufa durante 1 hora.

Ao mesmo tempo em que a amostra de bagaço de cana-de-açúcar se encontrava em aquecimento na estufa, para a retirada da umidade, coletamos outra parte do bagaço de cana-de-açúcar. Esse bagaço foi transferido para um béquer previamente preparado com solução 5% de Hidróxido de Sódio (NaOH), e mantidas depositadas nesse recipiente durante 45 minutos.

Finalmente, ainda na parte A da metodologia empregada, realizamos a filtração do amido, a qual foi encaminhada para aquecimento juntamente com 100 mL de água e 25g de farinha de trigo. Neste ponto cabe argumentarmos que a amostra preparada foi mantida em aquecimento até obtenção da consistência almejada e, em seguida foi encaminhada para resfriamento até atingir temperatura ambiente.

4.2 Parte B

Nesta parte realizamos o processo denominado organossolv, o qual fora realizado da seguinte maneira:

Ao realizar o tratamento da solução de cana da solução anterior, o líquido restante, cognominado licor negro, foi encaminhado para o tratamento ácido. Assim, primeiramente adicionamos ao líquido 50mL de etanol 70%, 100mL de água e 10mL de ácido sulfúrico, a presença de catalisadores é opcional, neste caso o utilizado foi 6,0g de FeSO_4 . Em seguida submetemos a amostra ao aquecimento por 50 minutos, conforme figura abaixo:

Figura 9: Foto do procedimento de aquecimento do bagaço da cana-de-açúcar.



Fonte: Os autores (2023).

Em seguida, realizamos no líquido a hidrólise ácida. No caso não houve a formação de precipitado, portanto utilizamos o hidróxido de sódio para a redução do pH. Deixamos em aquecimento por 1 hora, conforme figura abaixo:

Figura 10: Licor negro sob aquecimento



Fonte: Os autores (2023)

Após a cristalização da lignina, submetemos os tubos de ensaio à centrifuga e decantamos a lignina, finalmente filtramos a amostra. Cabe ainda destacarmos que o processo Organossolv elaborado nesta pesquisa segue os padrões estabelecidos por Macedo, Teodoro, Bianchini (2013), uma vez que realizaram essa metodologia na ETEC na qual desenvolvemos esse trabalho de conclusão de curso atualmente.

Uma pesquisa detalhada de Pedro Fernandes (2017), explicita que o processo organossolv é um pré-tratamento da biomassa lignocelulósica com a mistura de solventes orgânicos e água em elevadas temperaturas. Existe uma variedade de solventes, porém os mais utilizados são: acetona, etanol, metanol e ácidos orgânicos (ácido acético e ácido fórmico). A escolha do solvente é definida de acordo com o processo estudado, os custos e a facilidade de aquisição do solvente.

O principal solvente utilizado em processo organossolv atualmente é o etanol devido ao seu relativo baixo custo, suas características químicas, não ser poluente, de fácil recuperação, visto que apresenta baixo ponto de ebulição e pode ser recuperado por destilação.

O bagaço da cana-de-açúcar é a fração de biomassa resultante após os procedimentos de limpeza, preparo (redução através de jogos de facas rotativas niveladoras e desfibramento através de jogos de martelos oscilantes) e extração do caldo de cana. Não é uma biomassa homogênea, apresentando variações em sua composição, assim como na sua estrutura morfológica, em função dos procedimentos de corte no campo e no processamento industrial (SOARES, 2014).

Observação importante: durante o procedimento realizado, não houve a formação imediata de precipitado, para alcançar nosso objetivo acrescentamos ácido carbônico e NaOH, pois a lignina precipita-se em pH básico e ao consumir CO₂, de acordo com as pesquisas anteriormente realizadas. Caso ainda não tenha formado o precipitado mantenha a amostra sob aquecimento em banho-maria por 1 hora.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Diante o exposto anteriormente, essa pesquisa buscou extrair a celulose e a lignina do bagaço da cana-de-açúcar, por intermédio de métodos menos poluentes, estabelecendo novas formas de tratamento para os resíduos formados e utilizando-os para o procedimento de produção polimérica, de modo que foram ainda empregados para auxiliar na consistência do produto gerado.

Nesse sentido, as análises aqui apresentadas visam avaliar as propriedades do produto, obtido de uma fonte sustentável/renovável que tem por objetivo a degradação no ambiente em pouco espaço de tempo, diferente dos polímeros comuns que levam em torno de 325 anos. Para isso cabe reiterarmos que os métodos utilizados foram baseados em trabalhos anteriores, entretanto houve alterações realizadas pelos autores.

Dentre as principais mudanças realizadas destacamos a utilização do NaOH para a precipitação da lignina, visto que havíamos nos fundamentamos em experimentos envolvendo a extração ácida de tal composto. Contudo, segundo alguns estudos realizados, compreendemos que a lignina não precipita em meios ácidos, mas sim alcalinos, o que nos obrigou a alterar o método. Compreendemos então que a eficiência alcançada pelo grupo que realizou a extração ácida, foi em virtude dos materiais que utilizaram para tal procedimento, tendo em vista que dispomos do bagaço-da-cana, enquanto a equipe referida usufruiu da folha cana-de-açúcar.

Frente essas considerações iniciamos as discussões das análises efetuadas nos polímeros produzidos.

5.1 Parte A

A partir da metodologia proposta na parte A, após homogeneizar intensamente a substância formada, ela foi reservada em local seco, arejado e ausente de luz, em repouso por 3 dias, até que estivesse completamente seco.

5.1.1 Análise de Consistência e Dureza do Polímero produzido

Nesta etapa inicialmente realizamos uma análise visual do polímero produzido. Deste modo, observamos a presença de deformações e rachaduras que corroboram com a consistência frágil constatada neste polímero, conforme demonstrado na figura abaixo:

Figura 11: Protótipo do polímero de amido com falhas pelos testes.



Fonte: Os autores (2023)

Ainda a respeito da consistência e dureza do polímero produzido, quanto ao teste de compressão e flexibilidade, realizado de forma qualitativa constatamos também que devido sua estrutura mais rígida o polímero formado apresenta baixa flexibilidade, bem como baixa resistência à compressão constatadas pelo seu rompimento em ambos os testes realizados.

OBS: Por apresentar baixa eficiência nos testes fora adicionado cola líquida, com o intuito de aumento de consistência.

5.1.2 Análise de Biodegradabilidade do Polímero produzido

Nesta etapa realizamos dois testes para determinar a biodegradabilidade do polímero formado, sendo eles:

Biodegradabilidade no solo, no qual uma amostra de 13,5cm foi depositada no solo durante uma semana e após esse período determinamos uma diminuição no tamanho da amostra (10cm), evidenciando assim a biodegradabilidade no polímero formado.

Biodegradabilidade na água, no qual uma amostra de 5cm foi depositada em um recipiente contendo 180mL de água durante 12 horas e após esse período determinamos uma diminuição no tamanho da amostra (4cm), além do desmanche do objeto, evidenciando assim a biodegradabilidade no polímero formado.

Apesar da alta biodegradabilidade o polímero não poderia ser destinado ao consumo por ser muito mais sensível que o esperado, o que o conferiu alta permeabilidade e rápida degradação, que não era o que queríamos.

OBS: Com o acréscimo da cola os dados foram alterados e o polímero apresentou baixíssima biodegradabilidade.

5.2 Parte B

A partir da metodologia proposta na parte B, na amostra de bagaço de cana-de-açúcar acrescentamos ácido sulfúrico concentrado, etanol, água e um catalisador, no caso o sulfato de ferro II (FeSO_4), em seguida essa solução foi encaminhada para aquecimento durante 45 minutos. Em seguida, retiramos a solução e acrescentamos NaOH 5% para a decantação da lignina e produção do polímero.

5.2.1 Análise de Consistência e Dureza do Polímero produzido

Nesta etapa inicialmente realizamos uma análise visual do polímero produzido. Deste modo, observamos a presença de microestruturas poliméricas, conforme demonstrado na figura abaixo:

Figura 12: Polímero feito de lignina e bagaço de cana.



Fonte: Os autores (2023)

As estruturas esbranquiçadas e de aspecto quebradiço foram exatamente como o esperado, semelhantes aos poliestirenos e polietileno tereftalado, um polímero termoplástico, ou seja, maleável a temperaturas relativamente elevadas.

Fora realizado o teste de resistência polimérica ao risco (dureza) e à queda (choques mecânicos) em ambos os casos não foi feita medida da força em kgf, contudo os testes foram: queda livre e atrito com talheres; para fins de análise qualitativa, as provações demonstraram grande eficiência do polímero para condições comuns de uso.

5.2.2 Análise de Biodegradabilidade do Polímero produzido

Foram realizados dois testes com o polímero de lignina, com respeito a sua degradabilidade e sua capacidade de retenção de líquido, sendo eles:

Biodegradabilidade no solo: o polímero de lignina apresentou boa resistência aos poucos dias deixados (3 dias) em solo, sendo que 5cm do polímero conseguiu resistir nesses dias não aparentando diminuição em sua proporção, contudo para a degradação completa, seguindo os dados e as pesquisas apresentadas no presente trabalho, seriam necessários mais dias e até mesmo meses.

Biodegradabilidade na água: o polímero apresentou boa resistência, haja vista que, sob os mesmos requisitos do teste anterior e submetidos em um recipiente de 180ml de água, a amostra depositada não aparentou qualquer redução em suas dimensões.

Permeabilidade: possui baixa permeabilidade, além de não reter água em sua estrutura o que impede que a amostra desmanche com facilidade em meio aquoso.

Seguindo os dados obtidos conseguimos analisar que o polímero de lignina é o mais próximo ao que esperávamos alcançar com a produção de plásticos naturais a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

Figura 13: Polímero feito a partir de lignina de bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: Os autores (2023).

5.3 Custos

O tabelamento de preços foi de extrema importância ao comparativo do benefício providenciado à produção de biopolímeros. O estudo exclusivo macroeconômico da indústria brasileira de embalagem, realizado pela FGV, demonstra que o valor bruto da produção física de embalagens tem previsão de atingir o montante de R\$ 92,9 bilhões, um aumento de 22,3% em relação aos R\$ 75,9 bilhões alcançados em 2019 (ABRE, 2020).

Figura 14: Valor bruto da produção de plásticos convencionais.



Fonte: IBGE - *Projeção (Dados Estimados)
Elaboração: FGV

Fonte: Associação Brasileira de Embalagens (ABRE).

Foram tabulados os custos decorridos da produção polimérica e estipulado alguns valores, baseados em pesquisas aprofundadas em lojas de produtos químicos de confiança.

As pesquisas foram realizadas por informações obtidas na compra de alguns dos materiais e as demais por tabelamento de preços da Persoalab. Os seguintes valores foram encontrados:

Tabela 1: Valor bruto da produção de bioplásticos.

| MATERIAIS | PREÇO |
|--|--------------------------------|
| Bagaço de cana | Sem custo; advindo do descarte |
| Farinha de trigo | R\$ 14,00 |
| Hidróxido de sódio (NaOH) | R\$ 48,00 |
| Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) | R\$ 130,50 |
| Sulfato de Ferro II (FeSO₄) | R\$ 26,22 |
| TOTAL | R\$ 218,72 |

Fonte: Os autores (2023).

A partir dos custos descritos na tabela, torna-se perceptível que a produção de biopolímeros apresenta um grande custo-benefício quando comparado com os plásticos convencionais.

5.4 Tratamento do Licor Negro

Não conseguimos realizar o tratamento completo do licor negro, contudo após a extração da lignina o licor marrom, como é chamado, pode ser utilizado como combustível.

As propriedades do licor negro, que apresentam maior eficiência no processo de recuperação, são: composição química, densidade, ponto de ebulição, calor específico, viscosidade, condutividade térmica e tensão superficial.

A queima deste composto tem como objetivo gerar energia e recuperar as substâncias químicas. A recuperação Kraft consiste na restauração dos materiais inorgânicos (hidróxido de sódio e sulfeto de sódio) que foram empregados na queima e cozimento do material orgânico presente no licor negro. As etapas de recuperação dos reagentes químicos inorgânicos abrangem a evaporação e a combustão do licor preto e a caustificação do licor verde (AGROENERGIA, 2021).

6. CONCLUSÃO

A partir dos referidos ditos, a presente pesquisa determinou não apenas a extração eficiente de lignina do bagaço da cana-de-açúcar, mas também a incorporação desses componentes em um processo de produção polimérica menos impactante ao meio ambiente, de modo que o emprego de métodos menos poluentes para a obtenção desses biopolímeros representa um avanço significativo na busca por alternativas sustentáveis na indústria de materiais.

Nesse sentido, ao estabelecer novas formas de tratamento para os resíduos gerados durante o processo de extração, foi possível mitigar os potenciais impactos ambientais associados à produção de celulose e lignina, uma vez que priorizamos a sustentabilidade desde as etapas iniciais, fator esse que também se alinha com a crescente necessidade de práticas industriais mais ecoeficientes e socialmente responsáveis.

Diante esses pressupostos, a utilização desses biopolímeros não apenas amplia as discussões sobre o emprego de fontes renováveis na indústria, mas também contribui para a redução do tempo de degradação no ambiente, visto que os polímeros convencionais, derivados do petróleo, podem persistir no ambiente por séculos, contrastam com a proposta deste estudo, onde destacamos o emprego de uma fonte sustentável que apresenta uma biodegradabilidade mais rápida.

Por fim, as análises das propriedades do produto gerado reforçam a viabilidade dessa abordagem, destacando a consistência e a biodegradabilidade do produto como fatores cruciais, visto que a partir dessas análises, foi possível avaliar e comparar o desempenho do produto obtido com os polímeros tradicionais, fornecendo evidências concretas da aplicabilidade e eficácia dos biopolímeros extraídos do bagaço da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

BURTOLOSO, A. C. B. **Bagaço da cana-de-açúcar pode ser matéria-prima para produção de polímeros**. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/bagaco-da-cana-de-acucar-pode-ser-materia-prima-para-producao-de-plastico/>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

BENINI, K. C. C. DE C. (UNESP) Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS / fibra de casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar. **Aleph**, p. 125 f. il., 7 fev. 2011. Acesso em: 24 de abril de 2023.

BORGES, L.; COLODETTE, J. A utilização de perácidos na deslignificação e no branqueamento de polpas celulósicas. **Revisão Quim. Nova**, v. 24, n. 6, p. 819–829, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/zPtcSbYhNgZvjzjFqVbZQLf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

BRÁS, N. Monossacarídeos. **Revista de Ciência Elementar**, v. 3, n. 1, 2015. URL: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2015/081/> Acesso em: 03 de maio de 2023.

CAD; PROSPEC; SALVADOR. **Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros**. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/29100/24926.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 03 de maio de 2023.

CANEVAROLO, S. Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. **Ciência dos polímeros**. Disponível em: https://www.artliber.com.br/amostra/ciencia_dos_polimeros.pdf Acesso em: 07 de maio de 2023.

CANNA, AGÊNCIA. **O que são polímeros e qual o seu papel na indústria?** Disponível em: <https://www.compostos.com.br/blog/o-que-sao-polimeros#:~:text=Por%20defini%C3%A7%C3%A3o%2C%20os%20pol%C3%ADmeros%20.> Acesso em: 03 de maio de 2023.

CARACTERÍSTICAS. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/mphorta/batata/mphcarac.htm#:~:text=A%20batata%20%C3%A9%20uma%20planta> Acesso em: 29 de abril de 2023.

Celulose: Veja o que é, para que serve e os tipos - Klabin. Disponível em: <https://klabin.com.br/negocios-e-produtos/celulose#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20celulose%3F> Acesso em: 10 de abril de 2023.

CHULUCK, C.; FONSECA, D. **Produção e utilização do biopolímero poli(hidroxibutirato) (PHB) em embalagens alimentícias Lorena. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**. Disponível em:

<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MBI14005.pdf> Acesso em: 03 de maio de 2023.

COELHO, M. C. *et al.* Biopolímero produzido a partir da cana-de-açúcar para cicatrização cutânea. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 17, n. suppl 1, p. 11–13, 2002. URL:

<https://www.scielo.br/j/acb/a/FkzmPYCn3nRKdq7JVhSYpvQ/?lang=pt&format>
Acesso em: 3 de maio de 2023.

Como os polímeros pode prejudicar o meio ambiente? Disponível em:

<http://guanaplast.com.br/noticia/como-o-plastico-pode-prejudicar-o-meio-ambiente/#:~:text=Resistente%2C%20o%20pl%C3%A1stico%20leva%20em> Acesso em: 10 de abril de 2023.

Como surgiu o biopolímeros? Disponível em:

<https://vocepergunta.com/library/artigo/read/725781-como-surgiu-o-bioplastico>
Acesso em: 03 de maio de 2023.

DA, A.; BERWANGER, S. **Produção e caracterização de biopolímero sintetizado por *Sphingomonas capsulata***. URI - CAMPUS ERECHIM DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS Disponível em:

https://www.uricer.edu.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/563.pdf Acesso em: 29 de abril de 2023.

Estudantes brasileiras criam polímeros biodegradável com bagaço da cana.

Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2020/01/estudantes-brasileiras-criam-plastico-biodegradavel-com-bagaco-da-cana.html> Acesso em: 29 de abril de 2023.

EVANILDO DA SILVEIRA. **Útil, sem poluir.** Disponível em:

<https://revistapesquisa.fapesp.br/%C3%A9Atil-sem-poluir> Acesso em: 03 de maio de 2023.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R. DA; SILVA, F. DE C. DA. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. **Química Nova**, v. 32, p. 623–638, 2009. URL:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/hH8YSXNnbfDZbsPX7DqmJFx/?lang=pt> Acesso em: 03 de maio de 2023.

FILMS, Polo. *In: Origem, Evolução e Futuro do Plástico*. Blog PoloFilms, 6 nov. 2020. Disponível em:

<https://polofilms.com.br/blog/a-origem-a-evolucao-e-o-futuro-do-plastico/#:~:text=Mas%20como%20surgiu%20e%20de,esfriar%20> Acesso em: 17 maio 2023.

Frutose: saiba o que é e se faz mal para a saúde. Disponível em:

https://www.sindafep.org.br/?area=ver_noticia&id=62293#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20frutose%3F Acesso em: 03 de maio de 2023.

GERBER, A. **Efeito da glicose e da sacarose como fontes de carbono no acúmulo de PHB por uma espécie de pseudomonas.** Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/941888/1/Digitalizar0002.pdf>
Acesso em: 29 de abril de 2023.

JOSÉ, Fernando, GOMES, Borges. **Precipitação e caracterização de lignina a partir do licor preto da palha da cana de açúcar.** Universidade federal rural do rio de janeiro instituto de florestas curso de graduação em engenharia florestal Mateus dos Santos de Araújo Disponível em:
<http://rima.im.ufrj.br:8080/jspui/bitstream/1235813/8722/1/MATEUS%20DOS%20SANTOS%20DE%20ARA%C3%9AJO.pdf> Acesso em: 12 de agosto de 2023.

KENJI, Gustavo; MATSUDA, Saito; RIOS, Polliana; BEATRIZ, Maisa MATTOS Koch. **Incorporação de lignina resultante do processo de lignoboost™ em filmes biodegradáveis.** Disponível em:
https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/15655/84_INCORPORA__O_DE_LIGNINA_RESULTANTE_DO_PROCESSO_DE_LIGNOBOOST_EM_FILMES_BIODEGRAD_VEIS_16632598616583_15655.pdf Acesso em: 12 de agosto de 2023.

Polímeros produzido com cana-de-açúcar brasileira pela Braskem já é usado por mais de 150 marcas no mundo. Disponível em:
<http://www.canaonline.com.br/conteudo/plastico-produzido-com-cana-de-acucar-brasileira-pela-braskem-ja-e-usado-por-mais-de-150-marcas-no-mundo-.html> Acesso em: 07 de maio de 2023.

Por que investir na produção de biopolímeros? Disponível em:
<https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/sustentabilidade/por-que-investir-na-producao-de-bioplasticos> Acesso em: 10 de abril de 2023.

POTENCIALIDADES: Cana-de-açúcar. Revista Piauí, 2019. Disponível em:
<http://www.piauiopotencialidades.com.br/potencialidades#:~:text=Cana%2Dde%2Da%C3%A7%C3%BAcar%20%C3%A9%20um,que%20s%C3%A3o%20ricos%20em%20sacarose.> Acesso em: 24 de abril de 2023.

PTA (Ácido Tereftálico Purificado). Disponível em:
[https://alpekpolyester.com.br/produtos/pta/#:~:text=O%20%C3%A1cido%20tereft%C3%A1lico%20purificado%20\(PTA](https://alpekpolyester.com.br/produtos/pta/#:~:text=O%20%C3%A1cido%20tereft%C3%A1lico%20purificado%20(PTA) Acesso em: 07 de maio de 2023.

ROBERTA, E. *et al.* **Síntese, extração e caracterização de biopolímeros de origem microalgal para desenvolvimento de nanofibras.** Universidade federal do rio grande escola de química e alimentos programa de pós-graduação em engenharia e ciência de alimentos. Disponível em:
<https://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/6324/roberta%20martins%20sntese%20extrao%20> Acesso em: 24 de abril de 2023.

SANTOMAURO, A. C. **Biopolímeros usam fontes naturais e biotecnologia - Economia circular.** Disponível em: <https://www.plastico.com.br/biopolimeros-usam-fontes-naturais-e-biotecnologia-economia-circular/> Acesso em: 7 de maio de 2023.

SANTOS, A. F. DOS et al. Determinação de parâmetros de validação de métodos cromatográficos para análise de 5-hidroximetilfurfural e açúcares em amostras de processo de produção de polímero biodegradável. **Eclética Química**, v. 31, n. 1, p. 13–19, 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eq/a/qyHPgs8DD9vmyQy3vZfzcQx/abstract/?lang=pt> Acesso em: 03 de maio de 2023.

SANTOS, C. S. et al. Synthesis of long-chain polyols from the Claisen condensation of γ -valerolactone. **Green Chemistry**, v. 21, n. 23, p. 6441–6450, 2019. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/gc/c9gc03343b/unauth>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

SOUZA, D. M. DE [UNESP. Estudo de parâmetros de fermentação na produção de biopolímeros por bactérias isoladas do solo e caracterização química dos grupamentos acetila e piruvato nos biopolímeros obtidos. **Aleph**, p. 72 f., 16 dez. 2005. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/88425> Acesso em: 07 de maio de 2023.

SPINACÉ, M. A. DA S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, p. 65–72, 1 fev. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/?lang=pt> Acesso em: 07 de maio de 2023.

THOMAZ DA SILVA, C.; CHRISTINA, O.; CHRISMAN, A. **Avaliação de metodologia de obtenção do ácido tereftálico via reciclagem química do PET. Dissertação de Mestrado**. Disponível em: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/acido-tereftalico-via-reciclagem-quimica-do-pet.pdf> Acesso em: 24 de abril de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA HELENISE ALMEIDA DO NASCIMENTO. **PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMERO DE CELULOSE BACTERIANA ADITIVADO COM ANTIOXIDANTE NATURAL RECIFE**. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/46531/1/TESE%20Helenise%20Almeida%20do%20Nascimento.pdf> Acesso em: 07 de maio de 2023.