

Celulose bacteriana: aplicações com foco em alternativas sustentáveis *Bacterial cellulose: applications focusing on sustainable alternatives*

Camille Cristal Anastácio – UFJF

camille.cristal@estudante.ufjf.br

Lia Paletta Benatti, Dr.^a – UFJF

lia.paletta@ufjf.br

André Mol, Dr. – UFJF

andremol@gmail.com

Silvia Rezende Xavier, Me. - UFJF

silvia.xavier@ufjf.br

Resumo

Este artigo tem por objetivo investigar a celulose bacteriana como alternativa sustentável ao material de origem vegetal, explorando sua produção, caracterização e aplicações industriais. A pesquisa é qualitativa, aplicada e exploratória, com revisão bibliográfica e experimentos de cultivo de celulose bacteriana, utilizando chá preto, açúcar, bactérias ativas e Scoby, incubados por quatorze dias, quando, após ser submetido à lavagem, higienização e pré-secagem, o material é hidratado com glicerina. Mesmo quando obtidos cultivos insatisfatórios, foi possível propor aplicações para o material que, apesar do potencial comercial, carece de estruturação da sua cadeia produtiva. Conclui-se que a celulose bacteriana é um biomaterial promissor devido à sua biodegradabilidade e versatilidade.

Palavras-chave: Celulose bacteriana; Design; Sustentabilidade

Abstract

This article aims to investigate bacterial cellulose as a sustainable alternative to plant-based materials, exploring its production, characterization, and industrial applications. The research is qualitative, applied, and exploratory, involving literature reviewing and experiments on bacterial cellulose cultivation using black tea, sugar, active bacteria, and Scoby, incubated for fourteen days when, after washed, sanitized, and pre-dried, the material is hydrated with glycerin. Even with unsatisfactory cultures, potential applications for the material were proposed, although its commercial potential requires structural development of its production chain. It is concluded that bacterial cellulose is a promising biomaterial due to its biodegradability and versatility.

Keywords: Bacterial cellulose; Design; Sustainability

1. Introdução

Problemas ambientais resultantes da exploração de recursos naturais, como a produção de polímeros sintéticos e a exploração madeireira, por exemplo, aprofundam os impactos nocivos da atividade industrial no meio ambiente com consequências diretas para o desenvolvimento humano [1]. A busca por diferentes materiais de origens menos poluentes, com pegada de carbono reduzida e ciclos de vida projetados para reutilização ou biodegradação, são cada vez mais necessários para a diminuição dos impactos antrópicos, promovendo um movimento positivo em direção ao consumo mais consciente e movimentando a indústria numa trajetória mais sustentável.

A celulose, comumente encontrada na estrutura de plantas, é um polímero que se classifica como carboidrato ou polissacarídeo [2] e, quando retirado de plantas, não apresenta cristalinidade e pureza por estar associado a outras moléculas [3]. Muito utilizada na indústria, possui um processo de produção poluente e com resultados insatisfatórios em determinadas etapas. Devido ao tempo de plantio, colheita e transporte, a cadeia de produção da celulose advinda da madeira é lenta, passando por processos mecânicos e químicos para conseguir a pasta de celulose, seguido do alvejamento químico, onde muitos recursos são despendidos na obtenção deste material [4].

A celulose bacteriana, como material alternativo, traz versatilidade e biodegradabilidade, evitando danos ambientais quando descartado e podendo ser aplicada em diferentes cenários, como na indústria da moda, na produção moveleira ou na medicina, devido às suas propriedades específicas [3]. Diferente da celulose produzida por plantas, a celulose bacteriana é desenvolvida através do processo de fermentação em conjunto com leveduras e digestão de carboidratos por bactérias, produzindo filamentos translúcidos, tecidos em nível microscópico, constituído de celulose com alto grau de pureza, não possuindo etapas poluentes ou quimicamente perigosas [5].

O meio de cultivo comumente utilizado é a kombucha: mistura fermentada de chá verde ou preto (*Camellia sinensis*), uma fonte de glicose, como o açúcar cristal, e o líquido com bactérias ativadoras. Dentre os gêneros que a produzem estão: *Agrobacterium spp.*, *Acetobacter spp.*, *Azotobacter*, *Rhizobium spp.*, *Sarcina*, *Alcaligenes* e *Pseudomonas* [5]. Uma espécie conhecida por produção de celulose bacteriana em larga escala é a *Gluconacetobacter xylinus* (também conhecida como *Acetobacter xylinum*), sendo o organismo modelo para fermentação comercial [3]. A formação da membrana extraída da bebida kombucha, a celulose bacteriana, é a consequência da fermentação que acaba por estimular o crescimento da colônia de bactérias, distribuindo-as na superfície do líquido, formando uma estrutura orgânica macroscópica e biodegradável [6]. Possui como características principais afinidade à água, quando está em seu estado natural, e hidrofobia, quando em estado curado, ou seja, quando o tratamento da membrana estiver finalizado. Também possui elevada força tênsil, na ordem dos 200-300 MPa, como consequência do seu alto grau de cristalinidade [7].

Outros meios de cultura podem ser utilizados, caracterizando diferentes colorações e aspectos físicos e químicos, como os de translucidez. Chás como o de hortelã (*Mentha spicata*), hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis L.*) e repolho (*Brassica oleracea var. capitata*) foram alguns dos diferentes substratos explorados nesta pesquisa.

Algumas iniciativas, majoritariamente privadas, vêm investindo nessa produção material, oferecendo essa opção sustentável para o mercado. A Ponto Biodesign, por exemplo, é um laboratório experimental de materiais desenvolvidos a partir de celulose biofabricada por bactérias e resíduos alimentícios. Trabalha na produção de biotecidos, intitulados de “fabtéria”,

que possuem aplicações como revestimento de calçados, estofamento de móveis e a confecção de embalagens biodegradáveis [8]. Outro exemplo é a Biofabricate, fundada pela designer de moda Suzanne Lee, iniciativa que utiliza a celulose bacteriana como base para seus produtos. “A Biofabricate é uma firma de inovações biomateriais sustentáveis que está ensinando empresas a utilizar tecnologias de base natural para criar um mundo material novo”, explica Lee [9].

2. Procedimentos Metodológicos

O projeto se caracteriza como estudo qualitativo, de natureza aplicada e exploratória. Com o objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos para solução de problemas específicos e de caráter experimental limitado, foram empregadas diferentes abordagens ao longo da pesquisa. Inicialmente, para revisão bibliográfica, adotou-se a técnica de fichamento descrita em Marconi e Lakatos [10].

Na segunda etapa foi realizado o processo de cultivo da celulose bacteriana seguindo a metodologia do curso Fabteria. O cultivo foi produzido a partir da mistura do chá preto, açúcar cristal, líquido de bactérias ativas e o Scoby, membrana de celulose bacteriana que vem acompanhada do líquido ativador, comprados da distribuidora The Kombucha Hub. A mistura de elementos permanece em cultivo estático durante quatorze dias, em local ventilado, sem incidência de luz direta e com temperatura entre 23-30°C. Ao final do processo é esperado que todo o chá e açúcar adicionado se convertam em líquido com bactérias ativas e será utilizado para recriar o processo. Após o período de incubação, o material é recolhido, lavado e higienizado (figura 1) para a realização da pré-secagem, que diz respeito a secar o material até reduzir metade de sua espessura, podendo ser em uma centrífuga ou à luz do sol. A seguir, foi realizada a hidratação da membrana com glicerina, espalhando-a por toda a extensão do material, deixando-a secar com exposição a uma fonte de vento constante até não sobrar glicerina residual.



Figura 1: Celulose bacteriana. Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

Após o cultivo, foi feita a análise do material e sugeridas aplicações práticas com levantamento produzido através da ferramenta criativa de mapa mental. O trabalho foi concluído com a redação do presente artigo.

3. Resultados

A espessura foi definida como parâmetro de êxito do cultivo da membrana de celulose bacteriana, tendo-se como referência, após quatorze dias em cultura, de 4 a 8 mm como bom resultado, e 2 mm para o material já finalizado.

Os primeiros cultivos obtiveram espessuras abaixo de 4 mm e como resultado, e menos de 1 mm após secagem e tratamento. Os fatores de destaque para tal declínio foram a falta de circulação de oxigênio pela caixa de cultivo e as baixas temperaturas, sendo resolvidos, respectivamente, pela realização de abertura maior na caixa para a passagem de oxigênio e pela transferência do cultivo para uma superfície de baixa condução de calor e proteção térmica. Para os próximos cultivos, com as correções já aplicadas, membranas de 6 e 7 mm foram recolhidas, com poucas variações em sua espessura ao longo de seus comprimentos. Após tratamento completo, ficaram entre 1 e 2 mm de espessura.

Após verificação dos materiais obtidos ao longo da pesquisa, notam-se semelhanças e diferenças em relação a características diversas. Quanto à uniformidade, todas as películas produzidas têm uma variação na espessura ao longo de sua extensão de, aproximadamente, 0,5 mm. Apesar da realização de investigação, não foi encontrado motivo sólido que explique o porquê de todas as películas, ainda que cultivadas em diferentes ambientes, caixas e sob diferentes condições climáticas e exposição à oxigênio, obtivessem variação de espessura, mesmo estando em um local planificado.

No quesito coloração, mesmo utilizando diferentes substratos para o meio de cultivo, sendo o principal a kombucha, todas as películas com até 4 mm finalizaram o processo translúcidas e com tons amarronzados. Mesmo as películas com maior espessura apresentaram transparência e também finalizaram com tons marrons. Houve variação de tonalidades associadas a diferentes concentrações ou processamento de chás, como a diferença de cor entre o chá verde e o chá preto além da variação de espessura que cada membrana possui. A translucidez do material também foi afetada pelas diferentes colorações e variações de espessura.

O cultivo em mistura de partes iguais de chá de hibisco e chá preto resultou em espessuras satisfatórias entre 6 e 8 mm. Foram testados também chás de hortelã e de folha de repolho roxo, que resultaram em espessuras insatisfatórias de menos de 1 mm. Com objetivo de obter diferentes colorações, o teste apontou que o material retorna às tonalidades terrosas quando é desidratado (figura 2).



Figura 2: Amostras de celulose bacteriana produzida com chá de hibisco (esquerda), chá de hortelã (ao centro) e chá de folha de repolho roxo (direita). Fonte: acervo dos autores, 2024.

Considerando que uma série de cultivos resultou em materiais de espessura menor que a esperada pelo processo (menor que 4 mm), seja pela baixa circulação de oxigênio ou pelo uso de chás inadequados, observou-se potencialidades de aplicação das películas mais finas.

Analisando o material por diferentes perspectivas, como translucidez, elasticidade, resistência, dentre outros, foi constatado que suas características físicas se assemelham a um filme, tendo o potencial de proveito semelhante aos filmes plásticos, como o pvc, tornando-se uma alternativa menos poluente, dando origem a um mapa mental de possíveis aplicações (figura 3).

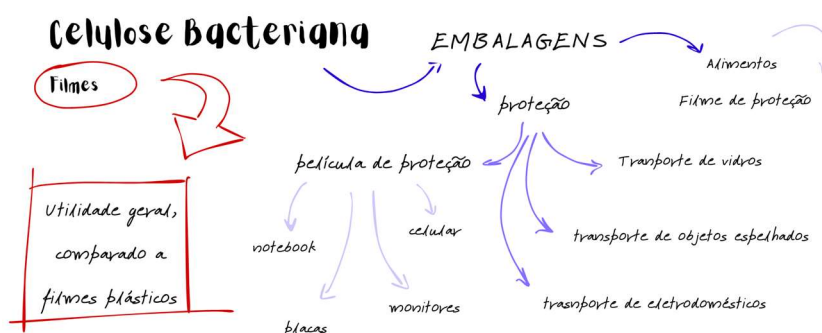


Figura 3: Mapa mental com sugestões de aplicação do biofilme. Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

Considerando que o material, apesar de ter uma textura característica, tem forte apelo por sua translucidez, ele acaba por ter uso potencial para proteção de telas. Quando aplicado na tela de *smartphone*, observou-se que mantém as características da tecnologia *touch* permitindo seu uso sob a película (figura 4).



Figura 4: Teste da película fina de celulose bacteriana sobre a tela de smartphone. Fonte: elaborado pelos autores.

A película, apesar de fina, preserva ainda propriedades de resistência, permitindo que, em menor tempo de produção, possa ser utilizada para construção de folhas de proteção para produtos diversos. Mesmo considerando que sua textura não é adequada para alguns usos, é importante ressaltar que a indústria faz um amplo uso de filmes plásticos para proteção de produtos diversos, sendo estas películas frequentemente descartadas após único uso. Neste

contexto, a celulose bacteriana apresenta amplo potencial de aplicação devido à sua alta degradabilidade.

Como resultados, um leque de possibilidades de produção e uso foram abertos, permitindo que a exploração individual de cada proposta possa ser trabalhada no futuro. Uma base qualitativa para a impulsão de pesquisas quantitativas quanto à avaliação das características de produção, modificando e complementando o processo de fabricação das películas, assim como uma base criativa para a exploração de novos produtos sustentáveis através do olhar e conceituação do design.

4. Discussão e conclusões

Em relação ao cultivo da celulose bacteriana, devido às disparidades de resultados, a necessidade da análise do material em diferentes espessuras incentivou o aprofundamento das aplicações, tornando o processo de pesquisa mais completo e detalhado, com um novo olhar para diferentes maneiras de produzir, tratar e utilizar as membranas, mesmo que mais finas do que o esperado no cultivo controlado. Porém, é importante ressaltar que a popularização do uso dos biomateriais não depende apenas de testes de aplicação, mas também de uma produção dentro de uma segmentação mercadológica.

Considerando os mercados de materiais poliméricos e têxteis, seus resultados prosperam à base de uma cadeia bem estabelecida dentro do setor comercial. Cadeias como a de tecido têm grande complexidade e se dividem em setores que interagem entre si, que vão do setor primário, como o cultivo do algodão, por exemplo, passando pelo setor secundário, onde acontece a transformação dos insumos e finalizados no setor terciário, através do comércio de vestuário [11]. Os biomateriais, por outro lado, não são ainda um setor participativo de uma cadeia de insumos e também não possuem um setor terciário estabelecido. Para se obter a celulose bacteriana atualmente, o próprio setor de vestuário, ou o consumidor, precisam fabricar o material, tratá-lo e utilizar em seu processo produtivo. Essa dificuldade de investimento e segmentação em toda uma cadeia de produção influencia diretamente na difusão de materiais sustentáveis, tanto como material quanto como conceito, privando aos consumidores o acesso a esses produtos. A falta de oferta não promove a demanda e o desconhecimento sobre a existência e as características do material não incentivam sua produção.

Para que haja crescimento da demanda e da oferta há a necessidade da estruturação do processo em uma cadeia, ou seja, seguindo a atual lógica do mercado, a segmentação do processo de produção do biomaterial. Começando pela criação de empresas transformadoras focadas na produção do material para venda, seguido de empresas especializadas no tratamento do material, sendo esse para um comércio específico ou diverso como fornecedores, finalizando a cadeia na comercialização do material em distribuição para empresas de varejo ou atacado, chegando, por fim, ao mercado em formatos comuns como rolos ou placas, acessível para atribuições quaisquer.

Pesquisas, como a do presente artigo, se popularizam cada vez mais, mas carecem de empreendimentos que possam oferecer ao mercado fornecimento de biomateriais, em especial da celulose bacteriana.

Referências

[1] SANTOS, K. O.; CORREA, S. J. Oficina de educação ambiental na casa do caminho: uma discussão a respeito da poluição do solo e poluição hídrica. In: TORRES, E. C. **Educação Ambiental e Geografia VI: Sensibilizações, práticas e desafios**. Londrina: Amazon, 2020.

- [2] SANTOS, V. S. O que é celulose? **Brasil Escola**, 2024. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-celulose.htm>. Acesso em: 01 abril. 2024
- [3] LAHIRI D., et al. Bacterial Cellulose: Production, Characterization, and Application as Antimicrobial Agent. **International Journal of Molecular Sciences**. 2021; 22(23):12984. <https://doi.org/10.3390/ijms222312984>
- [4] SOUZA, Maria C. C. Mercado de trabalho: abordagens duais. **Revista de Administração de Empresas**, Rio de Janeiro, vol. 18 (1), 59-69, jan./mar. 1978. <http://doi.org/10.1590/s0034-75901978000100006>
- [5] Urbina, L. et al. A review of bacterial cellulose: sustainable production from agricultural waste and applications in various fields. **Cellulose** **28**, 8229–8253 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04020-4>
- [6] BOLZAN, P.; CASCIANI, D.; REGAGLIA, A. New perspectives in fashion sustainability through the use of bacterial cellulose. In: **Anais do Design Research Society 2022**. Bilbao, DRS. <https://doi.org/10.21606/drs.2022.793>
- [7] SHARMA, P.; MITTAL, M.; YADAV, A; AGGARWAL, N. K. Bacterial cellulose: nano-biomaterial for biodegradable face masks – a greener approach towards environment. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 19, 2023, 100759. ISSN 2215-1532. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100759>.
- [8] VERKKOMAKI, A. When biology and design meet. **Omuus**. When biology and design meet, 6 abr. 2020. Disponível em: https://omuus.com/when_biology_and_design_meet. Acesso em: 1 abr. 2024.
- [9] LEE, S. Por que "biofabricação" é a próxima revolução industrial. **TEDSummit 2019**. Julho, 2019. 1 vídeo (12 min). Disponível em: https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_why_biofabrication_is_the_next_industrial_revolution?language=pt-br. Acesso em: 1 abr. 2024.
- [10] MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.
- [11] ROLIM, C. F. C. Efeitos regionais da abertura comercial sobre a cadeia produtiva do algodão, têxtil, vestuário: uma versão resumida. **Revista Econômica do Nordeste**, [S. l.], v. 28, n. Suplemento Especial, p. 185–206, 1997. DOI: 10.61673/ren.1997.2248. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/2248>. Acesso em: 1 abr. 2024.