

## Biofabricação: um horizonte sustentável para o mundo da moda

### *Biofabrication: a sustainable horizon for the fashion world*

Cristiane Stegemann<sup>1</sup> , Aline da Rosa Almeida , Henrique de Souza Medeiros .

<sup>1</sup> Centro Universitário SENAI/SC

\*Correspondente: [cristiane.stegemann@edu.sc.senai.br](mailto:cristiane.stegemann@edu.sc.senai.br)

#### Resumo

A indústria da moda tem elevada importância no cenário mundial por diversos aspectos, por exemplo, em termos de receita, o que repercute diretamente na geração de empregos. No entanto, o impacto ambiental causado pelos processos relacionados à produção e descarte de materiais no setor é bastante preocupante, principalmente quando consideradas as projeções de crescimento para os próximos anos. Para nortear uma evolução sustentável em nível global nesse incremento do setor produtivo, é de suma importância levar em consideração os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que apontam para a tomada de decisões de empresas, ampliando a importância de aspectos relacionados a impactos ambientais, sociais e de governança. No tocante às soluções a serem empregadas na indústria têxtil, destaca-se o desenvolvimento de matérias-primas com apelo sustentável. Uma das alternativas mais promissoras para a síntese de materiais tecnológicos é a biofabricação, que basicamente utiliza fundamentos de biologia, ciência dos materiais, engenharia mecânica, entre outras áreas, para conceber biomateriais que, no contexto têxtil, sejam inovadores em termos da diminuição de impactos ambientais para confecção, com descarte facilitado e aplicabilidade semelhante à dos materiais mais usuais, como algodão e couro. Nesse cenário, estão na vanguarda os biomateriais confeccionados a partir de micélio e celulose bacteriana. Neste artigo, foram explorados alguns aspectos importantes pertinentes ao conceito de biofabricação e sua utilização no panorama nacional e internacional da indústria têxtil, direcionados principalmente para as tecnologias de micélio e celulose bacteriana, que, no momento, têm mais notoriedade em termos de volume de investimentos e divulgação publicitária de grandes marcas globais.

**Palavras-chave:** biofabricação; micélio; celulose bacteriana; sustentabilidade.

**Abstract**

The fashion industry has a high importance on the world stage for several reasons, for instance revenue, which has a direct impact on job creation. However, the environmental impact caused by processes related to the production and disposal of materials in the sector is quite worrying, especially when considering the growth projections for the coming years. To guide a sustainable evolution at a global level regarding this increase in the productive sector, it is extremely important to take into account the Sustainable Development Goals, as regards companies' decision making, highlighting the importance of aspects related to environmental, social, and governance impacts. Regarding the solutions to be used in the textile industry, the development of raw materials with sustainable appeal stands out. One of the most promising alternatives for the synthesis of technological materials is biofabrication, which basically uses fundamentals of biology, materials science, mechanical engineering, among other areas, to design biomaterials that, in the textile context, are innovative in terms of reducing impacts, environmental manufacturing conditions, are easily disposable and whose applicability is similar to that of most common materials, such as cotton and leather. In this scenario, biomaterials made from mycelium and bacterial cellulose are at the forefront. In this article, some important aspects related to the biomanufacturing concept and its use in the national and international scenario of the textile industry were explored, mainly directed to the technologies of mycelium and bacterial cellulose which, at the moment, are more prominent in terms of volume of investments and publicity for major global brands.

**Keywords:** biofabrication; mycelium; bacterial cellulose; sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

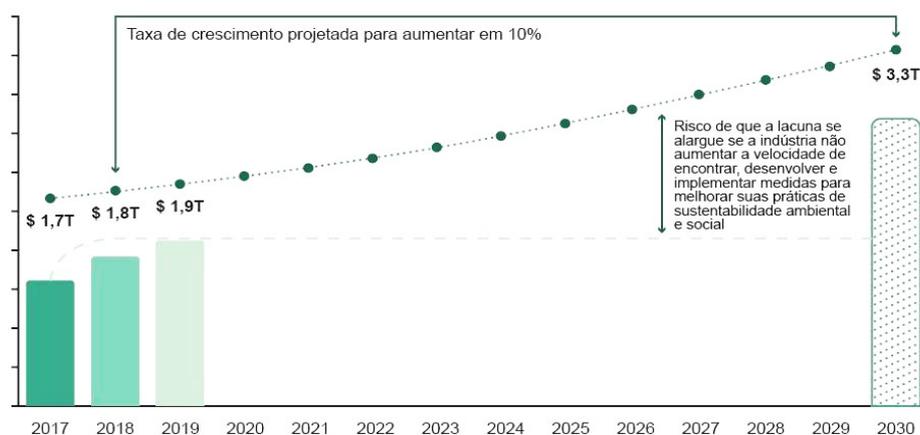
De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – ABIT (2022), o setor se destaca mundialmente como a quinta maior indústria têxtil do mundo, com um faturamento anual de R\$ 161,4 bilhões gerados pelas 24,6 mil empresas, de diferentes portes, instaladas por todo o Brasil. São empregados mais de 1,3 milhão de trabalhadores, que produzem cerca de 9,04 bilhões em peças de vestuário ao ano, correspondendo a mais de 40 unidades por habitante (CAVALCANTI; SANTOS, 2021). Materiais têxteis são definidos como estruturas compostas de fibras finas e flexíveis que podem ser de origem natural, artificial, sintética ou uma combinação dessas três. Esses materiais podem ser utilizados na confecção de roupas, calçados, acessórios, roupas de cama, mesa e banho, tapetes, revestimentos de móveis, cortinas, artigos de decoração, artesanato, entre outros – o que torna a indústria têxtil um segmento de grande importância econômica e social, pois os seus produtos estão presentes em praticamente todos os tipos de ambientes (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A vestimenta é um item de suma importância consumido pela nossa sociedade, pois além de proteger nossos corpos, é considerada um meio de comunicação (SILVA; SANCHES, 2016). Os termos moda e vestimenta estão fortemente relacionados, tratando-se de entidades diversas que auxiliam no bem-estar do ser humano; porém, não possuem o mesmo significado (SCHULTE; APARECIDA, 2013).

Vestimenta está relacionada com a produção material, já a moda é a manifestação dos desejos e emoções (imaterial) do indivíduo, revelando uma identidade contemporânea e única de cada pessoa, definindo assim qual é o papel de uma peça de roupa na sociedade ou na aparência para um indivíduo ou grupo (SILVA; SANCHES, 2016; SCHULTE; APARECIDA, 2013). Ao associarmos em unidade essas duas indústrias, a têxtil e a da moda, que por si só apresentam identidades diferentes, mas se relacionam, verifica-se uma demanda da sociedade em adequar matérias-primas, formas, funcionalidades, durabilidade e qualidade com as necessidades emocionais (SILVA; SANCHES, 2016).

Segundo o relatório *Pulse of the Fashion Industry 2019* (LEHMANN *et al.*, 2019), realizado pelo Boston Consulting Group, prospecta-se que a indústria de calçados e vestuário terá crescido 81% até 2030, isto é, em 2019 foram destinados 1,9 trilhões de dólares para o setor e, para 2030, são estimados 3,3 trilhões de dólares, resultado de um acréscimo de 10% de crescimento anual, seguindo a tendência observada desde 2017, conforme a Figura 1. Para materializar a previsão, é considerado que sejam produzidas 102 milhões de toneladas de roupas e acessórios, exercendo uma pressão sem precedentes sobre os recursos estimados para atender a essa demanda, visto que a indústria da moda recebe várias críticas, principalmente referentes aos aspectos ambientais e sociais (LEHMANN *et al.*, 2019).

Figura 1 - Trajetória da indústria têxtil no setor de calçados e acessórios nos últimos 3 anos, em termos de investimentos, e sua projeção de crescimento até 2030



Fonte: Adaptado de LEHMANN *et al.* (2019, p. 1).

Dessa forma, este artigo tem como objetivo abordar a problemática da indústria da moda em relação aos seus prejuízos ambientais, econômicos e sociais, apresentando uma alternativa emergente para o setor, chamada de biofabricação. Inicialmente, foram apresentadas algumas informações importantes acerca de materiais tradicionais, como o algodão e o couro, bem como as estratégias em andamento para diminuir os impactos de sua utilização. Visando a proporcionar uma alternativa a essa indústria tradicional, foi realizado um levantamento bibliográfico e de mercado, buscando os diferentes materiais, atualmente desenvolvidos e/ou em processo de desenvolvimento, concebidos para contornar alguns problemas ambientais. O método de fabricação mais inovador e promissor para o setor, apresentado nesta pesquisa, é o processo de biofabricação, que envolve a concepção de matérias-primas à base de fungos e de celulose bacteriana. Essa análise foi realizada por meio da compilação de dados obtidos via estudo exploratório de pesquisas bibliográficas a partir de produção científica, reportagens, sites de inovação tecnológica, material de divulgação institucional, dados estatísticos, entre outros.

## 2. FABRICAÇÃO DE MATERIAIS TÊXTEIS TRADICIONAIS E SUSTENTÁVEIS

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (ABRAPA), um dos insumos mais comuns na fabricação têxtil é o algodão, de modo que todos os anos são plantados em média 35 milhões de hectares de algodão em todo o planeta, e o Brasil, nos últimos anos, está entre os cinco maiores produtores mundiais de algodão, ao lado de países como China, Índia, Estados Unidos e Paquistão, além de estar entre os maiores exportadores mundiais (ABRAPA, 2022). Segundo Domskiene, Sederaviciute e Simonaityte (2019), são necessários 29 mil litros de água para produzir 1 kg de fibra de algodão. Além de abundante irrigação, essa cultura necessita de fertilizantes e defensivos químicos, além, é claro, de grandes áreas desmatadas para o seu cultivo. Dependendo do tipo de tecido almejado, são empregadas quantidades ainda maiores de água para processos de acabamento e tingimento do material (DOMSKIENE; SEDERAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019).

O couro é outro insumo bastante utilizado na indústria têxtil e com grande impacto no produto interno bruto do Brasil, não só empregado no setor de moda, mas principalmente no automotivo e no moveleiro. Segundo o Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB), o país é um dos maiores exportadores mundiais desse material, com clientes em 80 países, 244 plantas curtidoras, gerando 30.000 empregos e movimentando 2 bilhões de dólares por ano. Desses, 1,1 bilhão é o valor relacionado ao superávit da balança comercial de couros do país em 2019 (CICB, 2022). O couro tem um apelo ambiental interessante, visto que a pele é tratada, a princípio, como um resíduo da indústria de carne, e o país possui o maior rebanho bovino comercial do mundo. Apesar do grande impacto positivo comercial, questões ambientais são bastante problemáticas, sendo que as principais são a utilização de produtos químicos nocivos (principalmente à base de cromo) pela maioria dos curtumes, geração de resíduos sólidos e principalmente rejeitos líquidos com grandes quantidades de poluentes, como sal, lama de cal, sulfetos e ácidos (MONTEIRO *et al.*, 2022; SCHNEIDER; BEHLING; PEDRI, 2022). Outros pontos importantes a serem levados em consideração são a utilização de animais exóticos sem controle ambiental, e a saúde de trabalhadores que têm exposição prolongada a químicas nocivas.

Dados da Sociedade Nacional de Agricultura (SNA) relatam que o Brasil possui a maior parte de sua receita bruta oriunda do agronegócio, que justamente contempla a produção dos insumos têxteis de algodão e couro, entre outros produtos agrícolas e pecuários. Estima-se que, em 2019, 21% do PIB seja proveniente do agronegócio, sendo este o responsável por 43% dos valores arrecadados nas exportações nacionais (SNA, 2022). Isso significa que a produção e a comercialização de matérias-primas relacionadas com

insumos têxteis têm significativa importância no mercado nacional e internacional, e, com o panorama de expansão desse setor, tanto as metodologias de produção quanto os meios distribuição e descarte devem ser pensados e executados de uma maneira que cause o menor impacto possível em termos de utilização de recursos naturais.

Outra questão de suma importância, ainda no campo têxtil, é o resíduo gerado ao fim do ciclo de vida do produto. Para se ter uma ideia, no final do ciclo de vida de um produto têxtil, ele acaba indo para aterros sanitários ou é incinerado, sendo que esses resíduos deveriam ser coletados, separados e reciclados ou descartados adequadamente, a depender somente de sua composição. Segundo pesquisa conduzida em 2017, apenas 1% dos resíduos têxteis produzidos durante aquele ano nos Estados Unidos e União Europeia, foram reciclados de alguma forma (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). Estima-se que, no Brasil, aproximadamente 4 milhões de toneladas de resíduos têxteis, entre retalhos da indústria da moda e peças de couro, são geradas por ano, sendo que, dessas, 80% são destinadas a lixões e aterros sanitários, levando em consideração que a maioria das peças descartadas apresentaram pouco desgaste ou foram utilizadas apenas uma vez (PUENTEDA, 2022; RATHINAMOORTHY; KIRUBA, 2020; RUSSI; GAVIRA; FERNANDES, 2016; SCHULTE; APARECIDA, 2013; WOOD, 2019).

Muitas iniciativas vêm sendo tomadas nos últimos anos para minimizar essa problemática, como é o caso da reciclagem de materiais e transformação em outros insumos ou produtos, otimização de processos, cultura de roupas de segunda mão, porém esses esforços não são o suficiente para tornar essa produção mais sustentável, visto que o processo em si e os materiais ainda são prejudiciais ao meio ambiente (SILVA *et al.*, 2021; SILVA; SANCHES, 2016; RUSSI; GAVIRA; FER-

NANDES, 2016). Além da questão ambiental, diversos problemas de mão de obra ficam evidentes, como trabalhadores mal remunerados, com alta carga horária e segurança no trabalho precária, além do uso de mão de obra infantil e análoga à escravidão (RUSSI; GAVIRA; FERNANDES, 2016).

Tendo em vista esse cenário preocupante das indústrias, incluindo a têxtil, em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) adotou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, na qual constam 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esses objetivos têm como intuito a transformação do mundo, com a finalidade de, entre outras coisas, trazer soluções para o problema da crescente geração de resíduos e preservação do meio ambiente e de todas as espécies, com melhor qualidade de vida para os habitantes do planeta, almejando-se alcançar esses objetivos até 2030 (OLIVEIRA *et al.*, 2021; NAÇÕES UNIDAS, 2022).

Os ODS são os pilares do ESG (*Environmental, Social and Governance* em inglês, ou ASG – Ambiental, Social e Governança, em português), sendo esses um conjunto de princípios que orientam o meio empresarial, sobretudo em relação à sustentabilidade das organizações, investindo em iniciativas ambientais, sociais e de governança, com o intuito de impactar positivamente a organização por meio de suas operações, tendo em vista seus princípios norteadores para a adoção de propósito, condução ética e geração de valor (ATLAS GOVERNANCE, 2021). No esquema apresentado na Figura 2, podemos compreender melhor o significado de cada um dos segmentos do ESG. Recursos investidos em organizações que buscam aplicar os princípios de ESG vêm crescendo significativamente em todo o mundo, visto que mais de 30 trilhões de dólares em ativos de fundos foram aplicados em organizações sustentáveis em 2021, valor que representa 36% do total de ativos financeiros do mundo todo (ATLAS GOVERNANCE, 2021).

Figura 2 - Significado de cada um dos segmentos do ESG - *Environmental, Social and Governance* ou ASG - Ambiental, Social e Governança



Fonte: Adaptado de Atlas Governance (2021)

Juntando a situação do meio ambiente, a crescente preocupação dos consumidores com relação à rastreabilidade da rede de fornecedores de matéria-prima, bem como o relevante aumento dos investimentos em organizações que adotam as medidas sustentáveis de ESG, torna-se necessária uma mudança em toda a cadeia produtiva dos materiais têxteis (LEHMANN *et al.*, 2019).

Nesse contexto, além da reciclagem de materiais, que é favorecida pela criação de um sistema que preza a moda circular, pesquisadores e indústrias estão buscando por novos materiais oriundos de fontes naturais, renováveis e biodegradáveis (ATLAS GOVERNANCE, 2021; SILVA *et al.*, 2021; RUSSI; GAVIRA; FERNANDES, 2016; SILVA *et al.*, 2016; WOOD, 2019).

Visando a esse tipo de material mais ecológico, algumas soluções vêm sendo desenvolvidas com o propósito de fornecer insumos semelhantes aos usuais, porém com baixo impacto ao meio ambiente (WOOD, 2019). Uma opção são os materiais feitos à base de plantas, como é o caso da Desserto<sup>®</sup>, um material feito com nopal (um cacto) (DESSERTO, 2022). Piñatex<sup>®</sup>, produzido pela empresa Ananas Anam, com sede em Londres, Reino Unido, e subsidiárias nas Filipinas e na Espanha, é um tecido não tecido feito a partir de resíduos de fibras de folhas de abacaxi, que são subprodutos da colheita de abacaxi (ANANAS ANAM, 2022). Leap<sup>™</sup> é feito com 80% de ingredientes de base biológica a partir de resíduo de maçã das sobras da produção de cidra e suco, desenvolvido por uma empresa canadense (LEAP, 2022).

Os três materiais são veganos e possuem características competitivas em relação ao couro ou laminado sintético, como sustentabilidade, e um ótimo desempenho para uma ampla variedade de aplicações e atendendo a padrões de qualidade e meio ambiente, apesar de serem parcialmente biodegradáveis por não serem totalmente obtidos de produtos de origem natural, podendo apresentar em sua composição de revestimento produtos à base de petróleo e, conseqüentemente, não biodegradáveis. A produção desses materiais ainda utiliza significativamente menos água e apresenta menos emissão de CO<sub>2</sub>, em comparação com a produção de couro. Segundo os fabricantes, a síntese desses produtos não

requer substâncias químicas nocivas ao meio ambiente, como produtos químicos tóxicos e ftalatos (DESSERTO, 2022; LEAP, 2022; ANANAS ANAM, 2022; WOOD, 2019).

O barkcloth é um tecido também de origem vegetal, obtido a partir de casca de árvores, podendo ser utilizado em roupas, acessórios, móveis de design de interiores, entre outros (BARKTEX, 2022).

A aposta mais promissora da indústria, com o objetivo de alcançar um produto biodegradável, é a utilização da biotecnologia para a produção de materiais semelhantes ao couro e ao laminado sintético, ou até mesmo a obtenção de tecidos não tecidos finos, fibras de produtos naturais. Essa tecnologia consiste no cultivo de microrganismos, como fungos, bactérias, algas e resíduos agroindustriais e matrizes vegetais de fácil manejo (RATHINAMOORTHY; KIRUBA, 2020; WOOD, 2019).

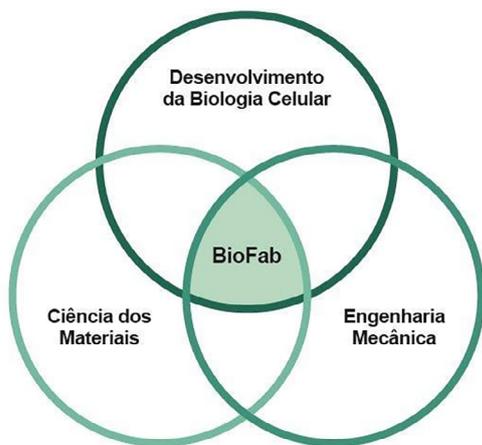
### 3. BIOFABRICAÇÃO DE MATERIAIS TÊXTEIS

Entre as técnicas em andamento para a obtenção de materiais têxteis inovadores, a biofabricação é a que mais se destaca, pois, além da utilização de organismos vivos para a sua biossíntese, ainda existe a opção da utilização de resíduos como substratos a serem metabolizados pelos microrganismos para a obtenção de um produto ou material (RATHINAMOORTHY; KIRUBA, 2020; SILVA *et al.*, 2021).

A biofabricação é um campo emergente da ciência e tecnologia que pode ser definida como a obtenção de produtos biológicos construídos usando células vivas, biomoléculas, matrizes extracelulares e biomateriais projetados. Quando levamos em consideração a palavra biofabricação, o prefixo “bio” indica que as matérias-primas, ou processos, ou produtos finais, ou todos esses, são inspirados ou baseados na biologia. Já o termo “fabricação” sig-

nifica fazer ou construir algo a partir de um material bruto ou semiacabado ou criar algo diferente de seus componentes. Dessa forma, a biofabricação utiliza tecidos ou órgãos vivos como matérias-primas para processos baseados na biologia, com o intuito de obter um produto (MIRONOV *et al.*, 2009).

Figura 3 - As principais disciplinas que contribuíram para o surgimento da biofabricação Desenvolvimento da Biologia Celular, Engenharia Mecânica e Ciência dos Materiais

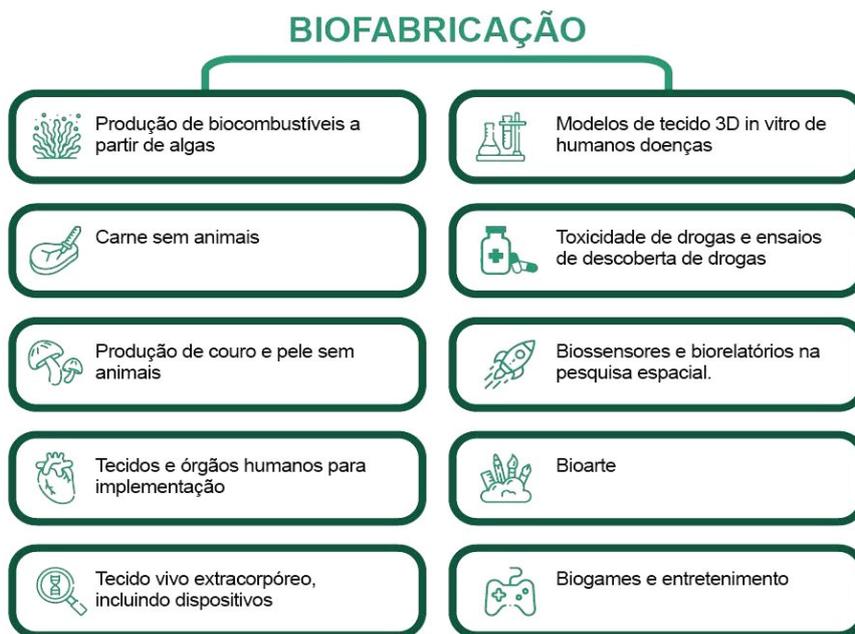


Fonte: Adaptado de Mironov *et al.* (2009)

Com base nos diferentes fatores que podem interferir no processo de biofabricação de um produto, a sua definição pode ficar mais abrangente, pois ela envolve uma ampla gama de processos físicos, químicos, biológicos e/ou de engenharia para sua obtenção, podendo ser utilizada para várias aplicações, como em ciência e engenharia de tecidos, doenças patogênicas e estudos farmacocinéticos de drogas, biochips e biossensores, impressão de células, padronização, montagem e impressão de órgãos emergentes. Em sua essência, é uma técnica exigente em termos de multidisciplinaridade, sendo assim, a conexão direta de diferentes campos da ciência e tecnologia contribuíram para o surgimento da biofabricação, sendo que seus pilares fundamentais, segundo Mironov *et al.* (2009), estão pautados no desenvolvimento da biologia molecular, aliados diretamente à ciência dos materiais e à engenharia mecânica, como podemos observar na Figura 3.

A biofabricação já é usada e muito pesquisada em diferentes setores da indústria, como ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Setores da indústria que utilizam a biofabricação

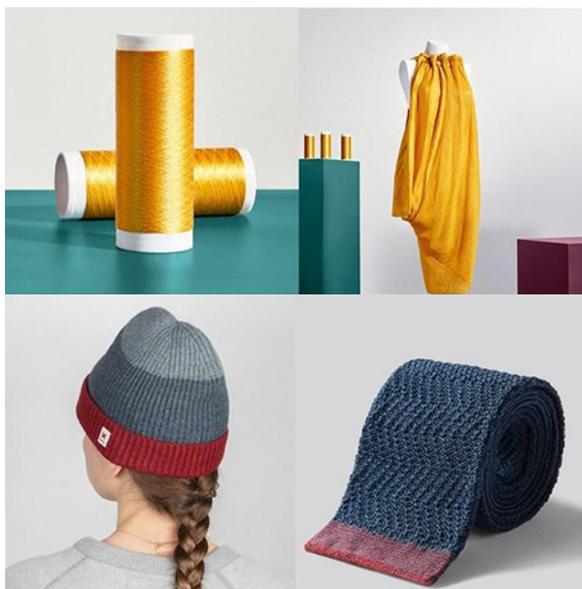


Fonte: Adaptado de Mironov *et al.* (2009)

Entre as diferentes aplicações atribuídas à biofabricação, a de principal interesse no presente estudo é sua utilização para o desenvolvimento de tecnologia livre de animais, com apelo sustentável, em termos de recursos naturais, e em larga escala na produção de materiais têxteis (LEE *et al.*, 2009; MIRONOV *et al.*, 2009).

As indústrias têxtil e da moda requerem materiais com características distintas para diferentes aplicações, de maneira que essas exigências devem ser levadas em consideração, inclusive no contexto da biofabricação. Um exemplo de aplicação de biofabricação é a solução desenvolvida pela empresa norte-americana Bolt Threads, que atua comercializando tecidos para vestuário a partir da proteína da seda obtida artificialmente. Inspiradas na seda produzida por aranhas, a empresa desenvolveu uma técnica de bioengenharia para colocar genes em leveduras, executada em biorreatores, que possibilita a criação de fios, Microsilk™, já utilizados em peças-piloto por marcas como Stella McCartney e Adidas (BOLT THREADS, 2022). Os produtos obtidos a partir do material Microsilk™ podem ser observados Figura 5.

Figura 5 - Produtos do material têxtil Microsilk™ obtido da proteína da seda sintetizada por leveduras em biorreatores



Fonte: Adaptado de Bolt Threads (2022)

A Bolt Threads não é a única empresa que está trabalhando para a produção de biomateriais para a indústria têxtil, assim como a criação de materiais à base de seda sintética não é a única tecnologia a ser explorada em termos de biofabricação. A seguir, serão apresentados os materiais desenvolvidos por diversas empresas em duas frentes de biofabricação: micélio e celulose bacteriana. Atualmente, ambos possuem visibilidade em grandes marcas tradicionais e são uma aposta mais reconhecida em termos de materiais biofabricados.

#### 4. BIOTECIDOS À BASE DE FUNGOS

Os fungos vivem em diferentes ambientes aquáticos e terrestres, em regiões tropicais, árticas e antárticas. Alguns fungos podem ser observados apenas microscopicamente, porém outros possuem estruturas visíveis a olho nu, como é o caso de mofos, bolores, cogumelos, entre outros. Os fungos podem ser uni ou pluricelulares, sendo que o micélio são estruturas filamentosas constituídas por hifas e formadas apenas por fungos pluricelulares, funcionando como suportes torcidos e ramificados logo abaixo da superfície da terra, ou seja, um sistema subterrâneo de fungos semelhante a raízes. Na fase reprodutiva, os micélios podem formar corpos frutíferos acima do solo e gerar esporos, que são os principais responsáveis por sua propagação, como mostra a Figura 6 (MAIA; JUNIOR, 2010).

Figura 6 - Estrutura básica de um cogumelo/fungo



Fonte: Adaptado de Istock Photo (2022)

As células de micélio são inicialmente cultivadas usando apenas cobertura morta, leitos de serragem e outros materiais orgânicos, ar e água em uma instalação agrícola vertical. Essas células crescem e se multiplicam em menos de duas semanas para formar uma rede 3D interconectada. Em seguida, essa matéria bruta é colhida e processada, curtida e tingida para a obtenção do material, usando os princípios da química verde (BOLT THREADS, 2022; GULZAR *et al.*, 2019). Para a obtenção desse material, necessita-se de significativamente menos espaço territorial e geração de menos gases de efeito estufa, em comparação aos valores obtidos na fabricação de couro e tecidos de algodão (BOLT THREADS, 2022; MYLO, 2022).

A Bolt Threads está desenvolvendo também o Mylo™, que é um material que se parece com couro, biofabricado a partir do micélio. O “couro de cogumelo” é uma alternativa

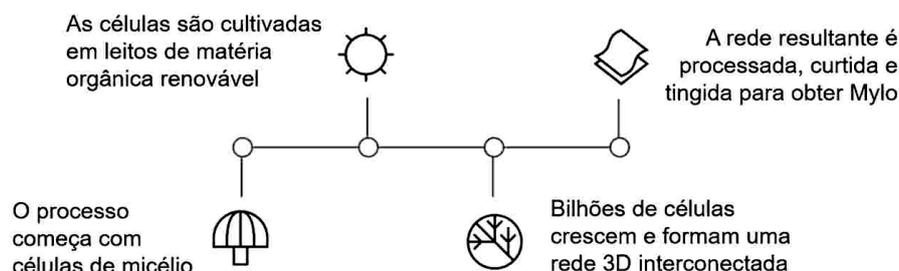
ao couro tradicional, sendo macio, flexível e menos prejudicial ao meio ambiente, cujo meio de fabricação e produtos fabricados podem ser observados na Figura 7 e cujo processo de obtenção é esquematizado na Figura 8 (MYLO, 2022). O Mylo™ é classificado como produto vegano, pois nenhum insumo de origem animal é utilizado durante todo seu processo. A marca é apoiada por Stella McCartney, Adidas e o grupo Kering, proprietário da Gucci e Lululemon (MYLO, 2022).

Figura 7 - Materiais e produtos da Mylo™



Fonte: Adaptado de Mylo (2022)

Figura 8 - Esquema do processo de obtenção do produto Mylo™



Fonte: Adaptado de Bolt Threads (2022)

Fine Mycelium™ e Reishi™ são produtos da MycoWorks, também norte americana. O Fine Mycelium™ é uma tecnologia inovadora que projeta micélio durante o crescimento, permitindo o desenvolvimento de um material que se compara em qualidade e desempenho aos melhores couros de animais. Já o Reishi™ é um produto modificado do Fine Mycelium™, com refinamento e acabamento de acordo com os mais altos padrões

de couro, feito sob encomenda. Inicialmente o foco dos produtos da MycoWorks eram os materiais de micélio rígido, como painéis e formas moldadas para projetos de interiores e estruturais. Em 2016, os protótipos de micélio flexível, projetados para funcionar como couro, começaram a ser desenvolvidos, chamando a atenção das marcas de moda e calçados de alta qualidade em todo o mundo, de modo que, em 2021, lançou seus primeiros produtos

com a Hermès e, em 2022, conseguiu 125 milhões de dólares em financiamento para ajudar no crescimento (MYCOWORKS, 2022). Os materiais e produtos da MycoWorks podem ser visualizados a seguir, na Figura 9.

Figura 9 - Materiais e produtos da MycoWorks



Fonte: Adaptado de MycoWorks (2022)

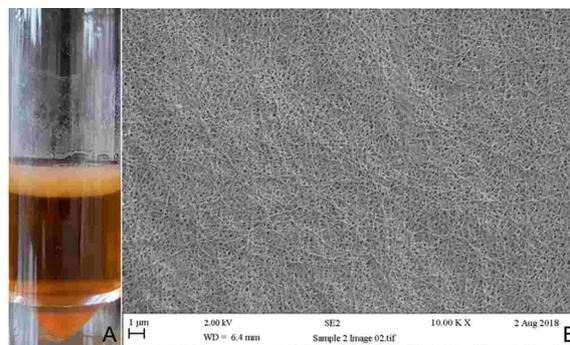
Embora o material à base de micélio seja bastante explorado em termos de materiais inovadores sustentáveis, no momento, ele apresenta dois problemas que são norteadores para seu aperfeiçoamento. Primeiramente, é importante ressaltar que, apesar de que as duas empresas citadas almejem um material 100% sustentável a longo prazo, atualmente 40% da composição dos tecidos de micélio é baseada em poliuretano, que é basicamente um polímero pertencente a um grupo de plásticos. Sendo assim, o produto não é nem biodegradável, nem reciclável, o que acaba sendo uma questão ambiental a ser levada em consideração. A segunda questão a ser explorada é a utilização do produto em larga escala. Grandes marcas globais têm interesse na utilização desse produto, seja por determinações alinhadas ao ESG das empresas ou pelo apelo de novidade, tanto que muitas peças foram lançadas com grandes grupos. No entanto, essas peças não costumam sair de editoriais. Um exemplo disso é que, mesmo após uma parceria desde 2017 em desenvolvimento de produtos à base do Mylo™, somente em julho de 2022 a marca Stella McCartney colocou à venda seus primeiros produtos confeccionados com esse material: um lote de 100 bolsas (STELLA MCCARTNEY, 2022).

## 5. BIOTECIDOS À BASE DE CELULOSE BACTERIANA

A celulose bacteriana (CB) é um composto orgânico polimérico abundante, sintetizado após o processo de fermentação. Descrita de maneira formal por Brown (1886), é uma alternativa de substituição de diversos materiais por apresentar propriedades únicas, como elevada resistência mecânica e biocompatibilidade, com estrutura em rede fibrosa nanométrica, tridimensional, constituída de microcanais de tamanho variável (GAMA *et al.*, 2010; MOOSAVI-NASAB; YOUSEFI, 2010).

Seu processo de biofabricação consiste basicamente no cultivo de uma solução com a presença da cultura simbiótica entre bactérias e leveduras (do inglês *symbiotic culture of bacteria and yeasts* – SCOBY) à base de carboidratos (açúcar) e nutrientes (oriundos do chá de *camellia sinensis*) (DOMSKIENE; SEDE-RAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019). A fermentação da CB é realizada durante o processo de fermentação do chá, gerando um biofilme à base de celulose na interface ar-líquido, como podemos observar na Figura 10 (WOOD, 2019).

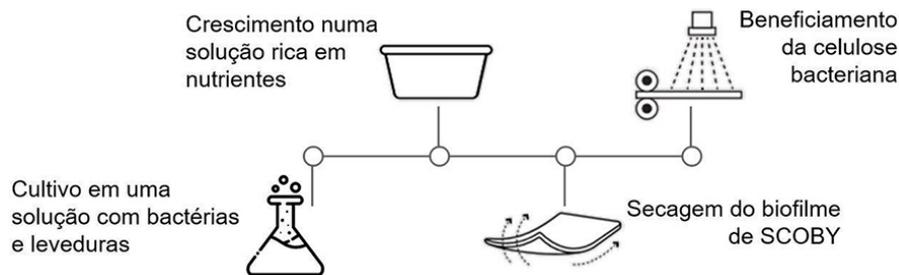
Figura 10 - (A) Um “biofilme” de celulose bacteriana sendo formado na superfície de um meio líquido. (B) Imagem de microscopia eletrônica de varredura de um biofilme de celulose bacteriana seca (ampliação de 10.000 ×).



Fonte: Adaptado de Wood (2019)

Esse biofilme tem uma vasta gama de aplicações, que pode variar entre medicina, com a fabricação de curativos biotecnológicos (VOLOVA *et al.*, 2019), como ingrediente na indústria alimentícia (LIN *et al.*, 2020). Para ser aplicado na indústria têxtil, esse biofilme de SCOBY passa por um processo de secagem e outro de beneficiamento. Neste último, são atribuídas as características necessárias para sua utilização no setor, inclusive com aspectos relacionados ao seu acabamento, conforme ilustra o esquema da Figura 11.

Figura 11 - Esquema do processo de obtenção do produto de celulose bacteriana análogo ao couro



Fonte: Adaptado de Biofabricate (2022)

Após a secagem e o beneficiamento, a CB se torna um material que tem propriedades mecânicas e aplicabilidade semelhante à do couro, sendo, segundo alguns autores, considerada um análogo vegetal do couro (WOOD, 2019; SILVA *et al.*, 2021).

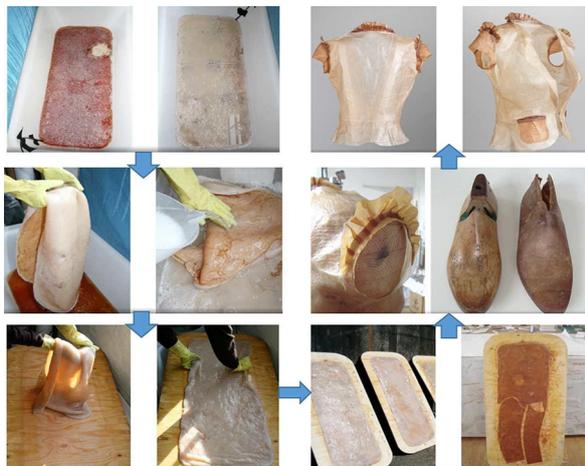
A professora e designer britânica Suzanne Lee foi pioneira na utilização de CB para fins de aplicação no setor têxtil, ainda em 2003. Ela experimentou uma mistura de diferentes organismos e conseguiu biotecidos de celulose bacteriana, com os quais, inclusive, já projetou e produziu roupas reais expostas numa exibição no Museu de Ciências de Londres, que podem ser observadas na Figura 12 (BIOFABRICATE, 2022).

Figura 12 - Peças de vestuário produzidas com tecido de celulose bacteriana



Fonte: Adaptado de Lee (2011)

Ainda em 2003, a pesquisadora cunhou o termo “*biocouture*”, que, em tradução livre, significa “biocostura”. A palavra se refere ao processo de cultivo de tecidos a partir de materiais naturalmente sustentáveis – não apenas microrganismos, como bactérias, mas também matéria vegetal, como celulose e quitina, encontradas nas paredes de cogumelos e nos exoesqueletos de lagostas (MENTAL FLOSS, 2014). Tal processo, aplicado ao desenvolvimento de produtos à base de CB, pode ser observado na Figura 13. Em 2014, Lee fundou a Biofabricate, uma cúpula internacional que promove design, biologia e tecnologia através do aconselhamento de startups de materiais e marcas globais de consumo no mundo emergente de biofabricação aplicada a setores como moda, esporte, bem-estar, mobilidade, interiores e construção (BIOFABRICATE, 2022).

Figura 13 - Processo de obtenção *Biocouture*<sup>TM</sup>

Fonte: Adaptado de Lee (2011)

O Celium<sup>®</sup> é um produto da empresa Polybion, desenvolvido com o apoio da Biofabricate no México. É um biomaterial produzido a partir da celulose bacteriana juntamente com resíduos agroindustriais de frutas produzidas localmente, tendo como objetivo ser um material com aplicabilidade semelhante à do couro, para aplicações na moda, roupas esportivas e revestimentos automotivos (POLYBION, 2020). O Celium<sup>®</sup> e alguns produtos fabricados com ele podem ser visualizados na Figura 14.

Figura 14 - Materiais e produtos desenvolvidos com Celium<sup>®</sup>

Fonte: Adaptado de Polybion (2020)

Malai é uma marca de moda sustentável, com sede na Índia, que está desenvolvendo biotêxteis à base de CB cultivada com resíduos agrícolas provenientes de coco (MALAI, 2020). Seus produtos podem ser constituídos apenas de CB e coco, ou processando esse material com outras fibras naturais, como a de bananeira, cânhamo e outras plantas semelhantes (MALAI, 2020). Os respectivos materiais e produtos podem ser observados na Figura 15. Utilizam exclusivamente corantes à base de plantas provenientes da Índia, através de um método patenteado de tingimento a frio (MALAI, 2020).

Figura 15 - Material Malai e peça produzida com esse material



Fonte: Adaptado de Malai (2022)

Startups brasileiras também estão desenvolvendo biotêxteis a partir de CB para utilização como matéria-prima na indústria da moda, inclusive, com certa notoriedade no cenário nacional, aliando a parceria de estilistas com a participação em desfiles realizados na Semana de Moda de São Paulo (SPFW). É o caso da DuMeio<sup>®</sup>, que desenvolveu o DuBac, com aplicabilidade semelhante à do couro e de outros materiais sintéticos, porém produzido a partir de CB de forma natural e com baixíssimo impacto ambiental (DUMEIO, 2022). A empresa não utiliza produtos químicos tóxicos em nenhum processo, inclusive, aplica apenas corantes naturais em seus materiais. Alguns dos biotêxteis e produtos desenvolvidos com o DuBac, inclusive mostrados na SPFW, podem ser observados na Figura 16.

Figura 16 - Materiais e produtos confeccionados com o



Fonte: Adaptado de DuMeio (2022)

O biotextil Texticel é produzido pela startup Biotecam, incubada na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Também é baseado em CB e, além das passarelas da SPFW, foi exposta no Museu do Amanhã (BIOTECAM, 2022). Ilustrações desses materiais e produtos podem ser observadas na Figura 17.

Figura 17 - Materiais e produtos confeccionados com o Texticel



Fonte: Adaptado de Biotecam (2022)

A australiana Nanollose produziu fibra de liocel Nullarbor, livre de celulose oriunda de colheita de árvores, que passa pelo processo de fabricação de fios e depois é transformada em uma peça de roupa usando a tecnologia de tricô 3D de desperdício zero. Ao contrário do rayon convencional, a fibra sustentável sem árvores da Nanollose é baseada em CB

obtida a partir de resíduos orgânicos de industriais agrícolas, que são então transformados em fibras de rayon com impacto ambiental mínimo (NANOLLOSE, 2022). A fibra de liocel Nullarbor e o produto final obtido por lyocell podem ser visualizados na Figura 18.

Figura 18 - Processo da fabricação do material têxtil Nullarbor e vestuário desenvolvido com esse material



Fonte: Adaptado de Nanollose (2022)

A CB é um material muito promissor para aplicação em biofabricação. Entre suas maiores vantagens – em comparação com materiais feitos, por exemplo, à base de micélio – destaca-se um menor impacto ambiental, visto que não necessita da incorporação de PVC (policloreto de vinila) ou PU (poliuretano), componentes causadores de poluição microplástica. Sendo assim, outra grande vantagem, além do fato de os materiais à base de CB serem biodegradáveis, é que eles são compostáveis. Essa característica confere ao material um ciclo fechado de uso e descarte seguro, uma vez que pode ser incorporado facilmente na natureza. No entanto, o caráter extremamente hidrofílico da celulose bacteriana restringe a utilização desse material em condições em que pode haver aumento ou diminuição da umidade, como próximo à pele humana, além de que eles não podem ser submetidos à lavagem doméstica. A solução dessa questão de hidroflicidade, via métodos sustentáveis, é alvo de diversas pesquisas recentes e, no momento, é uma das questões mais limitadoras de utilização em larga escala dessa matéria-prima (WOOD *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021; FERNANDES *et al.*, 2019).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há dúvida de que a indústria têxtil é uma grande geradora de resíduos e está em um contexto de transformações necessárias em busca de ações de sustentabilidade que propiciem, além da manutenção de seus processos produtivos tradicionais, seu crescimento a longo prazo. A biofabricação se apresenta com forte alinhamento às demandas desse setor, no sentido de proporcionar materiais inovadores, com semelhanças estéticas e técnicas aos tradicionais, porém com um olhar mais voltado para o meio ambiente no que diz respeito à utilização de menos recursos naturais para a confecção e com descarte facilitado ao fim do ciclo de vida dos materiais, com impacto ambiental consideravelmente reduzido. O micélio é a matéria-prima dos biotêxteis com maiores investimentos no mercado até o momento, e o que apresenta resultados de aplicação em grandes marcas de forma mais constante. No entanto, ainda requer aperfeiçoamento tanto para alcançar qualidade de produção em maior escala, como para reduzir ou eliminar componentes que não sejam biodegradáveis. A celulose bacteriana, por sua vez, tem potencial de escala, não requer componentes que alterem sua característica biodegradável e tem empresas nacionais atuando em seu aprimoramento, por exemplo, melhorando sua estabilidade térmica e sua resistência à água. Comparativamente à fabricação de couro e de tecidos convencionais, a biofabricação requer uma área de cultivo menor e com redução drástica de produtos químicos empregados, porém é uma tecnologia embrionária no que diz respeito a seus processos e o completo entendimento de suas características e funcionalidades. Contudo, esses materiais ganham cada vez mais espaço em um setor extremamente competitivo e indicam um horizonte bastante promissor, mas também desafiador, para

pesquisadores, indústria e seus consumidores. Apesar dos desafios, esse parece ser um caminho sem volta para os processos de fabricação têxteis e um alento para o meio ambiente e para as gerações futuras.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina e ao SEBRAE (FAPESC M+T2022121000028), ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq n.º 424310/2021-0) pelo apoio financeiro à pesquisa. Os autores igualmente agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Concessão n.º 350722/2022-6) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ABIT- Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. [Web: **Quem somos**]. ABIT, São Paulo, SP, 2022. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/quemsomos>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- ABRAPA - Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no Brasil**. ABRAPA, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- ANANAS ANAM. **#MadeFromPiñatex**. Ananas Anam, Barcelona, Spain, 2022. Disponível em: <https://www.ananas-anam.com/products-2/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- ATLAS GOVERNANCE. **Tudo Sobre ESG**: Conheça a sigla que orientará organizações e investidores pelos próximos 100 anos. Blog da ATLAS Governance, São Paulo, SP, 17

dez. 2021 . Disponível em: <https://welcome.atlasgov.com/blog/tudo-sobre-esg>. Acesso em: 22 jul. 2022.

BARKTEX. [Web: **Página Inicial**]. Barktex, Ebringen, Germany, 2022. Disponível em: <https://barktex.com/en>. Acesso em: 22 jul. 2022.

BIOFABRICATE. [Web: **About**]. Biofabricate, Brooklyn, New York, 2022. Disponível em: <https://www.biofabricate.co/about>. Acesso em: 28 jul. 2022.

BIOTECAM. [Web: **Página Inicial**]. Biotecam - Biotecnologia Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, 2022. Disponível em: <http://biotecam.com.br/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

BOLT THREADS. [Web: **Página Inicial**]. Bolt Threads, Emeryville, USA, 2022. Disponível em: <https://boltthreads.com>. Acesso em: 26 jul. 2022.

BROWN, A. J. On an acetic ferment which forms cellulose. **Scientific American**, vol. 21, no. 545 supp, pp. 8701-8702, Jun. 1886.

CAVALCANTI, A. M.; SANTOS, G. F. dos. A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, v. 30, n. 3, pp. 706-726, 2021.

CICB - CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUME DO BRASIL. **O couro e o curtume brasileiro**. CICB, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://cicb.org.br/cicb/sobre-couro>. Acesso em: 22 jul. 2022.

DESSERTO. [Web: **Página Inicial**]. Desserto, Guadalajara - México, 2022. Disponível em: <https://desserto.com.mx>. Acesso em: 22 jul. 2022.

DOMSKIENE, J.; SEDERAVICIUTE, F.; SIMONAITYTE, J. Kombucha bacterial cellulose for sustainable fashion. **International Journal of Clothing Science and Technology**, v. 31, n. 5, p. 644-652, 2019.

DUMEIO. **DuBac**. DuMeio Inovação Sustentável, Jaraguá do Sul - SC, 2022.. Disponível em: <https://dumeiosustentavel.com/dubac/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION & CIRCULAR FIBRE'S INITIATIVE. **A new textiles economy: redesigning fashion's future (2017 Report)**. Ellen MacArthur Foundation, Cowes, England, 2017. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>. Acesso em: 22 jul. 2022.

FERNANDES, M.; SOUTO, A. P.; GAMA, M.; DOURADO, F. Bacterial Cellulose and Emulsified AESO Biocomposites as an Ecological Alternative to Leather. **Nanomaterials**, v. 9, n. 1710, 2019.

GAMA, M. *et al.* **Bacterial nanocellulose: a sophisticated multifunctional material**. Florida: CRC Press, 2012.

GULZAR, T. *et al.* Green chemistry in the wet processing of textiles. **The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology**, v. 1, n. 20, 2019.

ISTOCK PHOTO. **“Mushrooms and mycelium, champignon. Mushrooms growing”**. iStock Photo Database, Calgary, Canada, 2022. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/pt/foto/mushrooms-and-mycelium-champignon-mushrooms-growing-gm926078350-254115205>. Acesso em: 27 jul. 2022.

LEAP. [Web: **Página Inicial**]. Leap™ by Beyond Leather Materials ApS, Søborg, Denmark, 2022. Disponível em: <https://www.explore-leap.com>. Acesso em: 22 jul. 2022.

LEE, S. **Grow your own clothes**. TED Talks, TED Conferences, 04 May 2011. Disponível em: [https://www.ted.com/talks/suzanne\\_lee\\_grow\\_your\\_own\\_clothes](https://www.ted.com/talks/suzanne_lee_grow_your_own_clothes). Acesso em: 22 jul. 2022.

- LEE, W. *et al.* Multi-layered culture of human skin fibroblasts and keratinocytes through three-dimensional freeform fabrication. **Bio-materials**, v. 30, n. 8, pp. 1587-1595, 2009.
- LEHMANN, M. *et al.* **Pulse of the Fashion Industry – 2019 Update**. Global Fashion Agenda, Boston Consulting Group, Sustainable Apparel Coalition, 2019. Disponível em: <http://media-publications.bcg.com/france/Pulse-of-the-Fashion-Industry2019.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- LIN, D.; LIU, Z.; SHEN, R.; CHEN, S.; YANG, X. Bacterial cellulose in food industry: current research and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 158, pp. 1007-1019, 2020.
- MAIA, L. C.; CARVALHO JUNIOR, A. A. Introdução: os fungos do Brasil. *In*: FORZAZA, R. C. et al. **Catálogo de plantas e fungos do Brasil** [online]. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. p. 43-48. Vol. 1.
- MENTAL FLOSS. **Making Clothes from Microbes**. Mental Floss, New York, USA, 4 March 2014. Disponível em: <https://www.mentalfloss.com/article/55269/making-clothes-microbes>. Acesso em: 28 jul. 2022.
- MALAI. [Web: **Página Inicial**]. Malai Eco, Kochi, India, 2022. Disponível em: <https://malai.eco/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- MIRONOV, V.; TRUSK, T.; KASYANOV, V.; LITTLE, S.; SWAJA, R.; MARKWALD, R. Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm. **Biofabrication**, v. 1, n. 2, 2009.
- MONTEIRO, A. O. *et al.* Avaliação do impacto ambiental de um curtume. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, pp. 1-19, 2022.
- MOOSAVI-NASAB, M.; YOUSEFI, A. R. Investigation of physicochemical properties of the bacterial cellulose produced by *Glucanacetobacter xylinus* from date syrup. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 4, n. 8, pp. 1258-1263, 2010.
- MYCOWORKS. [Web: **News**]. MycoWorks, Emeryville, USA, 2022. Disponível em: <https://www.mycoworks.com/news>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- MYLO. [Web: **Página Inicial**]. Bolt Threads - Mylo™, Emeryville, USA. Disponível em: <https://www.mylo-unleather.com/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- NAÇÕES UNIDAS. **Sustainable Development Goals**. United Nations, New York City, USA, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- NANOLLOSE. [Web: **Página Inicial**]. Nanollose Ltd (ASX:NC6), Perth, Australia, 2022. Disponível em: <https://nanollose.com/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- OLIVEIRA, C. R. S. de *et al.* Textile Re-Engineering: Eco-responsible solutions for a more sustainable industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, pp. 1232-1248, 2021.
- POLYBION. [Web: **Página Inicial**]. Polybion™ Biotecnologia. Madrid/España, Irapuato/México, 2022.. Disponível em: <https://www.polybion.bio>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- PUENTEDA, B. **Brasil descarta mais de 4 milhões de toneladas de resíduos têxteis por ano**. CNN Brasil, Rio de Janeiro, RJ, 03 jun. 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-descarta-mais-de-4-milhoes-de-toneladas-de-residuos-texteis-por-ano/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

- RATHINAMOORTHY, R.; KIRUBA, T. Bacterial cellulose-A potential material for sustainable eco-friendly fashion products. **Journal of Natural Fibers**, pp. 1-13, 2020.
- RUSSI, A. A. R.; GAVIRA, M. de O.; FERNANDES, L. C. de S. Sustentabilidade na indústria da moda: Um estudo exploratório. *In: Encontro Internacional sobre Empresarial e Meio Ambiente*, 18., 2016, São Paulo, pp. 1-15. **Anais...** São Paulo: USP, 2016.
- SCHNEIDER, T., BEHLING, K. M. F.; PEDRI, L. P. O couro e suas alternativas: uma análise do seu uso no mercado da moda. **Revista E-TECH: Tecnologias Para Competitividade Industrial**, v. 15, n. 1, 2022.
- SCHULTE, K.; APARECIDA, M. A moda no contexto da sustentabilidade Fashion in the sustainability context. **Modapalavra e-periódico**, ano 6, n. 11, pp. 194-211, jul.-dez. 2013.
- SILVA, C. J. G. da *et al.* Bacterial cellulose biotextiles for the future of sustainable fashion: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 4, pp. 2967-2980, 2021.
- SILVA, F. M. P. da; SANCHES, R. A. Materiais de descarte das micro e pequenas confecções: Uma proposta de procedimento para o desenvolvimento de produtos sustentáveis na indústria têxtil. **Modapalavra e-periódico**, v. 9, n. 18, pp. 240-265, 2016.
- SNA - SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Agronegócio: A força da economia brasileira**. SNA, Rio de Janeiro, RJ, 2022. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/agronegocio/>. Acesso em: 22 jul. 2022.
- STELLA MCCARTNEY. **The Frayme Mylo™, the world's first luxury handbag made from mycelium**. Stella McCartney, London, UK, 2022. Disponível em: <https://www.stellamccartney.com/mc/fr/stellas-world/frayme-mylo-mycelium-bag.html>. Acesso em: 27 jul. 2022.
- VOLOVA, T. G.; SHUMILOVA, A. A.; NIKOLAEVA, E. D.; KIRICHENKO, A. K.; SHISHATSKAYA, E. I. Biotechnological wound dressings based on bacterial cellulose and degradable copolymer P(3HB/4HB). **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 131, pp. 230-240, 2019.
- WOOD, J. Bioinspiration in Fashion-A Review. **Biomimetics**, v. 4, n. 1, pp. 1-8, 2019.