

Design e materiais vivos: perspectivas e aplicações da celulose bacteriana no design industrial, arquitetura e moda

Design and living materials: perspectives and applications of bacterial cellulose in industrial design, architecture and fashion

Elisa Strobel do Nascimento, doutoranda, Universidade Federal do Paraná.

elisastrobel@ufpr.br

Gislaine Maria Lau, graduanda, Universidade Federal do Paraná.

gislainemlau@gmail.com

Felipe de Carvalho Ishiy, graduando, Universidade Federal do Paraná.

ishiy06@gmail.com

Adriano Heemann, doutor, Universidade Federal do Paraná.

adriano.heemann@ufpr.br

Resumo

O Design com materiais vivos, em que participam outros organismos na materialização dos artefatos, traz novas possibilidades e desafios teóricos e práticos. No recorte do design envolvendo bactérias, esta pesquisa tem como objetivo levantar e mapear as perspectivas e aplicações da celulose bacteriana no design industrial, arquitetura e moda. O procedimento metodológico é a revisão sistemática que resultou na análise de 27 trabalhos acadêmicos e 16 depósitos de patentes nacionais e internacionais. Como resultado sumarizam-se as aplicações relatadas e prospectadas. Os destaques estão nas aplicações têxteis e nos processos de cultivo, conformação e acabamentos. São relatadas as dificuldades e discutidas oportunidades para os designers com estes materiais.

Palavras-chave: Biodesign; Materiais Vivos; Biofabricação; Celulose Bacteriana

Abstract

Design with living materials, when other organisms take part in the artifact's development and production, unveils new possibilities, theoretical and practical challenges. This research focuses on design with bacteria and aims to identify and map applications and perspectives for bacterial cellulose in industrial design, architecture and fashion. Through systematic literature review, we analyzed 27 academic works and 16 national and international patents. We found an emphasis on fashion and textile purposes and a focus on growing, molding and finishing processes. Finally, we present the difficulties for this material and discuss opportunities for designers.

Keywords: Biodesign; Living Materials; Biofabrication; Bacterial Cellulose

1 Introdução

O trabalho do designer na intersecção com a biologia tem sido cada vez mais referenciado e assume nomes como biodesign, biofabricação e design com materiais vivos (NASCIMENTO; HEEMANN, 2020). Nesta prática outros seres vivos não-humanos participam na criação e materialização de artefatos. Exemplos seriam a produção de mobília pela indução de árvores cultivadas diretamente na forma projetada (FULL GROWN, 2020) e vasos e embalagens crescidos em moldes a partir de compósitos com fungos (RADIAL BIO, 2020). O conceito de material vivo parece ainda não ser consensual. Enquanto alguns autores mantêm vivos os organismos nos artefatos para o uso, outros os “desativam” após a fabricação, como geralmente ocorre nos casos de produtos feitos com fungos (NASCIMENTO; HEEMANN, 2020). Além do argumento da sustentabilidade, haveriam possibilidades inerentes às funções relacionadas às “habilidades” de diversas espécies, como por exemplo, a proteção contra radiação (SHUNK; GOMEZ; AVERESCH, 2020). A variação de condições de nutrição e desenvolvimento destes organismos pelos designers, parece abrir um horizonte de possibilidades ainda mais amplo no que se refere ao uso dos materiais vivos (CAMERE; KARANA, 2018).

No presente trabalho, especificamente, explora-se o recorte do design com a participação de bactérias, especificamente a celulose bacteriana (CB). O objetivo é levantar e mapear as principais perspectivas e aplicações da CB no design industrial, na arquitetura e na moda. A seguir, introduz-se o Design com bactérias, são então apresentados os procedimentos metodológicos e os resultados analisados, discutidos e organizados em categorias. Conclui-se com as possibilidades de estudos futuros para aplicação destes materiais.

1.1 Design com materiais vivos: bactérias

Exemplos de trabalhos de designers com bactérias variam do uso para pigmentação, até aplicação de tecnologias avançadas, como a impressão tridimensional em substrato com bactérias vivas, ilustradas na Figura 1.



Figura 1: Exemplos de aplicação de design com bactérias. Fonte: da esquerda para a direita, Living Color (2017); Smith et al. (2020).

Uma das formas mais usuais de bactérias em projetos de design é a biofabricação de artefatos de celulose bacteriana (CB). Esta recebe outros nomes como couro bacteriano,

couro de kombucha, couro vegano, biofilme, biocelulose, celulose nativa, nanocelulose cristalina, mãe de vinagre (COSTA; BIZ, 2017; DAMSIN, 2019). A CB, sintetizada por bactérias, é um polímero natural renovável e biodegradável (RATHINAMOORTHY; KIRUBA, 2020). Algumas das propriedades da CB são alta pureza em relação à celulose vegetal, alta cristalinidade, alta retenção de água, alta resistência à tensão de tração, estabilidade térmica (DERME; MITERBERGER; DI TANNA, 2016; DOMSKIENE.; SEDERAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019; NIYAZBEKOVA; NAGMETOVA; KURMANBAYEV, 2018). A Figura 2 apresenta exemplos de artefatos crescidos em CB.



Figura 2: Exemplos de aplicação de design com celulose bacteriana. Fonte: da esquerda para a direita, Hülsen (2011); Modern Synthesis (2020); TED 2011.

O processo de *bacterial weaving*, demonstrado no calçado da Figura 2 ao centro, envolve técnicas e equipamentos mais elaborados (MODERN SYNTHESIS, 2020). Camere e Karana (2018) e Damsin (2019) descrevem também processos do tipo “faça-você-mesmo”, apoiados em fóruns de compartilhamento de conhecimento e experimentos empíricos. Exemplos seriam a banqueta Xylium (HÜLSEN, 2011) e a Jaqueta de Suzanne Lee (TED, 2011) também ilustrados na Figura 2.

Um método comum para a obtenção de CB é a partir da fermentação do caldo de chá de Kombucha, seu subproduto denominado SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast*) é composto de celulose, bactérias, leveduras e água (NG, 2017). Segundo Zolotovskiy (2012), a CB seca contém células bacterianas “desativadas”, mas uma pequena fração delas permanece viva. Quando recolocadas em meio de cultivo, retomam as funções de crescimento, reprodução, etc., desempenhando inclusive reparação de fraturas no material. Por ser um material vivo, a CB traz oportunidades de estruturas de celulose que respondem em crescimento a estímulos, que se regeneram e biodegradam (ZOLOTOVSKY, 2012).

2 Procedimentos Metodológicos

Para o levantamento adaptou-se o método da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) apresentado por Conforto, Amaral e Silva (2011), em quatro etapas: (1) busca em bases de dados; (2) busca em ferramenta livre; (3) busca em bases de depósito de patentes e (4) categorização e análise dos dados.

Em uma primeira etapa, as bases de dados selecionadas foram a *Web of Science* (Thomson and Reuter) e *Scopus* (Elsevier). A string buscada na *Scopus* foi: "*bacterial cellulose*" AND "*product design*" OR "*fashion*" OR "*architecture*". Na base de dados *Web of Science*, as palavras-chave foram combinadas em pares. Desta maneira, obtiveram-se 307 resultados. O recorte, na leitura do título e resumo, usou como filtro os seguintes critérios para exclusão da amostra:

- (1) abordagem apenas das questões técnicas do material, ou construção e estrutura da célula, sem apresentação de possibilidades de aplicação construtiva em artefatos. Trabalhos que listaram possibilidades de aplicações do material com exemplos foram mantidos;
- (2) aplicações restritas à tecidos de órgãos e curativos;
- (3) aplicação restrita à nanogeradores, capacitores e eletrodos;
- (4) aplicações estritas à recuperação de água ou solos.

Após a remoção de repetições e aplicação dos critérios de exclusão, foram obtidos 20 trabalhos pertinentes, dos quais 4 não se teve acesso. Para uma segunda etapa, replicou-se a *string* na ferramenta de busca livre Google, os resultados foram lidos com o objetivo de identificar trabalhos científicos. A ferramenta omitiu trabalhos repetidos, considerando 100 resultados relevantes. Os mesmos critérios de exclusão foram considerados na leitura, resultando na inclusão de 8 artigos e 3 dissertações de mestrado. Ao todo, compõem a amostra da análise desta pesquisa 27 trabalhos acadêmicos publicados entre os anos 2006 e 2020.

A terceira etapa exigiu buscas separadas por palavras-chave, adaptadas a partir da primeira busca. Inicialmente, na base do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), os termos procurados foram “biofilme”, “nanocelulose”, “kombucha” e “membrana de celulose”. No banco de dados de patentes da América Latina e Espanha (LATIPAT-ESPACENET), além destes termos, foram adicionados “nano celulose” e “nanocelulosa”. Por fim, na base *United States Patent and Trademark Office* (UPSTO), buscou-se por: “kombucha leather”, “bacterial cellulose”, “bacterial fabric”, “nanocellulose” e “SCOBY”. O levantamento gerou 1264 resultados. Optou-se por critérios de inclusão, ao invés de exclusão na leitura de títulos e resumos. Estes foram:

- (1) produção da CB (indicando aplicação);
- (2) processo de conformação ou acabamento (indicando aplicação);
- (3) aplicação.

Resultaram do filtro 16 depósitos de patentes. Por fim, a quarta etapa, de análise e categorização, consistiu na leitura de todos os artigos completos e dos resumos das patentes, estabelecendo categorias de análise, que são descritas nas sessões seguintes.

3 Resultados e Discussão

Os resultados, análise e discussão são divididos em duas sessões: os trabalhos acadêmicos e os depósitos de patentes.

3.1 Trabalhos acadêmicos

A maior parte dos estudos da amostra trata de combinações das condições para o crescimento de CB. Há autores que não apresentam experimentos próprios, mas compilam existentes. Alguns dos artigos realizam experimentos sintetizando e melhorando o material para obter propriedades físicas e mecânicas desejadas (KAMIŃSKI.; JAROSZ; GRUDZIEN, 2020; NIYAZBEKOVA; NAGMETOVA; KURMANBAYEV, 2018). Há ainda, a preocupação com a organização estrutural da celulose (URAKI, Y. et al., 2006; RAHMAN; NETRAVALI, 2016; ZOLOTOVSKY; 2012). Vários estudos partem da bebida kombucha, que envolve também a presença de fungos (BLOCH, 2019; COSTA; BIZ, 2017; DOMSKIENE; SEDERAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019; KAMINSKI et al., 2020; GARCÍA; PRIETO, 2019; MIHALEVA, 2020; NG, 2017; WOOD, 2019; RATHINAMOORTHY; KIRUBA, 2020).

Sabe-se que o nome *Komagataeibacter xylinus* compreende as espécies conhecidas como *Acetobacter xylinum* e *Gluconacetobacter xylinus*. Estes foram os nomes das espécies mais mencionadas na amostra (14 artigos e 8 artigos, respectivamente). Outros 4 trabalhos relatam a presença das espécies *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Rhodobacter*, *Komagataeibacter*, *Bacterium gluconicum*, *Gluconacetobacter sucrofermentans*. Fungos são relatados em 2 casos como comuns em simbiose: *Zygosaccharomyces bailii*, *Zygosaccharomyces kombuchensis*, *Pichia fluxum* e *Saccharomyces sp.*, entre outros. O tempo de cultivo varia de 4 a 30 dias na amostra, o intervalo mais recorrente é de 10 a 14 dias e 6 a 7 dias, ambos em 7 artigos.

A preocupação da produção em escala é encontrada em outros autores (DERME; MITERBERGER; DI TANNA, 2016; DAMSIN, 2019; DOMSKIENE; SEDERAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019; RATHINAMOORTHY; KIRUBA, 2020; NIYAZBEKOVA; NAGMETOVA; KURMANBAYEV, 2018; VELÁSQUEZ-RIÑO; BOJACÁ, 2017). A Tabela 1 sumariza a distribuição de aplicações descritas na amostra:

Aplicações da CB na amostra	Frequência N=27 (100%)
Têxtil, moda, vestuário	18 (67%)
Calçados	3 (11%)
Vestíveis joias e acessórios	8 (30%)
Arquitetura	5 (19%)
Mobiliário	3 (11%)
Utensílios domésticos	1 (4%)
Objetos decorativos/artísticos	4 (15%)
Embalagens	8 (30%)
Materiais engenheirados / Materiais vivos engenheirados/ compósitos	4 (15%)
Alternativa ao couro	3 (11%)
Alternativa aos polímeros em geral	1(4%)
Alternativa para indústria de papéis, ou melhoramento de papéis	7 (26%)
Indústria automotiva	1 (4%)
Outros (aplicações médicas, indústria de cosméticos, alimentícia, meio ambiente, eletrônica e audiovisual)	10 (37%)

Tabela 1: Distribuição das aplicações na amostra. Fonte: Elaborado pelos autores.

Dos autores que discriminam a aplicação em detalhes: em têxteis e vestuário, Costa e Biz (2017) exemplificam uma luva e uma jaqueta; Kaminski et al. (2020) apresentam uma

camiseta com aplicações em CB. Na categoria de vestíveis, joias e acessórios, Kaminski et al. (2020) desenvolvem braceletes e Ng (2017) apresenta um vestível com LEDs internos para uso no pescoço, ombro e braços. Em aplicações arquitetônicas, discriminam-se materiais acústicos de alto desempenho (ZOLOTOVSKY; GAZIT; ORTIZ, 2018) e estudos para estruturas tênses (DAMSIN, 2019). Costa e Biz (2017) listam ainda exemplos de tigela, luminária e capa de celular, que foram categorizados como utensílios domésticos. A comparação com o couro é destacada por Yim, Song e Kim (2017). Os autores sugerem que a resistência à tensão de tração da CB seria duas vezes superior ao couro de flor superior. Segundo os autores, ambos os materiais teriam espessura e aparência similares. García e Prieto (2019) também reforçam a similaridade destes materiais em relação à maciez e elasticidade, com a vantagem da possibilidade de cultivo com extremidades retas e uniformes, e com menor variação de qualidade. Em materiais engenheirados, destacam-se o desenvolvimento com padrão de favo (URAKI, Y. et al., 2006) e os materiais em que as bactérias continuam vivas, apresentando propriedades como a de fluorescência, entre outras (CARO-ASTORGA; WALKER; ELLIS, 2020). Na categoria melhoria de papéis, que se estende também para as embalagens, a busca por propriedades de barreira a partir da CB, como impermeabilidade ao ar, água, vapores, gorduras e microorganismos é estudada por Fillat et al. (2018). Finalmente, na categoria outros, a aplicação da translucidez da CB para tecnologia OLED (LEGNANI et al., 2019). Rathinamoorthy e Kiruba (2020) resumem aplicações em revisão bibliográfica no segmento da moda.

A Tabela 2 sintetiza a distribuição dos principais processos descritos na amostra.

Processos descritos na amostra	Frequência N=27 (100%)
Cultivo plano da película	4 (15%)
Cultivo estático	6 (22%)
Cultivo estático e plano da película	6 (22%)
Cultivo com agitação	3 (11%)
Cultivo estático com envolvimento de fibras ou outras estruturas (permanentes ou degradáveis)	6 (22%)
Cultivo estático sobre molde 3D imerso em substrato	6 (22%)
Secagem sobre molde 3D	4 (15%)
Conformação com molde tridimensional, sem especificação do tipo de molde	5 (19%)
Congelamento antes da secagem	2(7%)
Secagem à temperatura ambiente	
Secagem em outras temperaturas	5 (19%)
Pigmentação em meio de cultivo	2(7%)
Pigmentação pós cultivo	2(7%)
Lavagem com água e sabão, água destilada ou outros	5 (19%)
Purificação com soda cáustica e água sanitária	1(4%)
Tratamento com glicerol, óleos, ceras, ácido nítrico, etileno glicol, cloreto de etilenoglicol cloro, NaOH, ácido esteárico	6 (22%)
Impressão 3D (biológica)	3 (11%)
Corte e costura	4 (15%)
Auto colagem	5 (19%)
Outros	14 (52%)

Tabela 2: Distribuição dos processos descritos na amostra. Fonte: Elaborado pelos autores.

Zolotovskiy (2012) relata que o aspecto principal do design com sistemas vivos é o planejamento e controle das condições de cultivo, induzindo o comportamento do

organismo. A autora descreve as seguintes variáveis/parâmetros: nutrientes; oxigenação; temperatura; Ph; e tempo (em função das condições anteriores). São comuns as variações e mutações espontâneas do organismo, o que exige “um diálogo constante entre o designer e o artífice” (ZOLOTOVSKY, 2012).

Dos processos categorizados como outros: Bloch (2019) experimenta a adição diária de substrato sobre uma estrutura de fios. Derme, Miterberger e Di Tanna (2016) chamam de “processo de adesão” o cultivo estático e anaeróbico em recipiente de látex, que causa a inversão no metabolismo das bactérias. Estas assumiram a forma do recipiente, ao invés da formação na superfície. Os mesmos autores ainda sugerem processos de solidificação por calcificação da CB. Caro-Astorga, Walker e Ellis (2020) propõem cultivo em meio agitado para formação de estruturas esféricas de CB, que se tornam módulos. Estes seriam então dispostos manualmente com uma pipeta na forma da estrutura 3D desejada. Por fim, os módulos são conectados pelo crescimento do biofilme. Damsin (2019) experimenta a prensa à quente para secagem e impermeabilização, com aditivos. Domskiene, Sederaviciute e Simonaityte (2019) sugerem a compressão do biofilme de CB para remoção de água. Kaminski et al. (2020) aplicam a CB sobre tecidos. Fillat et al. (2018) fazem o cultivo na superfície de filtro ou folhas de papel, e experimentam também camadas duplas revestidas com CB. Ng (2017) demonstra a prensagem em um molde rígido bipartido cortado a laser, que simula um padrão de dobras de origami. Ng e Wang (2016) apresentam um experimento em que um manequim (molde) é parcialmente mergulhado em partes no substrato e rotacionado periodicamente. Uraki et al. (2006) realizam a secagem a vácuo, enquanto Zolotovskiy (2012) utiliza a liofilização para manutenção de formas 3D. A mesma autora idealiza um processo de “Impressão 3D biológica”, em que o substrato é adicionado à medida que as camadas de CB são formadas, ou com a apresentação de estímulos, como raios UV. Por fim, Zolotovskiy, Gazit e Ortiz (2018) propõem um cultivo parametrizado em moldes de silicone com condução do crescimento por fluxos e condições controladas por canais.

Com relação aos acabamentos, as cores mais relatadas da CB na amostra são tons de marrom e bege, em 10 artigos, outras cores são possíveis com a adição de frutas e corantes, descritas em 4 artigos. Texturas diferentes são possíveis dependendo dos processos de cultivo, aditivos e conformação (COSTA; BIZ, 2017; DERME; MITERBERGER; DI TANNA, 2016).

Da consideração da viabilidade de aplicação, especialmente em produtos têxteis, autores divergem nas conclusões. Há os que defendem ainda haver um longo caminho de desenvolvimento (DOMSKIENE; SEDERAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019; HARMON; FAIRBOURN; THIBAUT, 2020). Em contraponto, há autores com perspectivas mais otimistas em relação à maturidade do desenvolvimento do material (KAMINSKI et al., 2020; NG; WANG, 2015). Rathinamoorthy e Kiruba (2020) citam um estudo com 33 participantes em que o material de CB teria sido aceito para acessórios vestíveis de moda, mas não para vestimentas. García e Prieto (2019) consideram que as propriedades hidrofílicas podem ser úteis em diversas aplicações, porém não são adequadas para a indústria calçadista.

Por fim, as publicações acadêmicas analisadas apresentam sugestões para estudos futuros. Por exemplo, é recomendado conhecer mais a fundo as possibilidades de trabalhabilidade do material (ZOLOTOVSKY, 2012; NG; WANG, 2015; YIM; SONG; KIM, 2017; DERME; MITERBERGER; DI TANNA, 2016). São destacados os desafios na melhoria da impermeabilização e durabilidade, assim como a manutenção da flexibilidade do material durante o tempo (CAMERE; KARANA, 2018; DAMSIN, 2019; DOMSKIENE; SEDERAVICIUTE; SIMONAITYTE, 2019; KAMINSKI et al., 2020). Ainda, sugere-se

como imprescindível o acompanhamento das práticas “faça-você-mesmo”, de pesquisadores e laboratórios independentes, de artistas, de comunidades online, como o Biofabforum.org, que possuem uma produção expressiva em CB e materiais vivos em geral (CAMERE; KARANA, 2018; DAMSIN, 2019).

3.2 Depósitos de patentes

O Quadro 1 apresenta a relação dos depósitos de patentes analisados, a base de dados, acompanhada da palavra-chave de busca, o título e seu código, a categorização de seu objeto (produto, processo, suporte) e a provável aplicação. A maior parte dos resultados se refere a processos produtivos. Destes, 9 tratam do processo de cultivo, 3 explicitam processo de secagem, 3 tratam da patente de um suporte de cultivo, 1 trata do processo de conformação e 2 tratam do processo de acabamento. Dos resultados, 2 tratam da escala para uma produção industrial. A maior parte das patentes não especifica a aplicação do material resultante, 5 explicitam aplicações médicas e 3 especificam produtos têxteis, de vestuário, ou moda.

Base/palavra chave	Título da patente (original) e código	Objeto	Aplicação
USPTO Bacterial fabric	Process of preparing a dyed fabric including a bacterial biopolymer and having unique appearance - 10.294.611	processo de acabamento para obtenção de efeito "desgastado"	têxtil, artigos de vestuário
USPTO Bacterial cellulose	Method for producing a storable molded body made of bacterial cellulose - 10.709.820	processo de conformação de corpos moldados; processo de secagem	corpos moldados
LATIPAT Biopelícula	Protocolo para la formacion de biopelículas naturales simuladas - ES19990906994T 19990212	processo de cultivo	-
LATIPAT Membrana de celulose	Processo de obtenção de membrana de celulose bacteriana purificada para uso na duraplastia craniana e espinhal e como substituto de disco intervertebral - BR20161024479 20161020	processo de cultivo	medicina
USPTO Bacterial cellulose	Process for the preparation of cellulose film, cellulose film produced thereby, artificial skin graft and its use - 4.912.049	processo de cultivo	medicina, membrana separadora, couro artificial
INPI Biofilme INPI Nanocelulose	Método para controlar o crescimento de micro-organismos e/ou biofilmes em um processo industrial - BR 11 2020 003317 0 A2	processo de cultivo	-
USPTO Bacterial cellulose	Nonwoven fabric-like product using a bacterial cellulose binder and method for its preparation - 4.919.753	processo de cultivo como aglutinante	tecidos-não-tecidos
LATIPAT Nano Celulose	Processo de produção em escala de filmes de celulose bacteriana purificada - BR20151017614 20150723	processo de cultivo em escala (industrial)	medicina, farmacotécnica e cosmiatria

Base/palavra chave	Título da patente (original) e código	Objeto	Aplicação
INPI Membrana de celulose	Processo para obtenção de manta e de membrana celulósica, processo para obtenção de manta celulósica que incorpora outros materiais, meio de cultura utilizado, bandejas fechadas de fermentação, equipamento de secagem utilizado, membrana celulósica obtida por tal processo e usos de ditas mantas e membranas - PI 0205499-0 A2	processo de cultivo em escala (industrial); processo de acabamento (branqueamento); possibilita materiais compostos	compósitos
LATIPAT Membrana de celulose	Celulose nanofibrilar, método para a fabricação de celulose nanofibrilar, membrana, uso de celulose nanofibrilar, e, produto - BR20171123567 20150504	processo de cultivo, produto	celulose nanofibrilar
USPTO Kombucha leather	Isolated bacterial strain of gluconacetobacter oboediens and an optimized economic process for microbial cellulose production therefrom - 10.053.718	processo de cultivo; processo de secagem	medicina
INPI Membrana de celulose	Processo de secagem de membranas de celulose microbiana para uso médico	processo de secagem	medicina
INPI Kombucha	Aplicativo, movido por painéis fotovoltaicos orgânicos, com sola e alças revestidas em kombucha - BR 10 2017 016414 4 A2	produto	calçado
LATIPAT Biofilme	Dispositivo de crescimento de biofilme - BR20010112921 20010712	suporte para cultivo	-
LATIPAT Biopelícula	Soporte para crecimiento de mycobacterium smegmatis - MX20180006342 20180503	suporte para cultivo	-
USPTO Nanocelulose	Nanocellulose surface coated support material - 9.506.186	suporte para cultivo	-
Quadro 1: Depósitos de patente, seus objetos e aplicações citadas. Fonte: Elaborado pelos autores.			

Observa-se uma ênfase nos processos produtivos envolvendo a CB tanto nos trabalhos acadêmicos quanto nos depósitos de patentes. Na amostra, há um maior número de trabalhos voltados à aplicações têxteis e da moda. Os autores divergem quanto às possibilidades de uso a curto prazo para este tipo de aplicação. Nota-se o empenho em encontrar tratamentos que aumentem a durabilidade de biofilmes de CB. Seria relevante a exploração de métodos como o *Material Driven Design* (KARANA et al., 2018), que pressupõe a experiência do usuário e as características do material para desenvolver aplicações que aproveitem as características existentes do material.

4 Conclusão

O presente artigo apresenta um levantamento e mapeamento das principais perspectivas e aplicações da CB no design industrial, na arquitetura e na moda. Este é um recorte do projeto com bactérias nos materiais vivos. O procedimento metodológico é a revisão bibliográfica sistemática com a busca de trabalhos acadêmicos em bases de dados e em bases

de registros de patentes, que possibilitou a análise de 27 trabalhos acadêmicos e 16 registros de patentes.

As aplicações têxteis e de moda compõe a maior parte da amostra. Observa-se a ênfase nos processos de produção e conformação da CB, embora ainda haja divergências quanto a sua aplicação sem maiores desenvolvimentos. Os principais desafios para este material se referem à impermeabilização, ao desenvolvimento de técnicas para trabalhá-lo (processos) e à busca pelo aumento de sua durabilidade. É relevante a proposta de novas aplicações que valorizem as características da CB, o que é oportunidade para o campo do design.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o acompanhamento de iniciativas não acadêmicas, por exemplo, a partir de comunidades na internet, artistas, pesquisadores e laboratórios independentes. Do mesmo modo, sugere-se complementar a busca de patentes com a base de dados *European Patent Office* (EPO). Poderiam ser também investigadas possíveis aplicações de outras espécies de bactérias, os materiais vivos engenheirados e outras formas de cultivo das bactérias no design industrial, na arquitetura e na moda. Por fim, sugere-se a pesquisa sobre diferentes técnicas de crescimento, sobre o uso de diferentes suportes e substratos.

Referências

- BLOCH, C. Design Potential of Microbial Cellulose in Growing Architecture. 2019. 91p. Dissertação - Chalmers School of Architecture. Department of Architecture and Civil Engineering. Göteborg, 2019.
- CAMERE, S.; KARANA, E. Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, p. 570–584, 2018.
- CAMERE, S.; KARANA, E. Growing materials for product design. *Alive. Active. Adaptive: International Conference on Experiential Knowledge and Emerging Materials, EKSIG 2017*, n. August, p. 101–115, 2017.
- CARO-ASTORGA, J.; WALKER, K.; ELLIS, T. Bacterial cellulose spheroids as building blocks for 2D and 3D engineered living materials, 2020.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8º Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produto – CBGDP. Porto Alegre, 2011.
- COSTA, P. Z. R. da.; BIZ, P. Cultivando materiais: o uso da celulose bacteriana no design de produtos. 3o SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN DA ESDI Rio. Anais... , 2017.
- DAMSIN, B. Bacterial cellulose. New bio-composites based on bacterial cellulose for architectural membrane applications. 2019, 141p. Dissertação - Université Libre de Bruxelles. Bruxelas, 2019.
- DERME, T.; MITERBERGER, D.; DI TANNA, U. Growth based fabrication techniques for bacterial cellulose. *ACADIA 2016: Posthuman Frontiers: Data, Designers, and Cognitive Machines - Proceedings of the 36th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, p. 488–495, 2

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.

FILLAT, A.; MARTÍNEZ, J.; VALLS, C.; et al. Bacterial cellulose for increasing barrier properties of paper products. *Cellulose*, v. 25, n. 10, p. 6093–6105, 2018.

GARCÍA, C.; PRIETO, M. A. Bacterial cellulose as a potential bioleather substitute for the footwear industry. *Microbial Biotechnology*, v. 12, n. 4, p. 582–585, 2019.

HARMON, J.; FAIRBOURN, L.; THIBAUT, N. Exploring the Potential of Bacterial Cellulose for Use in Apparel. *Journal of Textile Science & Fashion Technology*, v. 5, n. 2, p. 1–9, 2020.

HUANG, Y.; ZHU, C.; YANG, J.; et al. Recent advances in bacterial cellulose. *Cellulose*, v. 21, n. 1, p. 1–30, 2014.

HÜLSEN, J. Xylum Stool. 2011. Disponível em: <<http://www.jannishuelen.com/?/work/xylumstool/>>. Acesso em: 02 jan 2021.

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Ferramenta de busca de patentes. Disponível em < <https://www.gov.br/inpi/pt-br>>. Acesso em 07 jan. 2021.

KAMIŃSKI, K.; JAROSZ, M.; GRUDZIEN, J.; et al. Hydrogel bacterial cellulose: a path to improved materials for new eco-friendly textiles. *Cellulose*, v. 27, n. 9, p. 5353–5365, 2020.

KARANA, E.; BLAUWHOFF, D.; HULTINK, E. J.; CAMERE, S. When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. *International Journal of Design*, v. 12, n. 2, p. 119–136, 2018.

LATIPAT. Ferramenta de busca de patentes. Disponível em: < https://lp.espacenet.com/?locale=pt_LP >. Acesso em 07 jan. 2021.

LEGNANI, C.; BARUD, H. S.; CAIUT, J. M. A.; et al. Transparent bacterial cellulose nanocomposites used as substrate for organic light-emitting diodes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, v. 30, n. 18, p. 16718–16723, 2019.

LIVING COLOUR. Biodesign research project. 2017. Disponível em: <<https://livingcolour.eu/>> Acesso em: 24 set 2020.

MIHALEVA, G. Bio matter in creative practices for fashion and design. *AI and Society*, Springer London, n. 0123456789, 2020.

MODERN SYNTHESIS. Microbial Weaving. 2020. Disponível em: <<https://modern-synthesis.com/microbial-weaving/>> Acesso em: 02 jan 2021.

NG, A. Grown microbial 3D fiber art, ava: Fusion of traditional art with technology. *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC*, v. Part F130534, p. 209–214, 2017.

NG, F. M. C.; WANG, P. W. Natural Self-grown Fashion From Bacterial Cellulose: A Paradigm Shift Design Approach In Fashion Creation. *Design Journal*, v. 19, n. 6, p. 837–855, 2016.

NG, M. C. F.; WANG, W. A Study of the Receptivity to Bacterial Cellulosic Pellicle for Fashion. *Research Journal of Textile and Apparel*, v. 19, n. 4, p. 65–69, 2015.

NIYAZBEKOVA, Z. T.; NAGMETOVA, G. Z.; KURMANBAYEV, A. A. An Overview of Bacterial Cellulose Applications. *Biotechnology. Theory and practice*, p.1–16, 2018.

RAHMAN, M. M.; NETRAVALI, A. N. Aligned Bacterial Cellulose Arrays as “green” Nanofibers for Composite Materials. *ACS Macro Letters*, v. 5, n. 9, p. 1070–1074, 2016.

RATHINAMOORTHY, R.; KIRUBA, T. Bacterial cellulose-A potential material for sustainable eco-friendly fashion products. *Journal of Natural Fibers*, v. 00, n. 00, p. 1–13, 2020.

SMITH, R. S. H.; BADER, C.; SHARMA, S.; et al. Hybrid Living Materials: Digital Design and Fabrication of 3D Multimaterial Structures with Programmable Biohybrid Surfaces. *Advanced Functional Materials*, v. 30, n. 7, p. 1–14, 2020.

STROBEL do NASCIMENTO, Elisa; HEEMANN, A. Perspectivas em design e materiais vivos: discussão da literatura. In: 2020 - Gampi + Plural Design, 2020, Joinville. *Plural Design 2020*, 2020.

SHUNK, G. K.; GOMEZ, X. R.; AVERESCH, N. J. H. A Self-Replicating Radiation-Shield for Human Deep-Space Exploration: Radiotrophic Fungi can Attenuate Ionizing Radiation aboard the International Space Station. *bioRxiv*, p. 2020.07.16.205534, 2020.

TED. Suzanne Lee: Cultive suas próprias roupas. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3p3-vl9VFYU>>. Acesso em: 02 jan 2021.

URAKI, Y.; NEMOTO, J.; OTSUKA, H.; et al. Honeycomb-like architecture produced by living bacteria, *Gluconacetobacter xylinus*. *Carbohydrate Polymers*, v. 69, n. 1, p. 1–6, 2007

USPTO - United States Patent and Thendmark. Ferramenta de busca de patentes. Disponível em: <<https://www.uspto.gov/>>. Acesso em 07 jan. 2020.

VELÁSQUEZ-RIAÑO, M.; BOJACÁ, V. Production of bacterial cellulose from alternative low-cost substrates. *Cellulose*, v. 24, n. 7, p. 2677–2698, 2017.

WOOD, J. Bioinspiration in Fashion—A Review. *Biomimetics*, v. 4, n. 1, p. 16, 2019.

YIM, S. M.; SONG, J. E.; KIM, H. R. Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar. *Process Biochemistry*, v. 59, p. 26–36, 2017.

ZOLOTOVSKY, K. *BioConstructs – Methods for Bio-Inspired and Bio-Fabricated Design*. 2012, 72p. Dissertação - Master of Science in Architecture Studies at the Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, 2012.

ZOLOTOVSKY, K.; GAZIT, M.; ORTIZ, C. Guided Growth of Bacterial Cellulose Biofilms. , v. 2, p. 538–548, 2018.