

WEARABLES E O USO DE METAMATERIAIS E BIOMIMETISMO COM A IMPRESSÃO 3D

Ana Luiza Perez Trevisani¹; Agda Regina de Carvalho²

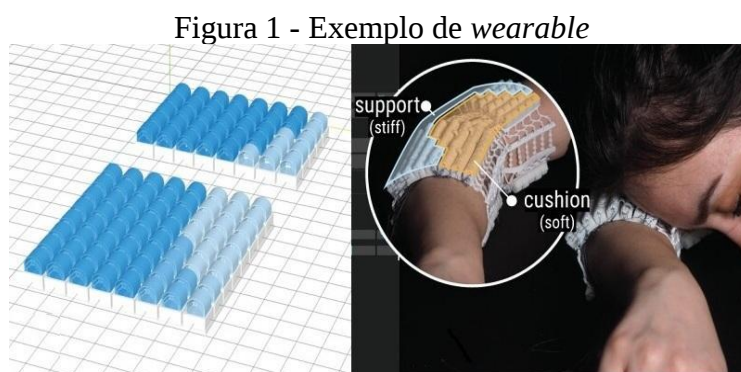
¹Aluna de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT)

²Professora do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT)

Resumo. *Este artigo apresenta uma leitura sobre dispositivos tecnológicos vestíveis (wearables) aplicados em diferentes campos do design, como saúde, esporte e arte, analisando o potencial dos metamateriais produzidos a partir de impressão 3D. A investigação centra-se em como o design desses metamateriais, inspirados em conceitos como o biomimetismo, pode oferecer soluções morfológicas relevantes. Para contextualizar esta proposta, é realizado um levantamento bibliométrico na base de dados Scopus. Esta análise quantitativa revela que, de um total de 263.257 publicações indexadas (abrangendo o período de 1946 a 2025), a pesquisa interdisciplinar (Nível 2 ou superior) é ainda incipiente (1,4%). Notavelmente, este universo interdisciplinar é extremamente recente, com todos os registros de Nível 2 ou superior sendo posteriores a 2020. Este universo mostra-se dominado massivamente por pesquisas na grande área das "Engenharias e Tecnologias" (68,5%), com uma lacuna considerável nas áreas de aplicação de "Ciências da Saúde" (3,0%) e "Artes e Humanidades" (0,1%). A partir destes achados quantitativos, o texto busca analisar qualitativamente o potencial de casos de referência em pesquisas no Brasil como os projetos HIFA (e suas fases posteriores HIFA-CINESIS e HIFA-NEXUM; 2022 a 2024) e WBAN (2021) para preencher esta lacuna, sob o viés do design e da aplicabilidade.*

Introdução

Os dispositivos vestíveis têm emergido como um campo de pesquisa e inovação de grande relevância, atribuindo funcionalidades tecnológicas a peças de vestuário e acessórios. Segundo Stoppa e Chiolerio (2014), *wearables* podem ser definidos como sistemas eletrônicos que se integram ao usuário ao serem embutidos em roupas ou acessórios. O diferencial desses dispositivos está na sua capacidade de fornecer uma ampla gama de funcionalidades, como monitoramento, processamento de dados, comunicação e armazenamento (STOPPA; CHIOLERIO, 2014). Essa área de estudo abrange diversas frentes, incluindo processos produtivos, materiais, design e os benefícios funcionais e estéticos desses dispositivos. A **Figura 1** ilustra um exemplo de um *wearable* que consiste em um dispositivo vestível com interface para uso no braço, que permite amortecimento sob demanda.



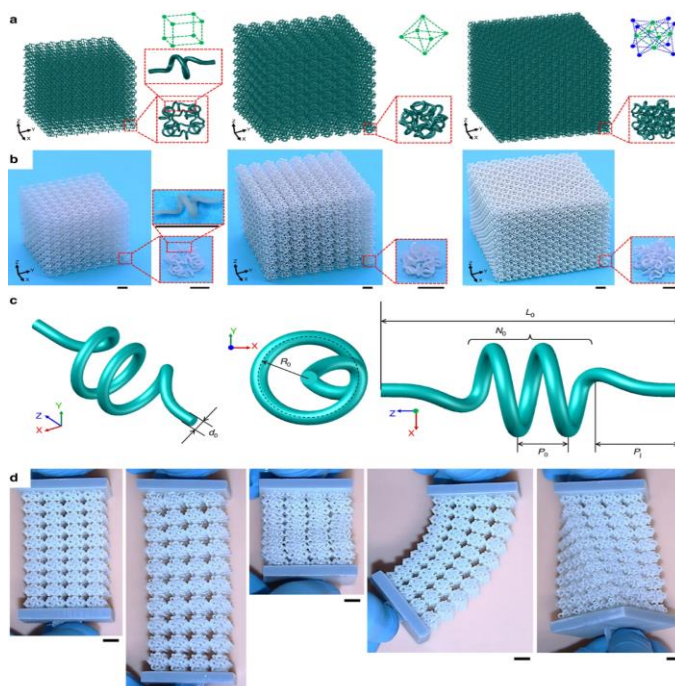
Fonte: adap. de LIN *et al.*, 2025

Nesse contexto, vislumbra-se uma abordagem que trate das possíveis aplicações do Biomimetismo e dos metamateriais com o uso da impressão 3D. Sob essa ótica, é possível obter

características novas e programadas a partir da transformação da estrutura original do material, muitas vezes através de um levantamento sobre impressão 3D e outras técnicas de fabricação digital.

A relação com o biomimetismo surge como principal inspiração para o design desses metamateriais. A **Figura 2** ilustra um exemplo de metamaterial baseado em microestruturas helicoidais entrelaçadas em diferentes topologias, inspiradas nas estruturais das moléculas de colágeno. Esse metamaterial foi produzido a partir de filamento polimérico cuja estrutura geométrica confere novas propriedades de elasticidade, flexibilidade e resiliência em relação à matéria prima original.

Figura 2 - Exemplo de metamaterial



Fonte: YAN *et al.*, 2020

Pesquisas recentes, como o projeto HIFA (CARVALHO *et al.*, 2022), ao utilizar como modelo a estrutura constitutiva de um determinado tipo de fungo, apontam para a possibilidade da conexão com as formas e soluções dos organismos naturais para ampliar as perspectivas de design orientado a novas estruturas dos materiais. O projeto oferece, ainda, um caminho promissor para repensar a relação da natureza com a tecnologia e projetar novas ideias de produtos para o uso futuro.

Este estudo busca, portanto, realizar uma leitura em diferentes campos de aplicação do design, como saúde, esporte e arte, refletindo sobre como os metamateriais podem influenciar a funcionalidade dos dispositivos vestíveis. O trabalho analisa algumas publicações de alto impacto na base Scopus, identificando aplicações atuais e outras possibilidades de projetos, contribuindo para uma abordagem de produção alinhada às novas tecnologias geradas.

Material e Métodos

Este artigo baseia-se em uma metodologia de pesquisa exploratória com abordagem de métodos mistos (quantitativa-qualitativa), estruturada em duas etapas sequenciais.

Etapas 1: mapeamento bibliométrico (quantitativo)

Para o levantamento bibliométrico que fundamenta esta seção, foi selecionada a base de dados Scopus. A escolha desta plataforma justifica-se por sua abrangência, confiabilidade e alta relevância acadêmica, sendo também um recurso disponibilizado pela Biblioteca do Instituto Mauá de Tecnologia. A coleta de dados, realizada em 15/11/2025, foi estruturada em torno das quatro palavras-chave centrais do projeto: *wearables*, *metamateriais*, *biomimetismo* e *impressão 3D*, e alguns de seus sinônimos mais comuns.

Todos os termos de busca foram utilizados exclusivamente em inglês, visto que este idioma funciona como a língua franca da comunicação científica global e é o padrão de indexação na base Scopus, assegurando assim a captura abrangente da produção acadêmica internacional.

Para garantir a exclusividade dos dados e permitir uma análise precisa das combinações temáticas (as intersecções), a estratégia de busca foi baseada em relações entre conjuntos. O objetivo era encontrar artigos que contivessem combinações específicas desses temas, sem sobreposição nos resultados.

Para isso, foram usados operadores de pesquisa para definir as relações:

- OU (para agrupar sinônimos, como "biomimetismo" OU "biomimicry");
- E (para combinar temas diferentes, como "wearables" E "metamateriais"); e
- NÃO (para excluir um tema, garantindo que o resultado seja exclusivo daquela combinação).

Para organizar esta busca complexa, a metodologia foi dividida em três passos.

Primeiro, definimos códigos mnemônicos (W, M, B, P) para os grupos de termos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Legenda

Código	Termos de Busca Correspondentes (em inglês)
W	("wearables" OU "wearable technology")
M	("metamaterials")
B	("biomimetics" OU "biomimicry")
P	("3D printing" OU "additive manufacturing")

Em seguida, utilizam-se tais códigos para construir a estrutura lógica de cada busca, detalhada na Tabela 2. Esta tabela mostra as relações de inclusão (E) e exclusão (NÃO) que definem cada subnível de intersecção.

Tabela 2 - Níveis de busca e definições dos conjuntos

Nível	Subnível	Descrição da Intersecção	Definições dos Conjuntos
4	4	Todos os 4 temas (W+M+B+P)	(W) E (M) E (B) E (P)
3	3A	W+M+B (sem P)	(W) E (M) E (B) E NÃO (P)
3	3B	W+M+P (sem B)	(W) E (M) E (P) E NÃO (B)
3	3C	W+B+P (sem M)	(W) E (B) E (P) E NÃO (M)
3	3D	M+B+P (sem W)	(M) E (B) E (P) E NÃO (W)
2	2A	W+M (sem B, P)	(W) E (M) E NÃO (B) E NÃO (P)
2	2B	W+B (sem M, P)	(W) E (B) E NÃO (M) E NÃO (P)
2	2C	W+P (sem M, B)	(W) E (P) E NÃO (M) E NÃO (B)
2	2D	M+B (sem W, P)	(M) E (B) E NÃO (W) E NÃO (P)
2	2E	M+P (sem W, B)	(M) E (P) E NÃO (W) E NÃO (B)
2	2F	B+P (sem W, M)	(B) E (P) E NÃO (W) E NÃO (M)
1	1A	Apenas W	(W) E NÃO (M) E NÃO (B) E NÃO (P)
1	1B	Apenas M	(M) E NÃO (W) E NÃO (B) E NÃO (P)
1	1C	Apenas B	(B) E NÃO (W) E NÃO (M) E NÃO (P)
1	1D	Apenas P	(P) E NÃO (W) E NÃO (M) E NÃO (B)

Finalmente, esta lógica foi traduzida para as *strings* de busca literais (em inglês), com a sintaxe exata exigida pela plataforma Scopus. Elas são apresentadas na Tabela 3, garantindo a transparência e a replicabilidade futura deste estudo.

Tabela 3 - *Strings* de busca utilizados para realizar a pesquisa no Scopus

Nível	Descrição da Intersecção	String de Busca
4	(W + M + B + P)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("metamaterials") AND ("biomimetics" OR "biomimicry") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing")
3A	(W + M + B) e NÃO (P)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("metamaterials") AND ("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
3B	(W + M + P) e NÃO (B)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("metamaterials") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry")
3C	(W + B + P) e NÃO (M)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("biomimetics" OR "biomimicry") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("metamaterials")
3D	(M + B + P) e NÃO (W)	("metamaterials") AND ("biomimetics" OR "biomimicry") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology")
2A	(W + M) e NÃO (B ou P)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("metamaterials") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
2B	(W + B) e NÃO (M ou P)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("metamaterials") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
2C	(W + P) e NÃO (M ou B)	("wearables" OR "wearable technology") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("metamaterials") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry")
2D	(M + B) e NÃO (W ou P)	("metamaterials") AND ("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
2E	(M + P) e NÃO (W ou B)	("metamaterials") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry")
2F	(B + P) e NÃO (W ou M)	("biomimetics" OR "biomimicry") AND ("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("metamaterials")
1A	(W) e NÃO (M, B ou P)	("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("metamaterials") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
1B	(M) e NÃO (W, B ou P)	("metamaterials") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
1C	(B) e NÃO (W, M ou P)	("biomimetics" OR "biomimicry") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("metamaterials") AND NOT ("3D printing" OR "additive manufacturing")
1D	(P) e NÃO (W, M ou B)	("3D printing" OR "additive manufacturing") AND NOT ("wearables" OR "wearable technology") AND NOT ("metamaterials") AND NOT ("biomimetics" OR "biomimicry")

Esta estratégia de busca por conjuntos exclusivos permitiu categorizar os resultados em quatro "Níveis" de sinergia: Nível 1 (artigos contendo um, e apenas um dos temas investigados), Nível 2 (dois, e apenas dois temas), Nível 3 (três, e apenas três temas) e Nível 4 (artigos contendo todos os quatro temas).

Etapa 2: análise documental de casos (qualitativa)

Esta etapa baseia-se em uma metodologia de pesquisa qualitativa e exploratória, centrada em uma revisão bibliográfica e documental. A análise estrutura-se em três eixos principais, alinhados aos achados bibliométricos:

- a relação entre o biomimetismo, os metamateriais e o uso de impressão 3D (W+B+P), exemplificada pelo caso HIFA-NEXUM (CARVALHO et al., 2025);
- o levantamento de projetos de *wearables* com o uso de metamateriais (W+M+P), exemplificado pelo caso WBAN (HOLANDA, 2021); e
- a conexão entre a fabricação digital de *wearables* e a materialização das estruturas complexas que envolvem metamateriais e biomimetismo (PEI et al., 2022)

Resultados e Discussão

Esta seção é apresentada em duas partes. A primeira (3.1) detalha os resultados quantitativos do mapeamento bibliométrico, identificando as lacunas na literatura. A segunda (3.2) discute qualitativamente o potencial de preenchimento dessas lacunas, com base nos eixos definidos na metodologia.

Resultados bibliométricos: a lacuna quantificada

Após a consolidação dos dados brutos, observou-se que a quantidade de 259.689 - registros resultantes das pesquisas de Nível 1 (Tabela 4) representa a linha de base de cada um dos quatro temas isoladamente (*wearables*, biomimetismo, metamateriais e impressão 3D).

Portanto, para focar a análise na "sinergia" e "interdisciplinaridade", objetivo central deste capítulo, optou-se por excluir os dados obtidos a partir das pesquisas de nível 1, concentrando-se no universo de 3.568 artigos que apresentam a combinação de dois ou mais temas (Tabela 5).

Tabela 4 – Registros por Nível

Nível	Registros	%
1	259.689	98,645%
2	3.512	1,334%
3	54	0,021%
4	2	0,001%
Total	263.257	100%

Fonte: Scopus 15/11/2025

Tabela 5 – Registros por Grupos de Níveis

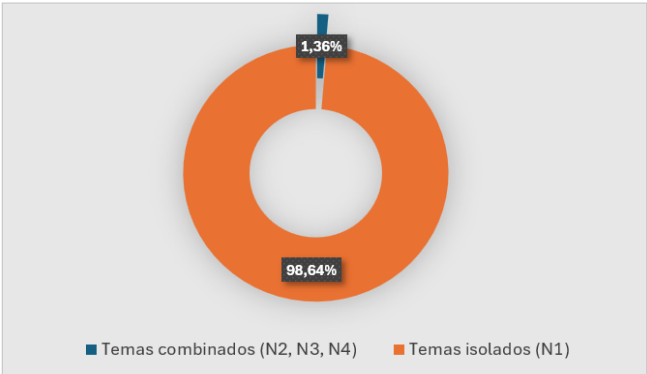
Grupos	Registros	%
Temas isolados (N1)	259.689	98,64%
Temas combinados (N2, N3, N4)	3.568	1,36%
Total	263.257	100%

Fonte: Scopus 15/11/2025

Contextualização e justificativa para a combinação de temas

A análise bibliométrica inicial revela que, de um universo total de 263.257 publicações, a esmagadora maioria (98,6%) aborda apenas um dos quatro temas centrais (Wearables, Metamateriais, Biomimetismo ou Impressão 3D) de forma isolada. A pesquisa que promove a combinação sinérgica entre dois ou mais destes temas é notadamente incipiente, correspondendo a cerca de 1,4% do total (**Gráfico 1**). Este dado quantitativo confirma a importância em focar na considerável originalidade de estudos que se propõem a explorar estas intersecções.

Gráfico 1 – Registros por Grupos de Níveis

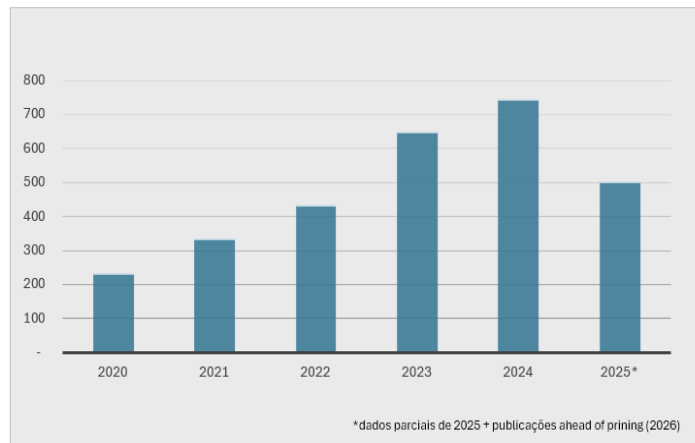


Fonte: Scopus 15/11/2025

Evolução temporal: um campo em expansão

Apesar de incipiente, a análise temporal deste universo interdisciplinar aponta para um campo em franca expansão. O número de publicações anuais demonstra um crescimento expressivo (**Gráfico 2**), partindo de 233 registros em 2020 e atingindo seu pico em 2024, com 747 publicações. Isso sugere um interesse científico crescente e recente nas sinergias entre os temas propostos, mais do que triplicando a produção anual em menos de cinco anos.

Gráfico 2 - Registros por Ano de Publicação



Fonte: Scopus 15/11/2025

Perfil geográfico: onde a pesquisa acontece

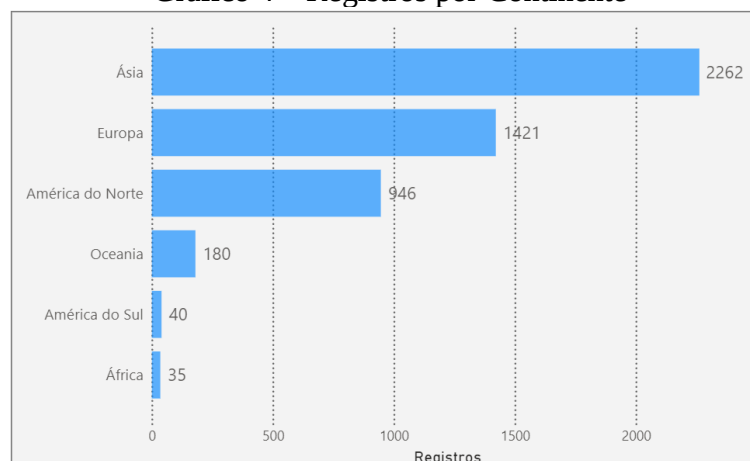
O perfil geográfico desta pesquisa mostra que, se por uma lado a distribuição espacial é bastante abrangente, por outro, em termos de volume de produção, é altamente concentrada (**Gráfico 3**). A Ásia (46,3%) e a Europa (29,1%) lideram de forma absoluta, seguidas pela América do Norte (19,4%). Juntos, estes três continentes respondem por 94,8% das afiliações de publicação. Em forte contraste, a América do Sul (0,8%) e a África (0,7%) têm uma participação marginal (**Gráfico 4**)

Gráfico 3 - Registros por País de Afiliação



Fonte: Scopus 15/11/2025

Gráfico 4 – Registros por Continente



Fonte: Scopus 15/11/2025

Perfil temático: a lacuna da aplicação em design e saúde

A análise temática revela a descoberta mais significativa para este projeto. O universo interdisciplinar é fortemente dominado por "Engenharias e Tecnologias" (68,5%) e "Ciências Exatas e Naturais" (21,3%). Juntas, estas duas grandes áreas (que representam a pesquisa de base no desenvolvimento de materiais e processos) respondem por 90% de todas as 8.405 afiliações de área.

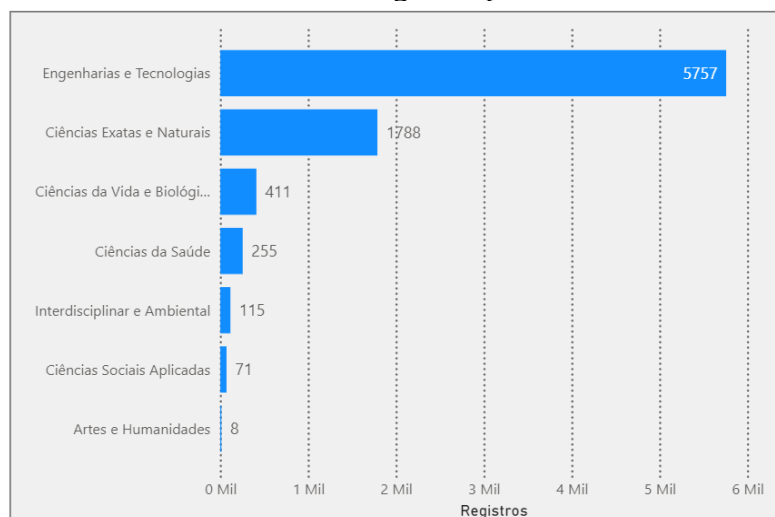
Em contrapartida, outras áreas de aplicação com alto potencial de exploração e desenvolvimento, particularmente as "Ciências da Saúde" e as "Artes e Humanidades", mostram uma lacuna gritante. A área "Ciências da Saúde" representa apenas 3,0% das afiliações, enquanto a área de "Artes e Humanidades" é praticamente inexistente, com apenas 8 registros (0,1%) em todo o universo analisado. Esta descoberta quantifica a enorme lacuna na literatura que este texto, ao conectar estas tecnologias com aplicações humanas, busca começar a preencher.

Tabela 6 – Registros por Área

Grande Área	Registros	%
Engenharias e Tecnologias	5.757	68,5%
Ciências Exatas e Naturais	1.788	21,3%
Ciências da Vida e Biológicas	411	4,9%
Ciências da Saúde	255	3,0%
Interdisciplinar e Ambiental	115	1,4%
Ciências Sociais Aplicadas	71	0,8%
Artes e Humanidades	8	0,1%
TOTAL	8.405	0,0%

Fonte: Scopus 15/11/2025

Gráfico 5 – Registros por Área



Fonte: Scopus 15/11/2025

Discussão qualitativa: explorando o potencial da lacuna

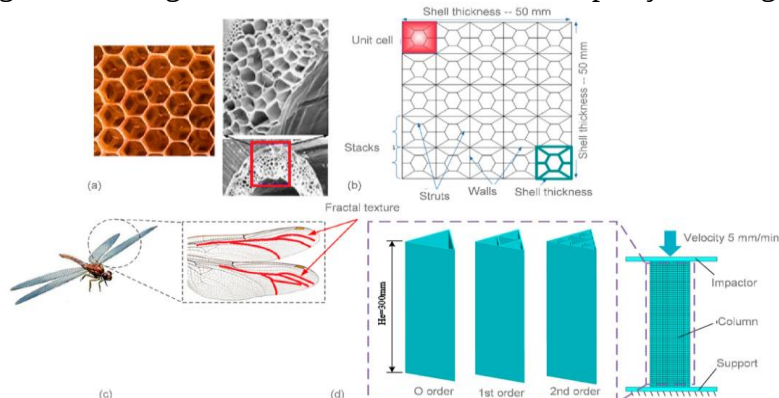
A análise bibliométrica demonstrou quantitativamente que as áreas de Engenharia e Ciências Exatas dominam o campo, enquanto as aplicações em Saúde e Artes são raras. Esta seção, portanto, discute qualitativamente o potencial dessas aplicações incipientes, com base nos três eixos definidos na metodologia.

A discussão se inicia com os casos de referência brasileiros (HIFA e WBAN), que exemplificam os princípios de design e aplicação (viés humano) nos níveis 2 e 3. Em seguida,

a análise avança para o terceiro eixo: o estudo do caso de Nível 4 (PEI et al., 2022), que representa o ápice da sinergia conceitual investigada por esta pesquisa.

No primeiro eixo, a investigação explora o biomimetismo como ponto de partida para a inovação estrutural, conforme definido por Benyus (1997), que propõe o aprendizado com as estratégias da natureza. Este conceito é diretamente relacionado ao potencial dos metamateriais, cuja engenharia é determinada pela geometria (forma) em vez da composição química. A **Figura 3** apresenta alguns exemplos de desenho de estruturas mecânicas inspiradas em estruturas biológicas, tais como o formato hexagonal das células de uma colmeia de abelhas e a textura fractal das asas de uma libélula.

Figura 3 - Design de estruturas mecânicas de inspiração biológica



Fonte: CZERWINSKI, 2021

Para examinar essa relação, são analisados projetos-chave como o HIFA-NEXUM (CARVALHO et al., 2024). Este caso (**Figura 4**) é utilizado para demonstrar a viabilidade de simular comportamentos biológicos (como a reatividade dos fungos) em protótipos de laboratório, servindo de base para a discussão sobre o uso futuro dos *wearables* e o impacto das tecnologias geradas em interações mais imersivas.

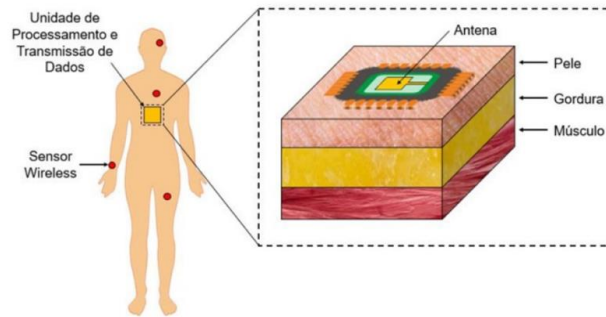
Figura 4 – Wearable HIFA- NEXUN



Fonte: Captura de tela do Vídeo performance HIFANEXUM. Exposição Em Meio#16. Museu Nacional da República – Brasília. YouTube, [s.d.]. Disponível em: <https://youtu.be/0w3fWbZ5MLA>. Acesso em: 01 dez. 2025.

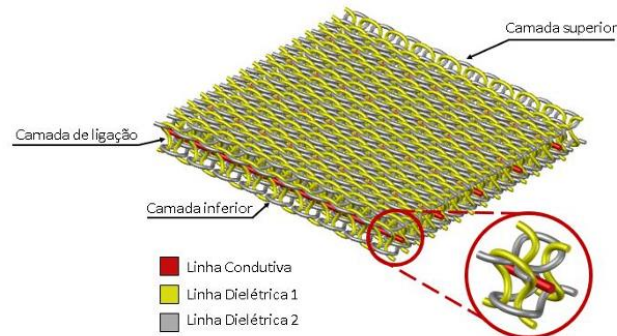
No segundo eixo, o estudo realiza uma leitura em diferentes campos do design para mapear o estado da arte de *wearables* e metamateriais. Esta análise começa pelo campo da saúde, onde se destaca o exemplo da antena têxtil WBAN (HOLANDA, 2021). Este caso (**Figura 5**) é utilizado para analisar como os metamateriais produzidos a partir de técnicas de impressão 3D (**Figura 6**) aprimoram parâmetros funcionais (miniaturização e absorção). A partir disso, a leitura se expande para identificar as possibilidades de outras aplicações no campo do design, investigando o potencial ainda incipiente, mas promissor, nos campos do esporte (como absorção de impacto ou gerenciamento térmico) e da arte (como estruturas cinéticas ou interativas).

Figura 5 – WBAN: conceito da antena têxtil



Fonte: HOLANDA, 2021

Figura 6 - WBAN - tecido 3D

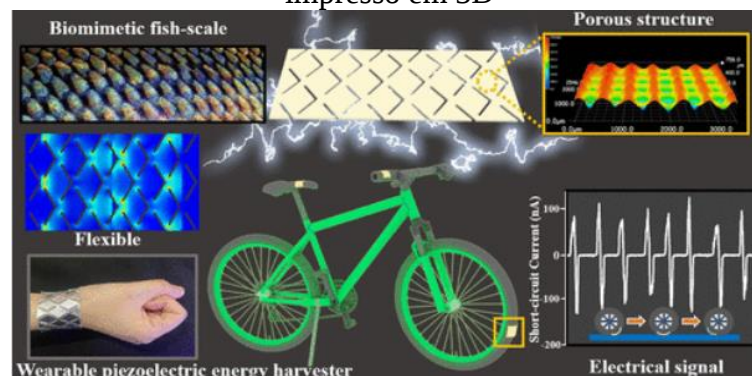


Fonte: HOLANDA, 2021

Finalmente, o **terceiro eixo** analisa a sinergia máxima (Nível 4) encontrada na pesquisa bibliométrica, representada pelo trabalho de PEI et al. (2022). Este artigo materializa a intersecção de todos os quatro temas centrais: *wearables*, metamateriais, biomimetismo e impressão 3D. Nele, os autores propõem uma estratégia de impressão 3D para criar um *wearable* capaz de coletar energia do próprio movimento do usuário.

O ponto-chave dessa pesquisa é o uso de um metamaterial biomimético inspirado em escamas de peixe, conectando-se diretamente ao viés de design deste trabalho (**Figura 7**). Esta estrutura, cuja funcionalidade é determinada por sua geometria complexa (viabilizada pela impressão 3D), confere ao dispositivo a capacidade de coletar energia de diferentes tipos de deformação.

Figura 7 - Modelo Conceitual de Wearable Biomimético produzido com metamaterial impresso em 3D



Fonte: PEI et. al, 2022

O trabalho de PEI et al. (2022) serve, portanto, como uma prova de conceito crucial. Ele demonstra que a fabricação digital de metamateriais biomiméticos não é apenas teórica, mas um caminho viável para a produção de dispositivos *wearables* funcionais e complexos. Embora

o foco de PEI et al. (2022) seja a geração de energia, ele abre um precedente exploratório para que os mesmos princípios de design (geometrias complexas impressas em 3D inspiradas na natureza) sejam aplicados em outras áreas, como as Ciências da Saúde e Artes.

Conclusões

Este artigo buscou observar as possibilidades de modificação de materiais como um caminho com potencial de contribuir para o enfrentamento dos desafios contemporâneos, focando no desenvolvimento e aplicação funcional em dispositivos vestíveis.

Esta análise qualitativa é justificada pela descoberta bibliométrica de que a sinergia de temas é um campo em expansão, mas com uma lacuna crítica em áreas de grande potencial de pesquisa, como Design e Saúde. A pesquisa quantifica, assim, a oportunidade e a necessidade de trabalhos que, como este, se propõem a cruzar as fronteiras da Engenharia, para estreitar a colaboração na pesquisa e desenvolvimento de aplicações com viés humano.

A referência ao biomimetismo, exemplificada por pesquisas como o projeto HIFA, reforça a relevância de observar a natureza como fonte de inspiração não apenas para a estética, mas também para a funcionalidade dos *wearables*. O exemplo do WBAN, por sua vez, reforça a pertinência de se considerar a abordagem de metamateriais como forma de induzir novos usos para materiais convencionais.

Assim, conclui-se que o futuro dos *wearables* pode ser marcado por práticas mais responsáveis e criativas. A combinação analítica dos conceitos de metamateriais e o biomimetismo, aplicadas à produção de *wearables*, sob a luz dos processos produtivos envolvendo impressão 3D, pode vir a ser um framework indutor de caminho para uma nova era de dispositivos vestíveis, que conciliam tecnologia, funcionalidade e senso estético.

Referências Bibliográficas

- Carvalho, Agda et al. Wearable HIFA:Materialidade e Interatividade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARTE, CIÊNCIA E TECNOLOGIA e SEMINÁRIO DE ARTES DIGITAIS, 7, 2022, Belo Horizonte. Anais do 7º Congresso Internacional de Arte, Ciência e Tecnologia e Seminário de Artes Digitais. Belo Horizonte: EdUEMG, 2022. ISSN: 2674-7847. p. 843-858.
- Carvalho, Agda et al. Hifanexum: Design e experiência In: Corrêa, Antenor Ferreira. Ecotecnoceno: Poéticas Artísticas Diante Dos Desafios Ambientais. Zenodo, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15483701>.
- Czerwinski, F. Current Trends in Automotive Lightweighting Strategies and Materials. Materials 2021, 14, 6631. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14216631>.
- Holanda, Samanta Mesquita de. Estudo de metamaterial têxtil para aplicação em substrato de antenas planares para tecnologia WBAN. 2021. 115f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- Lin, Y et al. Wearable Material Properties: Passive Wearable Microstructures as Adaptable Interfaces for the Physical Environment. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '25), Yokohama, Japan. ACM, New York, NY, USA. Abril-Maio, 2025; Disponível em <https://doi.org/10.1145/3706598.3714215>.
- Pei, H. et al. Combining Solid-State Shear Milling and FFF 3D-Printing Strategy to Fabricate High-Performance Biomimetic Wearable Fish-Scale PVDF-Based Piezoelectric Energy Harvesters. ACS Applied Materials and Interfaces, v. 14, n. 13, p. 15346-15359, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsami.2c02491>. Acesso em: 16 nov. 2025.
- SCOPUS. Elsevier. Disponível em: <https://www.scopus.com>. Acesso em: 15 nov. 2025.

- Soleimanzadeh, H. et al. Rotary 4D Printing of Programmable Metamaterials on Sustainable 4D Mandrel. *Advanced Materials Technologies*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/admt.202501581>. Acesso em: 16 nov. 2025.
- Yan, D., Chang, J., Zhang, H. et al. Soft three-dimensional network materials with rational biomimetic designs. *Nat Commun* 11, 1180. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14996-5>.
- Vídeo performance HIFANEXUM. Exposição Em Meio#16. Museu Nacional da República – Brasília. YouTube, [s.d.]. Disponível em: <https://youtu.be/0w3fWbZ5MLA>. Acesso em: 01 dez. 2025.