



SENSORES PIEZORESISTIVOS DE BASE FIBROSA: UMA REVISÃO

Larissa Modesto Nascimento¹, Mariana Pereira Lopes¹, Claudia Merlini², Leonardo Mejia Rincon¹, Fernanda Steffens¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, Brasil (larissa.modesto@posgrad.ufsc.br; fernanda.steffens@ufsc.br)

²Programa de Pós-Graduação em Nanociência, Processos e Materiais Avançados da Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, Brasil

Resumo: No contexto dos têxteis inteligentes, sensores piezoresistivos vêm se destacando por sua capacidade de captar estímulos mecânicos. A revisão investigou o papel dos têxteis piezoresistivos como interface sensível para têxteis eletrônicos. São relatados materiais e técnicas de fabricação que conferem condutividade elétrica a estruturas têxteis flexíveis, dando ênfase para os métodos de integração dos têxteis piezoresistivos na produção de dispositivos para monitoramento.

Palavras-chave: Têxteis inteligentes; Têxteis eletrônicos; Têxteis condutores; Materiais condutores.

INTRODUÇÃO

Os têxteis inteligentes são aqueles capazes de interagir a estímulos de natureza mecânica, térmica, magnética, química, entre outras (Stoppa e Chiolerio, 2014; Syduzzaman et al., 2015; Koncar, 2016; Ramlow et al., 2020; Hossain et al., 2023). A convergência entre as áreas de engenharia têxtil, ciência dos materiais e elétrica impulsionou o desenvolvimento de têxteis com eletrônica inserida, seja com a introdução de eletrônicos rígidos em bases de substratos fibrosos ou com têxteis que apresentam propriedades eletrônicas intrínsecas, esta última sendo mais promissora e de maior interesse (Nascimento et al., 2024; Yang et al., 2024). Estes materiais são chamados de têxteis eletrônicos, derivados do termo em inglês *electronic textiles* ou *e-textiles*, que compõem um subgrupo de têxteis inteligentes sensíveis a estímulos elétricos (Yang et al., 2019).

O avanço da Indústria 4.0 com a internet das coisas (IoT), elevou a percepção da necessidade de produtos e indústrias inteligentes, que proporcionam conectividade e compartilhamento de dados em tempo real. É fato que, em um ambiente movido pela conectividade, os sensores possuem papel fundamental para a conexão entre dispositivos e o ambiente (Khan et al., 2023). Essa funcionalidade atende diferentes áreas, como saúde, esporte, indústrias e comércio. No entanto, os materiais comumente utilizados para o desenvolvimento de sensores envolvem elementos de eletrônica convencional, caracterizados pela sua rigidez. Assim, os *e-textiles* tornam-se uma opção promissora, por se tratar de uma superfície presente no cotidiano da população mundial, além de apresentar flexibilidade, leveza e conforto (Yang et al., 2019; Khan et al., 2023). Atualmente, há diversas tecnologias

emergentes para produção de sensores, dentre as quais está a piezoresistividade. Os sensores baseados na piezoresistividade estão em ascensão e são extremamente interessantes para aplicações têxteis.

Dentro dos *e-textiles* (convergência entre eletrônica e têxteis, em inglês) encontram-se os *wearables* têxteis, mais um veículo que transporta informação para a IoT (Xue, 2019). O termo *wearable* pode ser traduzido como tecnologia vestível e inclui produtos como relógios e vestuários com eletrônica embutida (Bierhalz et al., 2022). É mais desejável produzir um *wearable* a partir de substratos fibrosos como fibras, fios, tecidos e outras bases têxteis que desempenham papel eletrônico devido a característica de leveza, conforto e flexibilidade que esses materiais apresentam.

O mecanismo de funcionamento de um material piezoresistivo parte da variação da resistividade quando ele sofre uma deformação (Pan et al., 2023). Esse efeito, diferentemente do efeito piezoelétrico, não é capaz de gerar sinal elétrico. Assim, o sistema precisa ser alimentado por uma fonte de tensão. O efeito piezoresistivo pode ser justificado pela Lei de Ohm, que afirma que quando um sistema alimentado por uma tensão sofre uma deformação que altera sua resistência, a corrente elétrica também é alterada (Fiorillo et al., 2018).

A redução da resistividade de um material implica diretamente no aumento da sua condutividade elétrica (Xie et al., 2024). Um material condutor é aquele que permite fluxo de corrente elétrica em uma ou mais direções, enquanto um material isolante apresenta uma elevada resistividade, dificultando que cargas elétricas sejam transferidas em sua superfície (Alexander e Sadiku, 2013; Raji et al., 2017).



Materiais têxteis, em sua maioria, não são bons condutores elétricos. Como resolução disso, modificações podem ser realizadas para que materiais fibrosos apresentem condutividade semelhante aos dos semicondutores e condutores (Xie et al., 2024). Uma abordagem que tem se tornado comum é a modificação de têxteis através do revestimento utilizando polímeros intrinsecamente condutores (Knittel e Schollmeyer, 2009). Materiais têxteis condutores de eletricidade podem ser obtidos também através do uso de fios condutores, que podem ser produzidos a partir de fios metálicos, fios híbridos feitos de fios metálicos e fios convencionais, fios laminados com filmes condutores, fios revestidos com soluções condutoras, fios provenientes de nanomateriais e fios de elevado desempenho que apresentam, devido a sua matéria-prima, boas propriedades de condutividade (Raji et al., 2017).

Dessa forma, o efeito piezoresistivo em materiais têxteis é interessante para a detecção da deformação através da diferença de capacidade condutora gerada. Por conta de sua propriedade física, os sensores piezoresistivos apresentam fácil leitura de sinal, escalabilidade, baixo consumo de energia e baixo custo de fabricação (Yang et al., 2024). Apresentam também excelente sensibilidade, flexibilidade, durabilidade e biocompatibilidade, sendo promissores para aplicações em vestuário, com bom desempenho para responder estímulos como impacto (Choudhry et al., 2020; Tan et al., 2021).

Portanto, este estudo consiste em uma revisão da literatura para verificar o cenário de sensores piezoresistivos a partir de substratos têxteis. É apresentado, formas de obtenção/modificação de têxteis condutores que apresentem propriedade piezoresistiva e as possibilidades de aplicações disponíveis para essa tecnologia.

MATERIAL E MÉTODOS

A priori, realizou-se uma análise bibliométrica através da base de dados Web of Science, ativando o filtro para resultados apenas de artigos científicos. Essa análise teve o objetivo de avaliar o cenário de pesquisas na área de sensores têxteis piezoresistivos nos últimos cinco anos (2020-2024). As palavras-chaves em inglês mostradas na Tabela 1 foram combinadas com o operador lógico booleano AND e/ou uso de aspas, como método de filtro de pesquisa. Para o levantamento de estudos citados nesta revisão, buscas foram realizadas nas bases de dados Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar, filtrando artigos exclusivamente em língua inglesa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliométrica é um método quantitativo que permite identificar a quantidade de publicações científicas relacionadas a determinados termos em um período específico. Neste estudo, a

análise foi utilizada para levantar o número de artigos publicados nos últimos cinco anos contendo termos relacionados aos sensores têxteis piezoresistivos. A base de dados Web of Science foi selecionada pelo seu carácter multieditorial, disponibilizando artigos de várias editoras e várias áreas de conhecimento. Além disso, é uma base indicada para obter métricas científicas, pois disponibiliza a ferramenta de análise de citações que apresenta o índice H do tema. Essa ferramenta quantitativa revela o impacto e a relevância das pesquisas realizadas, pois mede quanto esses artigos estão sendo citados. A citação desses estudos apresenta grande importância no momento de avaliação da sua relevância científica, pois indica consenso de certas ideias dentro daquele tema. Entretanto, a avaliação da coleta desses dados deve levar em consideração a especificidade do tema, pois quanto maior a especificidade, menor pode ser o seu índice H devido à falta de volume e consolidação do campo de pesquisa. Essa abordagem possibilita mapear a produção acadêmica recente, ajudando a compreender a evolução e a relevância do tema pesquisado.

Tabela 1. Análise bibliométrica de 2020 a 2024.

Palavra-chave	2020	2021	2022	2023	2024
Piezoresistive AND sensors	476	565	683	621	787
"Piezoresistive sensors"	85	106	154	156	172
Piezoresistive AND textile AND sensors	23	37	48	33	36

Através da Tabela 1, nota-se um comportamento crescente de pesquisas relacionadas as palavras-chaves *Piezoresistive AND sensors* e *"Piezoresistive sensors"*, evidenciado na Figura 1. Um comportamento mais sutil é visto para *Piezoresistive AND textile AND sensors*, demonstrando que a especificidade do tema afeta o volume de produção científica. Além disso, nota-se que se trata de um tema ainda recente, em fase de consolidação, com um total de 177 pesquisas nos últimos cinco anos. Entretanto, através da análise de citações, é possível avaliar sua relevância, sendo citados por 3456 estudos distintos e sem considerar autocitações.

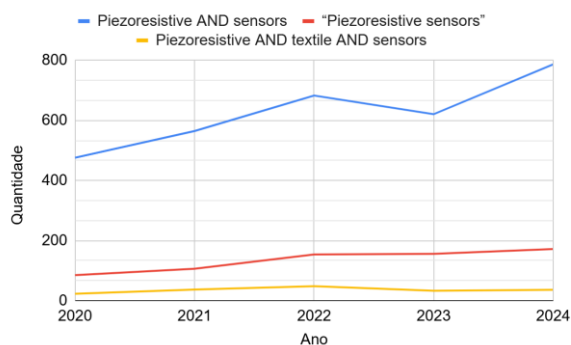


Figura 1. Crescimento de artigos científicos dentro do tema abordado nos últimos cinco anos

Dentre os assuntos abordados nos estudos publicados, a condutividade elétrica do material têxtil é um fator notoriamente investigado para o desenvolvimento de um sensor piezorresistivo. Para converter um têxtil isolante em um têxtil condutor de eletricidade, materiais e métodos distintos podem ser aplicados. As descrições de diferentes processos de fabricação de um sensor são encontradas na literatura. Estes métodos de processamento são, normalmente, desenvolvidos de acordo com a intenção de aplicação do dispositivo estabelecida pelo estudo. Para o avanço da área, o entendimento de materiais condutores, métodos de fabricação e aplicações torna-se crucial.

1. Materiais condutores

Materiais têxteis que apresentam boas propriedades de condução elétrica podem substituir os metais em dispositivos eletrônicos, sendo vantajoso no desenvolvimento de *e-textiles*, principalmente para aplicações em vestuários (Rattfalt et al., 2007; Ding et al., 2024). Os materiais condutores para modificações em têxteis podem ser divididos em tintas condutoras, polímeros intrinsecamente condutores e compósitos de polímeros condutores (Tseghai et al., 2020).

1. Tintas condutoras

Metais como cobre, prata e ouro são utilizados para produção de tintas condutoras. Dentre os três, a prata é a melhor opção, pois a tinta em ouro possui um elevado custo e a tinta em cobre sofre com a oxidação em condições atmosféricas não controladas. Essas tintas são encontradas comercialmente e são normalmente usadas para circuitos de baixa tensão em superfícies flexíveis (Kazani et al., 2012). Além desses metais, materiais derivados de carbono como pó de grafite, grafeno e nanotubos de carbono também são utilizados (Camargo et al., 2021). O estudo de Yang e Wang (2016) relata o uso de polímeros como outro material condutor para as tintas.

Para a formulação de uma tinta, é necessário que haja um material condutor, normalmente partículas e prata ou carbono, que será introduzido em uma matriz de retenção (Fernandes et al., 2020).

Geralmente, são utilizados três componentes principais para produção de tintas condutoras. O primeiro deles é o material condutor, o segundo é um solvente, criando uma suspensão de material condutor e o terceiro é um agente aglutinante para agregar as partículas condutoras (Camargo et al., 2021). Uma das maiores dificuldades na produção das tintas condutoras está em criar uma fórmula que se adeque aos diferentes métodos de impressão, que incluem jato de tinta, serigrafia e flexografia (Yang e Wang, 2016).

A serigrafia, processo de impressão em tecidos ao aplicar pressão sobre a tinta presente em uma tela ou cilindro, com auxílio de um rodo ou vareta, é um método consolidado para fabricação de têxteis com propriedades eletrônicas (Dimitriou e Michailidis, 2021). Outro método que tem sido amplamente investigado é a impressão por jato de tinta, que envolve o armazenamento da tinta em cartuchos e deposita no material a quantidade exata de partículas eletricamente carregadas através de bicos. Esse método é interessante por ser de baixo custo, fabricação simples, que se adequa a vários substratos e que evita desperdícios (Fernandes et al., 2020). Algumas aplicações em que as tintas condutoras são utilizadas são *wearables*, dispositivos de comunicação 5G, etiquetas de identificação por radiofrequência, células solares, veículos de nova energia, displays orgânicos emissores de luz, entre outros (Qin et al., 2023).

2. Polímeros intrinsecamente condutores

A condutividade dos polímeros intrinsecamente condutores (PICs) foi descoberta em 1977 (Nambiar e Yeow, 2011). Os PICs demonstram propriedades eletrônicas decorrente de uma cadeia principal de elétrons π conjugados (Kaur et al., 2015). Os principais polímeros condutores incluem poliacetileno, politiofeno, polipirrol, polifenileno e polianilina. A condutividade elétrica desses polímeros é proveniente da presença de elétrons livres que se movem, possibilitando o transporte de carga. O valor de condutividade elétrica (σ) depende da estrutura polimérica, apresentando variações conforme mostra a Tabela 2 (Nezakati et al., 2018).

Tabela 2. Condutividade elétrica dos principais PICs.

Polímero Condutor	σ (S/cm)
Poliacetileno	10^5
Politiofeno	$10^0 - 10^3$
Polipirrol	2 – 100
Polifenileno	$10^{-3} - 10^3$
Polianilina	$10^{-2} - 10^0$

O método de polimerização *in situ* é muito utilizado para a polianilina e o polipirrol. É um



processo adequado para têxteis, pois o polímero pode ser depositado diretamente sobre a superfície (Knittel e Schollmeyer, 2009; Merlini et al, 2014). A polimerização *in situ* de polímeros condutores é um método simples que ocorre através da oxidação do monômero em solução (Knittel e Schollmeyer, 2009).

Embora os polímeros condutores apresentem condutividade elétrica inferior aos metais, há registros de polímeros sintetizados que alcançaram a faixa de $1,5 \times 10^7$ (S/m), valor tão elevado quanto a de alguns metais (Callister e Rethwisch, 2018). Algumas vantagens dos polímeros condutores estão em características como leveza, resistência à corrosão, baixo custo e processabilidade (Wang et al, 2019).

3. Compósitos de polímeros condutores

Os materiais poliméricos são bons isolantes elétricos, no entanto, a adição de materiais condutores como fibras de carbono, pó de carbono e grafite podem aumentar a condutividade elétrica (Clingerman et al., 2002; Zhang et al., 2007). Embora o desenvolvimento de polímeros condutores esteja demonstrando resultados promissores de condutividade, esses materiais apresentam desvantagem de resistência mecânica. Semelhantemente, metais apresentam boa condutividade e resistência mecânica, mas não são flexíveis (Tseghai et al., 2020). A união dessas propriedades pode ser obtida através da produção de compósitos.

Os compósitos de polímeros condutores (CPCs) são produzidos a partir da mistura de partículas condutoras em uma matriz polimérica isolante (Radzuan et al., 2017). Os principais materiais para compósitos condutores são metais e carbono. Os metais são utilizados em forma de pó, flocos, fibras revestidas de metal e nanofios metálicos. Já o carbono é usado em forma de nanotubos, fibra e pó (Huang et al., 2019). Dependendo da resistividade dos CPCs, eles podem ser aplicados como materiais antiestáticos, blindagem de interferência eletromagnética, sensores e condutores (Pang et al., 2014).

II. Técnicas de fabricação de sensores

O estudo de Carvalho et al. (2018) investigou um método para fabricação de um sensor piezoresistivo. O dispositivo foi elaborado em um formato sanduíche, com um tecido de poliamida revestido com metais condutores (estanho, cobre e prata) para constituir camadas externas que agiram como eletrodos, ilustrado na Figura 2. Já para a camada intermediária, o dispositivo contou com o material piezoresistivo comercial Linqstat, da Caplinq, que é um filme de polietileno com carga de carbono. Para junção dessas camadas, a pesquisa abordou duas opções de materiais termoplásticos de poliolefinas, com pontos de fusão diferentes. Assim, a união por colagem através desses materiais foi piezoresistivo do sensor quando submetido a pressão.

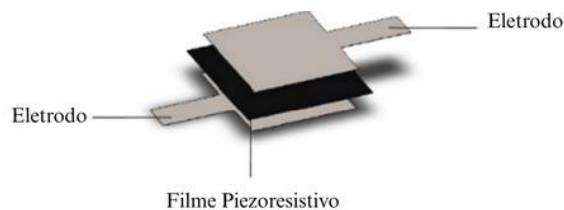


Figura 2. Construção do dispositivo.
Adaptado de Carvalho et al. (2018).

Altaf et al. (2020) desenvolveram um sensor de deformação piezoresistivo ultrasensível através do revestimento com nanotubos de carbono e nanopartículas de prata em um tecido de poliéster e algodão. O revestimento foi realizado em dispersão ultrassônica, no qual primeiramente foi adicionado as nanopartículas de prata para revestimento do tecido e em sequência os nanotubos de carbono, formando um revestimento híbrido. Para a montagem do dispositivo, foi costurado no tecido revestido, chamado de eletrodo, fios de cobre em duas bordas opostas, como mostra a Figura 3. O estudo produziu três tipos de amostra: o primeiro tipo não passou por pré-tensão antes do revestimento, o segundo tipo foi submetido a 25x25% de pré-tensão ao longo das direções da amostra e o terceiro com pré-tensão de 50x50%. Por fim, concluíram que a amostra sem pré-tensão apresentou uma alta sensibilidade, notando rapidamente o estímulo. Apresentou também uma variação muito grande na resistência elétrica ao sofrer deformação; entretanto, a estabilização da resistência foi demorada. Enquanto a amostra que sofreu maior pré-tensão, demonstrou ser menos sensível, mas muito mais estável em relação a resistência elétrica, apontando uma vida útil maior. A pesquisa concluiu que há uma visível vantagem de produção e custo no desenvolvimento de sensores diretamente em têxteis, colhendo resultados de tempo de resposta do sensor muito promissoras, na faixa de 80 ms.



Figura 3. Sensor desenvolvido por Altaf et al. (2020).

Outro estudo que desenvolveu uma técnica de revestimento em tecido foi apresentado por Chen et al. (2022). No trabalho em questão, os autores utilizaram um tecido de algodão (CF) que foi revestido com polianilina (PANI), pelo método de polimerização *in situ*. A amostra revestida foi submetida a deposição por arco a vácuo catódico com filtração magnética (DAVCF), formando um filme sobre a superfície. Assim, através do processo DAVCF dois tipos de tecidos foram preparados, um utilizando Níquel (Ni) e outro usando Cobre (Cu), formando as amostras Ni/PANI/CF e Cu/PANI/CF,

respectivamente. Após os processos de revestimento, a alta resistência elétrica do algodão cru é consideravelmente melhorada, sendo a superfície Cu/PANI/CF com maior condutividade. Para a montagem do sensor, os dois tecidos preparados foram autocolados face a face e conectados por tiras de cobre nas duas extremidades. Posteriormente, os tecidos foram encapsulados com um filme plástico, como demonstra a Figura 4. Os testes de piezoresistividade demonstraram o funcionamento do sensor. A dupla camada condutora aumenta a eficiência do dispositivo, assim, quando o tecido recebe a aplicação de pressão, o ar que ocupa os espaços entre as camadas é retirado, aumentando o contato e facilitando o transporte de cargas elétricas. Por isso, quando o sensor é pressionado, a resistência decai consideravelmente, elevando a corrente. Quando a pressão é removida, o sensor retorna ao seu estado natural, reduzindo a corrente. O sensor desenvolvido apresentou excelente tempo de resposta de 30 ms, ótima sensibilidade e boa estabilidade, mantendo-se quase que inalterado mesmo após 5000 ciclos de carga/descarga.

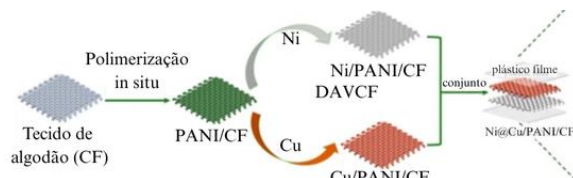


Figura 4. Processo de desenvolvimento.

Adaptado de Chen et al. (2022).

Um trabalho recente publicado por Cheng et al. (2025) propôs um sensor piezoresistivo baseado em uma malha por trama produzida com fios de poliamida revestidos com prata e elastano. Essa malha foi revestida com polidimetilsiloxano (PDMS). Fios condutores de cobre foram conectados nas extremidades do eletrodo com auxílio de uma pasta de prata condutora, como observado na Figura 5. O revestimento das camadas externas com PDMS foi interessante devido as propriedades de tração do PDMS que aprimoraram a capacidade de recuperação da malha, ao mesmo tempo que protege do ambiente externo. O estudo provou que o sensor de deformação criado é promissor devido a sensibilidade apresentada, estabilidade e durabilidade (5000 ciclos de alongamento/relaxamento).



Figura 5. Sensor de tecido/PDMS desenvolvido por Cheng et al. (2025).

III. Aplicações

A literatura relata diversas propostas de sensores piezoresistivos para monitoramento. O atual cenário tecnológico está voltado para sistemas

integrados. O aumento da demanda de produtos que possibilitem conectividade impulsiona pesquisas que desenvolvam dispositivos interativos e inteligentes. Devido essa nova realidade, os sensores piezoresistivos têxteis são investigados principalmente para biomonitoramento através de tecnologia vestível, ilustrado na Figura 6.

A aplicação de sensores piezoresistivos para monitoramento de sinais vitais tem sido amplamente explorada. Em Zhang et al. (2018) um sensor tendo como base um tecido de seda com nanofios de prata conseguiu monitorar em tempo real o movimento humano, sentindo a flexão do braço e polegar. Além disso, monitorou também parâmetros de sinais vitais (frequência respiratória e pulso no pescoço).

Já em Tan et al. (2022), fios de algodão foram revestidos com óxido de grafeno reduzido para fabricação de um sensor bordado que atuou como um sensor de respiração. Outro trabalho também publicado em 2022 descreve a produção de um sensor que conta com uma camada de tecido de algodão tratado com carbono unido a um tecido 3D spacer. Em posse do sensor, Choi et al. (2022) monitoraram biosinais como pulso no punho, fala e respiração diafragmática, assim como movimentos articulares dos dedos, joelhos e pescoço. O dispositivo contou com a integração de um módulo Bluetooth, permitindo o compartilhamento sem fio dos sinais em tempo real.

No estudo de Cheng et al. (2025), mencionado anteriormente, o sensor desenvolvido provou-se capaz de monitorar a contração dos músculos do braço, coxa e da mão através do pulso. O sensor também foi posicionado no dedo, medindo a flexão. Esse monitoramento foi realizado por meio da verificação de aumento e diminuição da resistência elétrica conforme os músculos contraíam/flexionavam e quando relaxavam, respectivamente.

Uma nova proposta de uso dos sensores piezoresistivos foi descrita no trabalho de Hossain et al. (2020). Os autores desenvolveram um dispositivo de controle de estoque para prateleiras de mercado. Para isso, um tecido de poliéster tratado com plasma foi revestido com uma solução de grafite. O tecido semiconductor foi posicionado entre duas camadas de um material condutor, formando uma estrutura sanduíche unida por costura. O monitoramento do estoque foi realizado por intermédio de um controlador de LED, que indicava através do acionamento das luzes a escassez de produto no estoque.

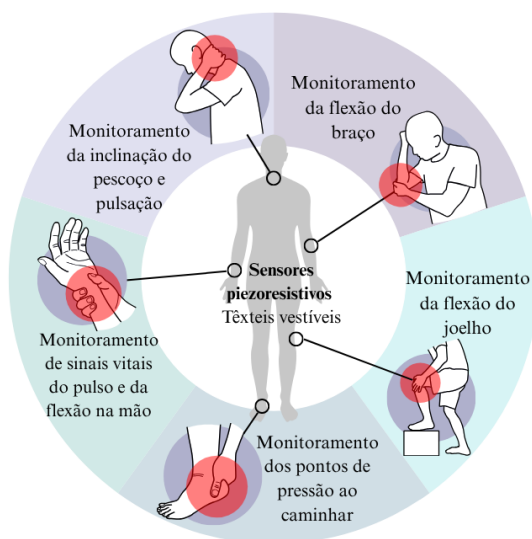


Figura 6. Biomonitoramento com *wearables* piezoresistivos.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, o conceito do efeito piezoresistivo foi apresentado através de pesquisas avançadas em *e-textiles*. A revisão revelou que a integração de componentes eletrônicos em substratos têxteis é muito interessante, pois materiais têxteis proporcionam principalmente flexibilidade e leveza. Além disso, são superfícies presentes no cotidiano da população, proporcionando maior alcance em aplicações tecnológicas que visam o monitoramento de funções biológicas do ser humano.

Com o propósito de desenvolver têxteis eletrônicos flexíveis, é muito importante que todos os componentes eletrônicos possam a partir produzidos a partir de substratos 100 % fibrosos. Para isso, é necessário que avanços em materiais e métodos de processamento sejam aprimorados para que superfícies têxteis tornem-se adequadas para fabricação de sensores, atuadores, alimentadores, conectores, entre outros elementos.

A ciência, atualmente, enfrenta a dificuldade de construir sistemas eletrônicos inteiramente têxteis. Por conta disso, pesquisas que desenvolvem e aprimoram soluções eletrônicas têxteis possuem grande relevância. Este trabalho dedicou-se a apresentação sucinta de estudos que demonstraram resultados importantes para o avanço de sensores piezoresistivos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES, através do Programa de Bolsas de Mestrado (DS).

REFERÊNCIAS

Alexander, C.K. e Sadiku, M.N.O. Fundamentos de circuitos elétricos. AMGH, Porto Alegre, 2013.

Altaf, M.; Rehman, B.; Rehman, A.; Sonil, N.I.; Atiq, S.; Riaz, S.; Naseem, S. e Ullah, Z. Ultrasensitive piezoresistive strain sensors based on CNTs/Ag-NPs coated highly stretchable textile. *J Mater Sci: Mater Electron*, 31, 9870–9877, 2020.

Bierhalz, A.C.K.; Forno, A.J.Dal; Immich, A.P.S.; Fiamoncini, E.F.; Maestri, G.; Gauche, H.; Schmidt, H.; Missfeld, V.F.; Correa, V.H.M. e Kreutzfeld, V. Inovações e funcionalidades têxteis. In: Aguiar, C. R. L. (org.): Engenharia têxtil uma abordagem simplificada. Florianópolis: Editora UFSC, 2022. cap. 8, p. 251-305.

Camargo, J.R.; Orzario, L.O.; Araújo, D.A.G.; Oliveira, P.R. de; Kalinke, C.; Rocha, D.P.; Santos, A.L.; Takeuchi, R.M.; Munoz, R.A.A.; Bonacin, J.A. e Janegitz, B.C. Development of Conductive Inks for Electrochemical Sensors and Biosensors. *Microchemical Journal*, 164, 1-13, 2021.

Carvalho, H.; Tama, D.; Gomes, P.; Abreu, M.J.; Yao, Y. e Souto, A.P. Flexible piezoresistive pressure sensors for smart textiles. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 459, 1-7, 2018.

Chen, F.; Liu, H.; Xu, M.; Ye, J.; Li, Z.; Qin, L. e Zhang, T. Fast-response piezoresistive pressure sensor based on polyaniline cotton fabric for human motion monitoring. *Cellulose*, 29, 6983–6995, 2022.

Cheng, X.; Shen, D.; Zheng, K.; Wu, Z. e Shi, L. A wearable strain sensor for medical rehabilitation based on piezoresistive knitting textile. *Sensors and Actuators: A. Physical*, 387, 1-11, 2025.

Choi, H.; Sun, J.; Ren, B.; Cha, S.; Lee, J.; Lee, B-M.; Park, J-J.; Choi, J-H. e Park, J-J. 3D textile structure-induced local strain for a highly amplified piezoresistive performance of carbonized cellulose fabric based pressure sensor for human healthcare monitoring. *Chemical Engineering Journal*, 450, 1-11, 2022.

Choudhry, N.A.; Rashid, A.; Ahmad, S.; Arnold, L. e Wang, L.J. Design, Development and Characterization of Textile Stitch-Based Piezoresistive Sensors for Wearable Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 20, 10485-10494, 2020.

Clingerman, M.L.; King, J.A.; Schulz, K.H. e Meyers, J.D. Evaluation of Electrical Conductivity Models for Conductive Polymer Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 83, 341–1356, 2002.

Dimitriou, E. e Michailidis, N. Printable conductive inks used for the fabrication of electronics: an overview. *Nanotecnologia*, 32, 1-24, 2021.

Fernandes, I.J.; Aroche, A.F.; Schuck, A.; Lamberty, P.; Peter, C.R.; Hasenkamp, W. e Rocha, T.L.A.C. Silver nanoparticle conductive inks: synthesis,



characterization, and fabrication of inkjet-printed flexible electrodes. *Scientific Reports*, 10, 1-11, 2020.

Fiorillo, A.S.; Critello, C.D. e Pullano, S.A. Theory, technology and applications of piezoresistive sensors: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 281, 156-175, 2018.

Hossain, R.; Ahmed, R. e Alam, S. Smart Textiles. *Textile Progress*, 55, 47-108, 2023.

Huang, Y.; Kormakov, S.; Ele, X.X., Gao, X.L.; Zheng, X.; Liu, Y.; Yao, S.J. e Wu, D. Conductive Polymer Composites from Renewable Resources: An Overview of Preparation, Properties, and Applications. *Polymers*, 11, 2019.

Khan, A.; Rashid, M. e Hossain, G. Industrially Scalable Piezoresistive Smart-Textile Sensor for Flexible Electronics Application. *ACS sensors*, 8, 2023.

Kaur, G.; Adhikari, R.; Cass, P.; Bown, M. e Gunatillake, P. Electrically conductive polymers and composites for biomedical applications. *RSC Adv.*, 5, 37553–37567, 2015.

Kazani, I.; Hertleer, C.; Mey, G.De; Schwarz, A.; Guxho, G. e Langenhove, L.V. Electrical Conductive Textiles Obtained by Screen Printing. *Fibres e Textiles in Eastern Europe*, 20, 57-63, 2012.

knittel, D. e Schollmeyer, E. Electrically high-conductive textiles. *Synthetic Metals*, 159, 1433-1437, 2009.

Koncar, V. Smart Textiles and Their Applications. *Woodhead Publishing Series in Textiles*, 178, 2016.

Nambiar, S. e Yeow, J.T.W. Conductive polymer-based sensors for biomedical applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 26, 1825-1832, 2011.

Nascimento, L.M.; Porto, B.; Bessa, G.C.; Rincon, L.M. e Steffens, F. Light transmission in knitted fabrics through polymeric optical fiber insertion for advanced textile applications. *Materials Today Communications*, 40, 2024.

Nezakati, T.; Seifalian, A.; Tan, A. e Seifalian, A.M. Conductive Polymers: Opportunities and Challenges in Biomedical Applications. *Chemical Reviews*, 118, 6766-6843, 2018.

Pan, H.; Chen, G.; Chen, Y.; Carlo, A. Di; Mayer, M.A.; Shen, S.; Chen, C.; Li, W.; Subramaniam, S.; Huang, H.; Tai, H.; Jiang, Y.; Xie, G.; Su, Y. e Chen, J. Biodegradable cotton fiber-based piezoresistive textiles for wearable biomonitoring. *Biosensors and Bioelectronics*, 222, 2023.

Pang, H.; Xu, L.; Yan, D.X. e Li, Z. Conductive polymer composites with segregated structures. *Progress in Polymer Science*, 39, 1908-1933, 2014.

Qin, Y.F.; Ouyang, X.; Lv, Y.; Liu, W.; Liu, Q. e Wang, S. A Review of Carbon-Based Conductive Inks

and Their Printing Technologies for Integrated Circuits. *Coatings*, 13, 1-23, 2023.

Raji, R.K.; Miao, X. e Boakye, A. Electrical Conductivity in Textile Fibers and Yarns – Review. *AATCC Journal of Research*, 4, 8-21, 2017.

Ramlow, H.; Andrade, K.L. e Immich, A.P.S. Smart Textiles: an overview of recent progress on chromic textiles. *The Journal of The Textile Institute*, 112, 152-171, 2021.

Stoppa, M. e Chiolerio, A. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors*, 14, 2014.

Syduzzaman; Patwary, S.U.; Farhana, K. e Ahmed, S. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview. *J Textile Sci Eng*, 5, 2015.

Tseghai, G.B.; Malengier, B.; Fante, K.A.; Nigusse, A.B. e Langenhove, L.V. Integration of conductive materials with textiles structures, an overview. *Sensors*, 20, 1-28, 2020.

Xie, Z.; Ventura, H. e Ardanuy, M. A Review of the Electrical Conductivity Test Methods for Conductive Fabrics. *Textiles*, 4, 284-308, 2024.

Xue, Y. A review on intelligent wearables: Uses and risks. *A review on intelligent wearables: Uses and risks. Hum Behav & Emerg Tech.*, 287-294, 2019.

Wang, Y.M.; Liu, A.; Han, Y. e Li, T. Sensors based on conductive polymers and their composites: a review. *Polymer International*, 69, 7-17, 2019.

Yang, W. e Wang, C. Graphene and related conductive inks for flexible electronics. *J. Mater. Chem. C*, 4, 7193-7204, 2016.

Yang, K.; Isaia, B.; Brown, L.J.E. e Beeby, S. E-textiles for Healthy Ageing. *Sensors*, 19, 2019.

Yang, Y.; Liu, Y. e Yin, R. Fiber/Yarn and Textile-Based Piezoresistive Pressure Sensors. *Advanced Fiber Materials*, 7, 34-71, 2024.

Zhang, W.; Dehghani-Sanij, A.A. e Blackburn, R.S. Carbon based conductive polymer composites, 42, 3408-3418, 2007.

Zhang, H.; Shi, Z.; Zhou, M.; Wang, F.; Xia, Q.; Qiao, Y.; Yu, L. e Lu, Z. Cohesive thermoplastic-assisted patterning and assembly of a textile-supported piezoresistive sensor for monitoring human vital signs. *Smart Materials and Structures*, 27, 1-10, 2018.