



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**UMA ANÁLISE DESCRITIVA DOS TÊXTEIS INTELIGENTES**

**PAULO VITOR ZASIMOWICZ PINTO CALAÇA**

**UBERLÂNDIA - MG**

**2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**UMA ANÁLISE DESCRITIVA DOS TÊXTEIS INTELIGENTES**

**PAULO VITOR ZASIMOWICZ PINTO CALAÇA**

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Amâncio  
Malagoni

**UBERLÂNDIA - MG**

**2022**

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DE MONOGRAFIA DA DISCIPLINA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE PAULO VITOR ZASIMOWICZ PINTO  
CALAÇA, APRESENTADA Á UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM  
17/08/2022.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni  
Orientador – FEQUI/UFU

---

Prof. Dr. Claudio Roberto Duarte  
PPGEQ/UFU

---

M.Sc. Heitor Otacílio Nogueira Altino  
PPGEQ/UFU

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Irene e João, por tudo que fizeram para eu conseguir completar meus sonhos, estudos e conquistas.

Às minhas irmãs, Ana e Érica, que mesmo a milhares de quilômetros de distância, sempre prestaram apoio e incentivaram a continuar estudando.

A todos os meus amigos e colegas de graduação, em especial, do diretório acadêmico de engenharia química, pela oportunidade de conhecê-los e por todos os momentos de felicidade.

A todos que de alguma forma ajudaram ou torceram por essa conquista.

*“É uma verdade profunda e necessária que as coisas profundas na ciência não são encontradas porque são úteis; elas são encontradas porque era possível encontrá-las.”*

*Robert Oppenheimer*

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	ii
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 Têxteis.....	4
2.2 Fibras Têxteis.....	4
2.2.1 Fibras naturais .....	5
2.2.1.1 Fibras de origem animal.....	5
2.2.1.2 Fibras de origem vegetal .....	7
2.2.1.3 Fibras de origem mineral .....	8
2.2.2 Fibras não-naturais .....	8
2.2.2.1 Fibras artificiais ou regeneradas .....	8
2.2.2.2 Fibras sintéticas .....	9
2.3 Têxteis inteligentes .....	10
2.3.1 Sensores .....	11
2.3.2 Atuadores .....	11

2.3.2.1	Atuadores ópticos.....	11
2.3.2.2	Atuadores elétricos.....	12
2.3.2.3	Atuadores térmicos .....	12
2.3.2.4	Atuadores químicos.....	13
2.3.2.5	Atuadores mecânicos .....	13
2.3.3	Comunicação.....	13
2.3.4	Fornecimento de energia.....	14
2.3.5	Processamento de dados.....	15
2.3.6	Interconexões .....	15
2.4	Mercado mundial atual dos têxteis .....	17
3	DISCUSSÃO DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES EXISTENTES .....	20
3.1	Tecnologias emergentes.....	20
3.1.1	<i>Internet of things</i> (IoT) ou Internet das Coisas (IoT).....	20
3.1.2	<i>Artificial Intelligence</i> (AI) ou Inteligência Artificial (IA).....	21
3.1.3	Nanotecnologia .....	21
4	TÊXTEIS INTELIGENTES NA SOCIEDADE E SUAS APLICAÇÕES.....	23
4.1	Esportes.....	23
4.2	Medicina .....	25

4.3	Moda e <i>fashion</i> .....	28
4.4	Proteção .....	30
5	PERSPECTIVAS DOS TÊXTEIS INTELIGENTES NO MUNDO.....	33
6	CONCLUSÃO.....	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.....	4
Figura 2 – Disposição das ligações alfa e beta queratina. ....	6
Figura 3 – Produção de viscose a partir de celulose.....	8
Figura 4 – Produção de acetato a partir de celulose da madeira.....	9
Figura 5 – Produção de poliamida a partir de hexametilenodiamina e ácido adípico. .	10
Figura 6 – Fibra ótica com ranhuras.....	12
Figura 7 – Comunicação BAN e PAN.....	13
Figura 8 – Termômetro elástico produzido pelo IMEC.....	15
Figura 9 – Produção global de fibras em milhões de toneladas. ....	17
Figura 10 – Produção global de fibras em quilogramas por pessoa.....	18
Figura 11 – Comparação da estimativa de tamanho mercado global de têxteis inteligentes de 2018 a 2025 (em bilhões de dólares americanos).....	19
Figura 12 – Nike Adapt ©.....	24
Figura 13 – <i>Women’s 2.0 Compression Leggings</i> .....	24
Figura 14 – Caixa do produto e interior do pacote.....	25
Figura 15 – Encaixe da peça de vestuário.....	26
Figura 16 – Implante de <i>stent</i> em artéria.....	27
Figura 17 – Representação esquemática da $\beta$ -ciclodextrina.....	28
Figura 18 – Jaqueta de Snowboarding Burton Analog Clone MD.....	29
Figura 19 – Utilização do <i>Spray-on fabric</i> © em modelo. ....	29
Figura 20 – Vestido do projeto “ <i>Intimacy</i> ”.....	30
Figura 21 – Protótipo do PROeTEX interior e exterior da peça de vestuário.....	31

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Níveis de integração dos têxteis inteligentes .....	16
--	----

## RESUMO

O objetivo desta monografia é apresentar os têxteis inteligentes e fornecer algumas inovações e caminhos de desenvolvimento na área até o momento. A milenar indústria têxtil utilizou a capacidade físico-química de fibras naturais e não-naturais para implantar inovações tecnológicas, criando a indústria de têxteis inteligentes, que permite agregação de sensores, atuadores, interfaces de usuário e circuitos complexos a tramas de tecido já conhecidas, gerando valor diferenciado. Através dessa simbiose são criadas vestimentas que integram sensores que leem biosinais, utilizadas tanto por civis como militares; endopróteses expansíveis; roupas que se auto-descontaminam, entre outras. Embora secundária, a área de têxteis inteligentes é ágil e agrega avanços tecnológicos de ponta à produção, tais como internet das coisas (IoT), inteligência artificial e nanotecnologia, movimentando mercado que supera 4 bilhões de dólares. Os têxteis inteligentes encontram-se em crescimento acelerado no mundo, pois os têxteis estão presentes no cotidiano humano e cada vez mais há a necessidade de facilitadores. O mercado mundial de têxteis reafirma a tendência de aumento de tecido por pessoa. Com criação de projetos, incentivo fiscal para as universidades e a cooperação entre estas e indústrias, a Europa tornou-se polo tecnológico na área, o que deve se manter nas próximas décadas.

**Palavras-chaves:** têxteis eletrônicos, sensores, internet das coisas.

## ABSTRACT

The aim of this monograph is to present both smart textiles and provide an overview of the innovations and development paths in the area so far. The millennial textile industry has used the physical-chemical capacity of natural and non-natural fibers to implement technological innovations, creating the smart textiles industry, which allows the aggregation of sensors, actuators, user interfaces, and complex circuits to already known fabric wefts, generating differentiated value. Through this symbiosis are created garments that integrate sensors that read biosignals, used by civilians and the military; expandable stents; and self-contained clothes, among others. Although secondary, the smart textiles area is agile and adds cutting-edge technological advances to production, such as the internet of things (IoT), artificial intelligence, and nanotechnology, a moving market that exceeds 4 billion dollars. Smart textiles are growing fast in the world because textiles are present in daily human life and there is an increasing need for facilitators. The world textile market reaffirms the trend of increasing fabric per person. With the creation of projects, tax incentives for universities, and cooperation between them and industries, Europe has become a technological pole in the area, which should continue in the coming decades.

**Keywords:** electronic textiles, sensors, internet of things

# 1 INTRODUÇÃO

A área de manufatura que transforma fibras em fios, esses em tecidos e em produtos de consumo, a indústria têxtil se adaptou a novas tecnologias e criou tramas denominadas *smart textiles* ou têxteis inteligentes, que vêm revolucionando o mercado, atendendo à demanda dos setores, médico, de moda, *fashion*, militar e até mesmo de esportes. Os têxteis inteligentes podem ser descritos como têxteis capazes de sentir os estímulos do ambiente e de reagir e se adaptar a eles pela integração de funcionalidades na estrutura têxtil (VAN LANGENHOVE; PUERS; MATTHYS, 2005).

Nas últimas duas décadas, a investigação em torno da eletrônica têxtil evoluiu de explorações iniciais em laboratório para áreas industrialmente relevantes. Investigações pioneiras nos anos 90 tratavam integração de linhas condutoras e circuitos em têxteis fabricados. Atualmente, houve aprofundamento da temática, com busca de integração mais densa, adição de sensores, atuadores, interfaces de utilizador e circuitos têxteis complexos (SCHNEEGASS; AMFT, 2017).

O conceito "material inteligente" foi definido pela primeira vez no Japão em 1989. Em retroação, os primeiros materiais têxteis rotulados como "tecido inteligente" foram o fio de seda com memória de forma, nos anos 60, e géis poliméricos inteligentes nos anos 70. Contudo, apenas no final dos anos 90 os materiais inteligentes foram introduzidos nos têxteis. Trata-se de um novo tipo de produto que oferece o mesmo potencial e interesse que os têxteis normais (VAN LANGENHOVE, 2015).

A primeira geração dos têxteis inteligentes surgiu com a interação de empresas gigantes de seus setores, Levi's e Philips, as quais elaboraram roupas com estruturas arquitetônicas em que aparelhos eletrônicos existentes na época, tais como microfone, telefones, MP3, podiam ser guardados no revestimento. Não obstante, o *design* exigia que os aparelhos fossem removidos cuidadosamente antes da lavagem das roupas (VAN LANGENHOVE, 2015). Essa limitação de manutenção dos produtos impulsionou mais estudos e novas fases evolutivas.

No começo do milênio, cita-se três laboratórios de pesquisa que foram pioneiros no desenvolvimento real de produtos de têxteis inteligentes: Georgia Tech, Universidade de Pisa e Universidade de Ghent. Os três tinham como alvo os eletrodos têxteis para monitorização da

frequência cardíaca e respiratória em diferentes aplicações: militar, desportiva e saúde de infantojuvenis, respectivamente (VAN LANGENHOVE, 2015).

De acordo com Lieva van Langenhove, atualmente os têxteis inteligentes preenchem cinco funções básicas que lhes permitem ser integrados e interligados de uma forma rentável, a saber: capacidade de integração a sensores, atuadores, comunicação, fornecimento de energia e processamento de dados. Em cada uma dessas áreas realizaram-se pesquisas e os resultados alcançados encontram-se parcialmente disponíveis. Exemplos atuais serão explorados mais à frente no trabalho (VAN LANGENHOVE, 2015).

Desde o início dessa empreitada tecnológica, a Europa tem investido nos *smart textiles*. Em 2008, finalizou o projeto Clevertex que reuniu tanto empresas como universidades, as quais promoveram esforço mútuo em pesquisa e desenvolvimento, transferência de tecnologia, educação e treinamento baseado na cooperação entre indústria, governo e instituições de pesquisa (SCHWARZ *et al.*, 2010). Como resultado, a Europa está atualmente na vanguarda deste tipo de tecnologia.

Considerando o crescimento, consumo e utilização dos *smart textiles* no cotidiano, sua aplicabilidade em diversos setores, o montante de capital envolvido no âmbito global, surge a necessidade de se analisar e entender os *smart textiles* para compreender melhor as perspectivas futuras do setor.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi realizar um estudo descritivo sobre os têxteis inteligentes, *smart textiles*, apresentando conceitos, definições, tecnologias emergentes e existentes, bem como suas interrelações.

Os objetivos específicos estão listados a seguir:

- apresentar as fibras e os têxteis inteligentes;
- apresentar tecnologias emergentes e sua relação com o desenvolvimento dos têxteis inteligentes;
- apresentar os têxteis inteligentes existentes e suas aplicações nas diversas indústrias.
- elucidar as possibilidades do futuro

Adiante, no Capítulo 2, tem-se uma revisão bibliográfica de conceitos sobre fibras têxteis e têxteis inteligentes, bem com o mercado mundial atual dos têxteis.

A seguir, o Capítulo 3 elucida algumas tecnologias emergentes existentes e suas implicações com os têxteis inteligentes.

No Capítulo 4, sustentam-se avanços no campo dos têxteis inteligentes e suas aplicações nas indústrias e sociedade.

Por subsequente, no Capítulo 5, há a discussão sobre as perspectivas dos têxteis inteligentes no mundo.

E por fim, no Capítulo 6, é trazida a conclusão do trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Têxteis

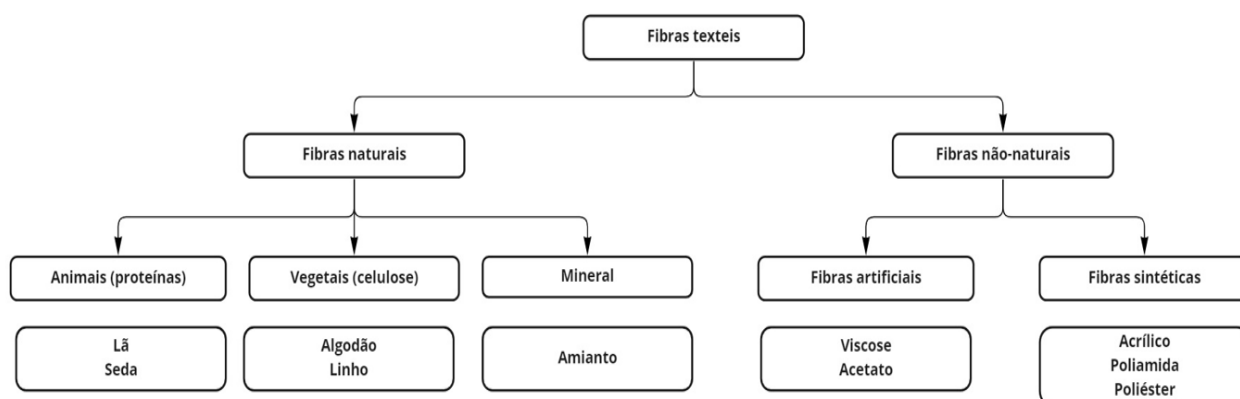
De acordo com Virginia Postrel: “a história global dos têxteis ilumina a natureza da própria civilização” (POSTREL, 2020). Os têxteis existem desde os tempos antigos como um meio principal de proteger o corpo humano do ambiente externo. Os séculos 18 e 19 viram uma grande mudança na tecnologia têxtil quando a revolução industrial levou à produção em massa de têxteis, transformando a indústria têxtil em uma indústria dominante (GHOSH, 2020).

A propriedade físico-química de fibras naturais e não naturais, sua capacidade em serem estruturadas em tramas têxteis, com valor comercial, e, a seguir, receberem componentes eletrônicos permitiram a evolução de simples fibras têxteis a tecidos inteligentes. A seguir, referenciamos e descrevemos brevemente os partícipes de toda essa transformação.

### 2.2 Fibras Têxteis

De acordo com Alcântara e Daltin as fibras têxteis podem ser divididas e classificadas em naturais e não naturais (criadas pelo homem), conforme a Figura 1. (ALCÂNTARA; DALTIN, 1996):

**Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.**



Fonte: Elaborado pelo autor.



## 2.2.1 Fibras naturais

As fibras naturais podem ser de origem animal, vegetal ou mineral. Sendo as mais utilizadas a lã, a seda, o algodão e o linho.

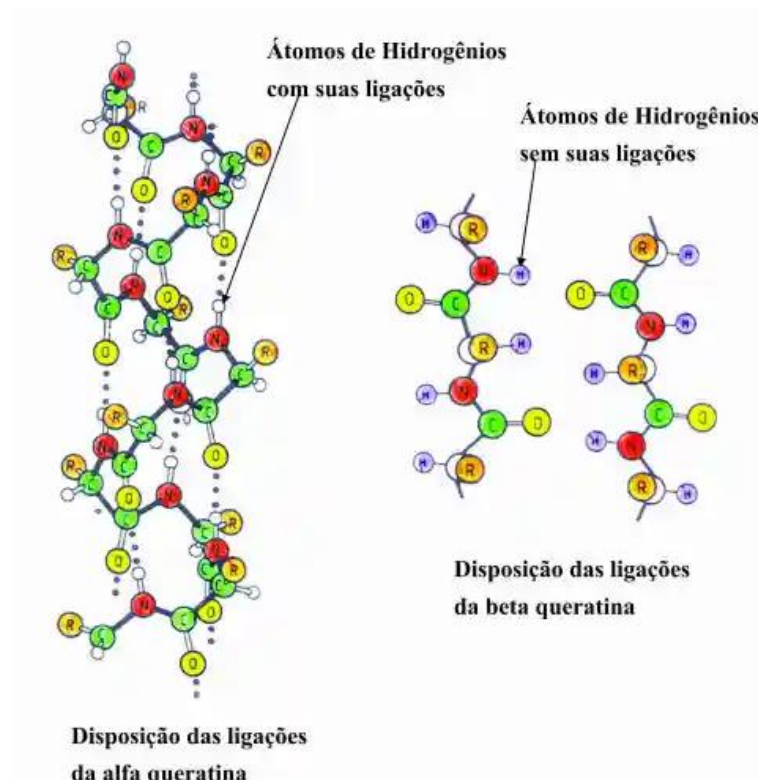
### 2.2.1.1 Fibras de origem animal

#### ➤ Lã

A lã é uma fibra natural composta por polímeros de queratina (polipeptídios) ligados por pontes de cistina (ligação S-S) que dão à fibra características de fixação de formas por calor (por exemplo vincos). A composição elementar da queratina é aproximadamente a mesma para diferentes tipos de lã, porém, o conteúdo de enxofre varia dentro de grandes limites. Ao longo das cadeias de polipeptídios existem aminoácidos que podem adquirir as cargas elétricas, fazendo com que apareçam além das ligações cruzadas, complexas interações entre cadeias adjacentes e entre centros da mesma cadeia polipeptídica (pontes de hidrogênio) (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

Transformações intramoleculares ocorrem de acordo com o tratamento ao qual a lã é submetida, como por exemplo, a mudança da queratina de uma configuração  $\alpha$  (fibra original), na qual as cadeias formam ondulações regulares, para uma configuração  $\beta$  (fibra estirada) onde a fibra se apresenta esticada, ocorre quando a fibra sob tensão é tratada com água quente ou vapor, como mostrado na Figura 2, com a disposição das ligações alfa e beta queratina. Neste caso, o estiramento das cadeias é facilitado por uma ruptura hidrolítica de ligações cruzadas. A água quente também age no sentido de manter as fibras sob tensão, assim os resíduos das ligações rompidas formam novas ligações em outras posições, impedindo a contração e a dobra das cadeias (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

**Figura 2 – Disposição das ligações alfa e beta queratina.**



Fonte: Blog Belevisage<sup>1</sup>.

### ➤ Seda

A seda é uma fibra produzida pelo bicho-da-seda (*Bombyse mori*) e é composta principalmente por 25% de sericina e 65% de fibroína, duas proteínas. A fibroína é caracterizada pelo alto conteúdo de glicina e alanina (75%) e ainda serina e tirosina (25%). Estudos de raios X mostraram que esta fibra pode ser vista como um sistema bifásico, com uma fase fortemente orientada (contendo glicina, alanina e serina) e uma fase amorfa (com resíduos de tirosina, prolina e ácidos carboxílicos), contendo grupos volumosos que impedem o empacotamento regular tornando-a menos orientada (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

Além disto, pode-se considerar a existência de uma estrutura secundária correspondendo à forma  $\beta$ . É interessante notar que a fibroína contida no canal da glândula de secreção do bicho da seda é solúvel em água e, como demonstrado por padrões de raios-X é globular, não tendo

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://belevisage.wordpress.com/2016/04/12/do-freezer-para-as-madeixas-chapinha-ice/>> Acesso em: 14 jul, 2022.

orientação. A formação de cadeias  $\beta$  tem lugar quando o bicho da seda está prestes a fiar. Nestas circunstâncias, a grande pressão que é criada promove o desenrolamento das cadeias polipeptídicas. É possível que certas substâncias, com reações ácidas, produzidas nas paredes glandulares e particularmente nos dutos de saída, comecem a agir neste momento (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

### 2.2.1.2 Fibras de origem vegetal

#### ➤ Algodão

Usado há mais de 7000 anos, o algodão é constituído basicamente de celulose, ceras naturais e proteínas. O grande número de grupos hidroxilas da celulose propicia maior capacidade de absorver água (cerca de 50% do seu peso). A celulose é um polímero rígido, com moléculas assimétricas. Dentro das fibras as macromoléculas estão, de modo geral, arranjadas ao longo do eixo principal (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

O algodão, a pluma das sementes de plantas do gênero *Gossypium*, é a forma mais pura de celulose disponível na natureza. Após a flacidez, forma-se cápsula alongada sobre a planta, dentro da qual crescem as fibras de algodão. Uma vez que as fibras tenham completado seu ciclo de crescimento, a cápsula explode e as fibras emergem. Uma cápsula de algodão contém cerca de 30 sementes (DOCHIA; SIRGHIE *et al.*, 2012).

#### ➤ Linho

O linho, provém do caule da planta de mesmo nome (*Linum resitatisimim*) e contém aproximadamente 70% de celulose. É caracterizado por sua elevada resistência e alta maciez (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

Na planta, as fibras de linho são separadas individualmente, mas agrupadas em feixes completa e firmemente cercados pelo tecido de suporte. Esses têm superfícies lisas e brilhantes, que lhes permitem deslizar livremente uns sobre os outros quando o caule se dobra em todas as direções (KOZLOWSKI; MACKIEWICZ-TALARCZYK, 2012).

### 2.2.1.3 Fibras de origem mineral

#### ➤ Amianto

O amianto é uma fibra mineral natural com larga aplicação comercial e industrial, graças às suas propriedades físico-químicas, que incluem grande flexibilidade e alta resistência química, térmica e elétrica. Também se destaca a facilidade em sua exploração, que traz grandes vantagens econômicas, por possuir preço acessível e grande abundância na natureza (FERREIRA, 2022).

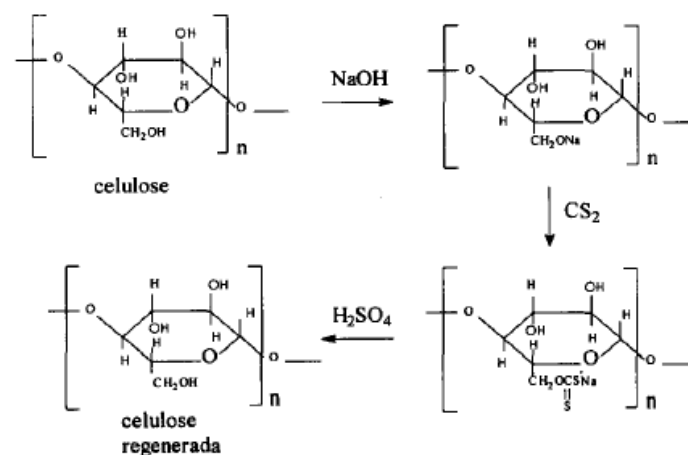
## 2.2.2 Fibras não-naturais

### 2.2.2.1 Fibras artificiais ou regeneradas

#### ➤ Viscose

A viscose é produzida a partir da madeira. Esta é dissolvida em hidróxido de sódio 18% e sofre um batimento com dissulfeto de carbono. A solução obtida, o xantato de celulose, se solidifica ao esfriar. Este produto é dissolvido em uma solução de hidróxido de sódio e é extrusado em fios que são mergulhados em banho coagulante de ácido sulfúrico, conforme explicitado na Figura 3 (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

**Figura 3 - Produção de viscose a partir de celulose.**

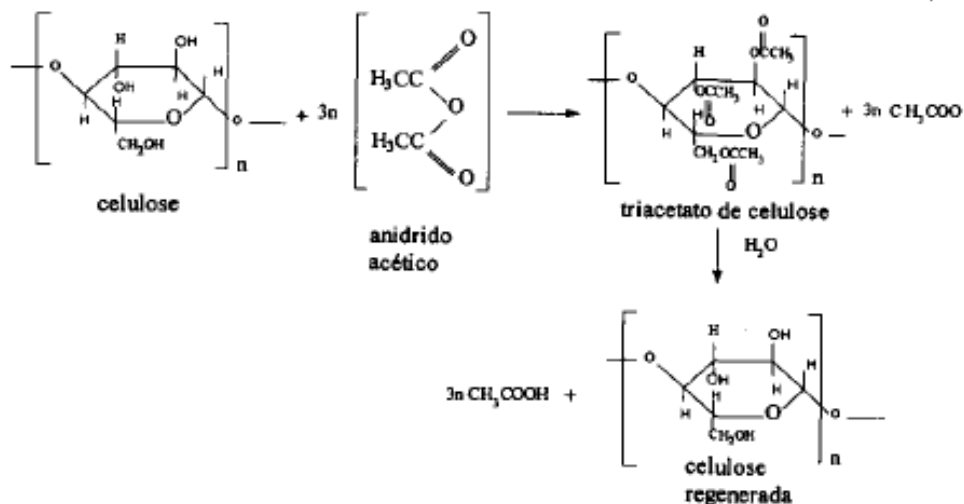


Fonte: Alcântara, Daltin (1996).

➤ Acetato

O acetato também é produzido a partir da celulose da madeira. Esta reage com anidrido acético na presença de ácido acético glacial e ácido sulfúrico como catalisador, obtendo-se o triacetato de celulose. Posteriormente, é adicionada uma pequena quantidade de água de maneira a ocasionar uma saponificação parcial do produto. O acetato de celulose, contendo 53,5 – 56,0 % de ácido acético, é dissolvido numa mistura de acetona/álcool e extrusado em forma de fios, conforme Figura 4. Durante a extrusão o solvente evapora e os filamentos se solidificam (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

**Figura 4 - Produção de acetato a partir de celulose da madeira.**



Fonte: Alcântara, Daltin (1996).

### 2.2.2.2 Fibras sintéticas

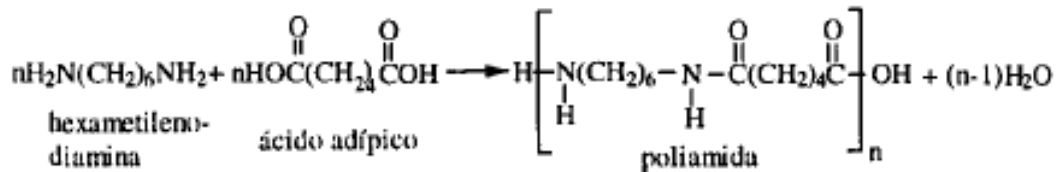
➤ Acrílico

O acrílico é obtido através da polimerização da acrilonitrila em emulsão aquosa utilizando peróxido como catalisador. Como o polímero é insolúvel em água, este precipita no fundo do reator. Este precipitado, após lavagem e secagem, apresenta-se como um pó branco que é dissolvido em dimetilformamida e fiado. Os fios são solidificados por secagem ao ar quente (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

➤ Poliamida

A poliamida é fabricada a partir da reação de ácido adípico e hexametilenodiamina, como demonstrado na Figura 5 (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

**Figura 5 – Produção de poliamida a partir de hexametilenodiamina e ácido adípico.**



Fonte: Alcântara, Daltin (1996).

As poliamidas (PAs) ou nylons estavam entre os primeiros polímeros sintéticos utilizados para aplicações de fibra. As fibras de poliamida são utilizadas em variedade de diferentes aplicações, que vão desde têxteis e tapetes até o reforço de pneus (VASANTHAN, 2009).

➤ Poliéster

O poliéster é obtido através da reação do ácido tereftálico (DMT) com etileno glicol à quente na presença de catalisadores (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996). A fibra de poliéster, especificamente, a fibra de poli (tereftalato de etileno) (PET), é a fibra sintética mais produzida em todo o mundo. O volume total produzido em 2016 excedeu 50 milhões de toneladas, com uma taxa de crescimento muito maior do que qualquer outra fibra, natural ou sintética (JAFFE; EASTS; FENG, 2020).

### 2.3 Têxteis inteligentes

De acordo com José Sánchez uma "fibra inteligente" é definida como “*aquela que pode reagir ante a variação de um estímulo, luz, calor, suor, ferida etc., no lugar onde se produz a variação do estímulo, mas que se comporta como uma fibra normal no local onde este não se produz*” (SÁNCHEZ, 2006). Logo, partindo dessas fibras inteligentes temos os têxteis inteligentes.

Como mencionou-se na introdução, Lieva Van Langenhove explicita as funções básicas preenchidas pelos têxteis inteligentes (VAN LANGENHOVE, 2015).

### 2.3.1 Sensores

De forma resumida, os sensores podem ser considerados dispositivos que tem como função detectar e responder algum estímulo, por exemplo: calor, luz, movimento, campos magnéticos ou tensão elétrica (MATTEDE, 2022).

Na área dos têxteis inteligentes uma variedade de sensores já estão disponíveis no mercado, com níveis variáveis de transformação têxtil, e na fase de protótipo. Os primeiros sensores eram baseados em medições eletromagnéticas, em instrumentos analógicos. Têxteis condutíveis foram e ainda são utilizados em monitoramento de batimentos cardíacos, aspecto importante do projeto europeu *MyHeart*<sup>2</sup>, que desenvolveu têxteis inteligentes para que roupas pudessem ser incorporadas a sensores na área médica (VAN LANGENHOVE, 2015).

### 2.3.2 Atuadores

Atuadores podem ser considerados como sensores inversos: espera-se que os sensores transformem um impulso em um sinal legível (principalmente elétrico), enquanto os atuadores devem responder sobre um sinal que será principalmente elétrico. Os atuadores devem responder como esperado, de forma consistente, rápida e eficiente em termos energéticos (VAN LANGENHOVE, 2015).

Dentre os atuadores existentes temos:

#### 2.3.2.1 Atuadores ópticos

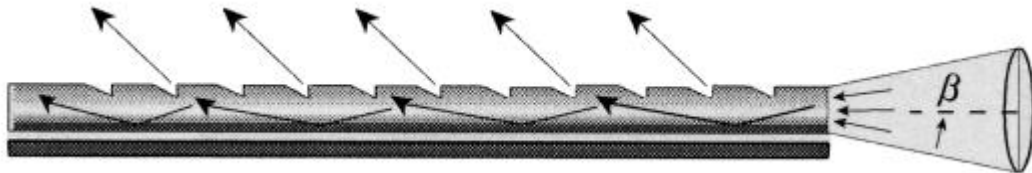
Os atuadores ópticos se baseiam na emissão de luz. Os desenvolvimentos iniciais se concentram na integração de fibras ópticas, os LEDs iluminam as fibras ópticas e a luz é liberada em áreas onde a camada de revestimento foi entalhada com ranhuras, como de acordo

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://cordis.europa.eu/project/id/507816>> Acesso em: 15 jun, 2022.

com a Figura 6. Ao integrar tais fibras em uma estrutura tecida ou tricotada, a área de iluminação pode ser alcançada (VAN LANGENHOVE, 2015).

**Figura 6 - Fibra ótica com ranhuras.**



Fonte: Harlin *et al.* (2003).

### 2.3.2.2 Atuadores elétricos

Os atuadores elétricos utilizam eletrodos têxteis para a eletroestimulação. Essa pode variar de impulsos táteis sobre reações eletroquímicas até a contração ativa de músculos. Geralmente consistem em dois eletrodos entre os quais um campo elétrico é aplicado, onde as condições de corrente dependem do efeito visado (VAN LANGENHOVE, 2015).

### 2.3.2.3 Atuadores térmicos

Os atuadores térmicos podem fornecer aquecimento ou resfriamento. No caso do aquecimento, o princípio se baseia em um material condutor e uma corrente contínua. Embora basicamente seja simples, a principal questão do aquecimento através de materiais têxteis condutores é a distribuição que leva ao superaquecimento local. Em aplicações de aquecimento, a corrente irá se concentrar com o propósito de diminuir a resistência. Essa seguirá o caminho mais curto e passará por áreas com baixa resistência, evitando resistências elevadas, como por exemplo, transferência entre fios. Considerando a não homogeneidade dos materiais têxteis e a complexidade de sua estrutura, a distribuição térmica atual é bastante imprevisível (VAN LANGENHOVE, 2015).

No caso do resfriamento, existe questão desafiadora: os sistemas de resfriamento passivo utilizam processos endotérmicos, como evaporação de água, recristalização e derretimento, com capacidade limitada (VAN LANGENHOVE, 2015).



### 2.3.2.4 Atuadores químicos

Os atuadores químicos liberam agentes químicos de forma controlada. Vários conceitos podem ser aplicados, a exemplo de: microcápsulas, ciclodextrinas, hidrogéis e estruturas de nanofibra (VAN LANGENHOVE, 2015).

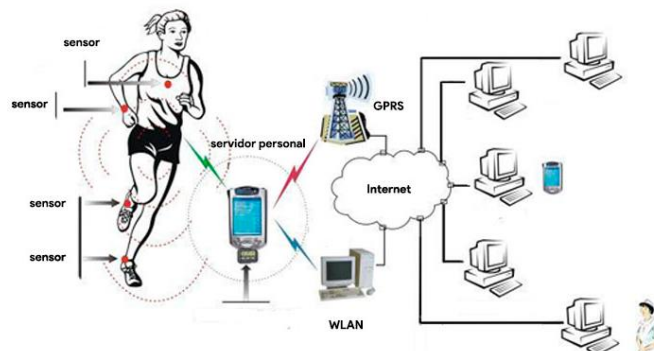
### 2.3.2.5 Atuadores mecânicos

Os atuadores mecânicos existem, porém, contém muitos empecilhos que dificultam sua utilização. Uma vez que ou são lentos, requerem alta tensão, não podem exibir altas forças ou não são reversíveis. Dentre eles incluem os materiais de forma, estruturas multicamada, materiais eletrostáticos e polímeros eletroativos baseado em difusão (VAN LANGENHOVE, 2015).

### 2.3.3 Comunicação

Por comunicação temos a comunicação entre dispositivos eletrônicos. A comunicação BAN (*body area network*), rede de área corporal, bastante utilizada é simples e utiliza de eletrocondutores, junto com fibras e fios ópticos, conforme Figura 7. Já a comunicação sem fio segue como desafio principal para a área de têxteis inteligentes (VAN LANGENHOVE, 2015).

**Figura 7 – Comunicação BAN e PAN.**



Fonte: Site aprendafazer.net<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Disponível em: < <https://aprendafazer.net/redes-de-area-corporal-o-que-sao-tipos-e-para-que-sao-usadas-essas-redes-ban/>> Acesso em: 08 ago. 2022.

Como se sabe, o campo elétrico decresce exponencialmente com a distância entre os elementos, logo os têxteis inteligentes são considerados dispositivos de comunicação BAN. Assim, os estudos se focaram em pequenas e médias distâncias (VAN LANGENHOVE, 2015). Para aumentar esse alcance uma saída foi utilizar de tecnologias PAN (*Personal Area Networks*), rede de área pessoal (YUCE; KHAN, 2012).

#### 2.3.4 Fornecimento de energia

O fornecimento de energia pode ser alcançado através de duas abordagens: o armazenamento de energia e a captação de energia.

O armazenamento de energia pode ser alcançado através de baterias, sendo que baterias capacitivas ou eletroquímicas são as mais usuais. A desvantagem dos capacitores é que a tensão fornecida não é constante. Em ambos os dispositivos, a densidade de armazenamento é limitada, portanto, uma maior capacidade de armazenamento requer aumento nas dimensões do aparelho, que se torna mais volumoso. Em baterias planas, esse volume maior significa uma superfície mais ampla. Baterias flexíveis já estão disponíveis comercialmente, porém, embora sejam flexíveis, elas não são permeáveis, o que limita o conforto térmico do usuário (VAN LANGENHOVE, 2015). Pesquisas estão em andamento em relação as baterias de base têxtil, mas elas estão longe de serem comerciais.

Energia encontra-se disponível no ambiente sob a forma de calor, luz e movimento, e vários mecanismos são conhecidos para a sua colheita. A empresa alemã *Infineon*<sup>4</sup> desenvolveu dispositivo que colhe a eletricidade do calor corporal. Ele foi um dos primeiros componentes têxteis inteligentes laváveis. O protótipo desenvolvido pela *Infineon* tem as dimensões de uma moeda de euro e produz energia suficiente para pequeno sensor. Isto significa que um sensor autônomo pode ser obtido pela integração de sensor local com termogerador. A energia solar é uma tecnologia comumente usada em fotovoltaicos. Hoje as folhas fotovoltaicas flexíveis se tornaram comercialmente disponíveis devido à avanços tecnológicos (VAN LANGENHOVE, 2015).

---

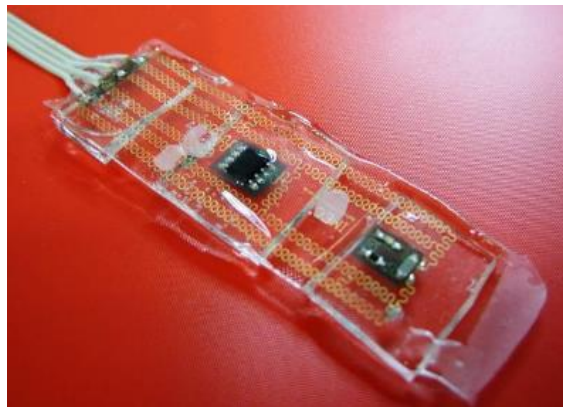
<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.infineon.com/>> Acesso em: 04 jul, 2022.

Já a energia do movimento pode ser capturada de duas maneiras, a saber, usando materiais piezoelétricos e por indução eletromagnética.

### 2.3.5 Processamento de dados

O processamento de dados requer componentes eletrônicos que, inicialmente, eram miniaturizados e encapsulados nos têxteis inteligentes, e, após foram adaptados na forma de placas flexíveis. Um grande passo foi o desenvolvimento de componentes eletrônicos extensíveis, a exemplo de termômetros elásticos desenvolvido pelo IMEC (*Interuniversity Microelectronics Centre*), vide Figura 8, e laváveis (VAN LANGENHOVE, 2015).

**Figura 8 – Termômetro elástico produzido pelo IMEC.**



Fonte: Stella Project<sup>5</sup>.

Segundo Lieva van Langenhove “o desafio atual é desenvolver a eletrônica principalmente ligada a transistores com base em fibra” (VAN LANGENHOVE, 2015).

### 2.3.6 Interconexões


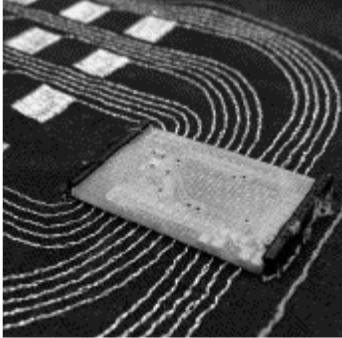
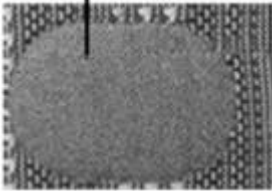
Por interconexões entende-se a integração e interconexão de todos os componentes elétricos ativos à estrutura têxtil (VAN LANGENHOVE, 2015).

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://www.stella-project.de/Innovations/tabid/54/Default.aspx>> Acesso em: 18 jul, 2022.

Segundo Inga Gehrke e Vadim Tenner a “combinação” de eletrônicos e têxteis podem ser interpretadas de várias maneiras. Os sistemas têxteis inteligentes diferem na medida em que seus componentes dos sistemas elétricos são integrados (GEHRKE; TENNER, 2019). A Tabela 1 faz uma distinção entre três níveis de integração de têxteis inteligentes.

**Tabela 1 – Níveis de integração dos têxteis inteligentes.**

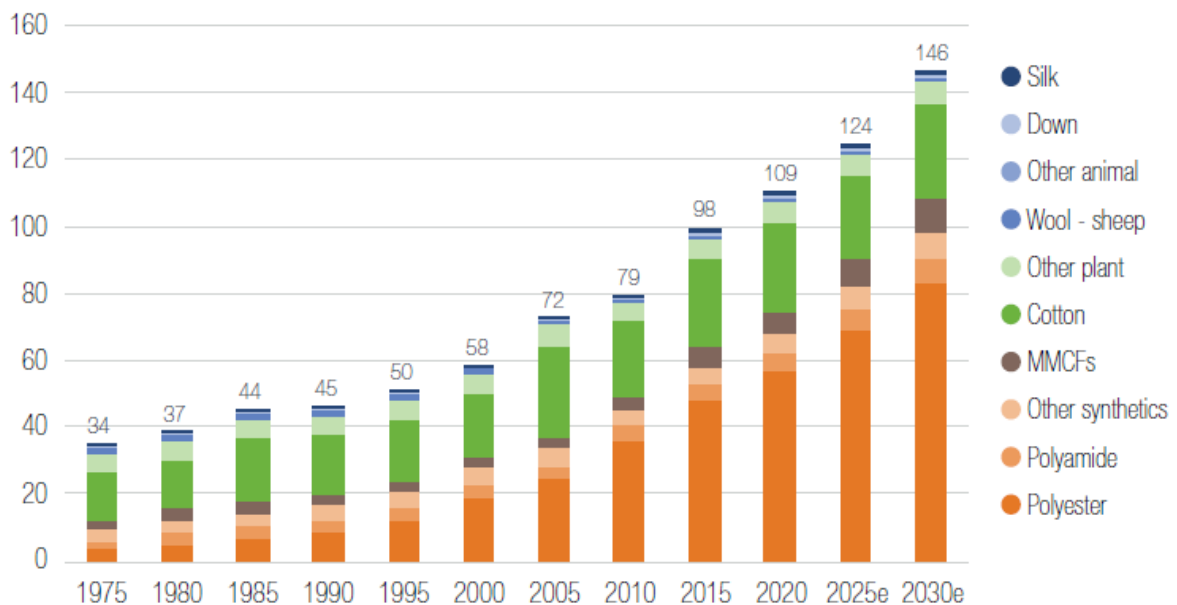
Nível de integração		Exemplos
<b>Têxtil - adaptado</b>		Conexão dos têxteis e os componentes elétricos, através de bolsos costurados ou velcro fixador.
<b>Têxtil – integrado</b>		Componentes elétricos integrados ao têxtil, utilizando fios condutores.
<b>Têxtil - baseado</b>	<p data-bbox="719 1485 943 1518">Eletrodo bordado</p> 	Os próprios têxteis assumem as tarefas dos componentes eletrônicos convencionais.

Fonte: Gehrke, Tenner (2019).

## 2.4 Mercado mundial atual dos têxteis

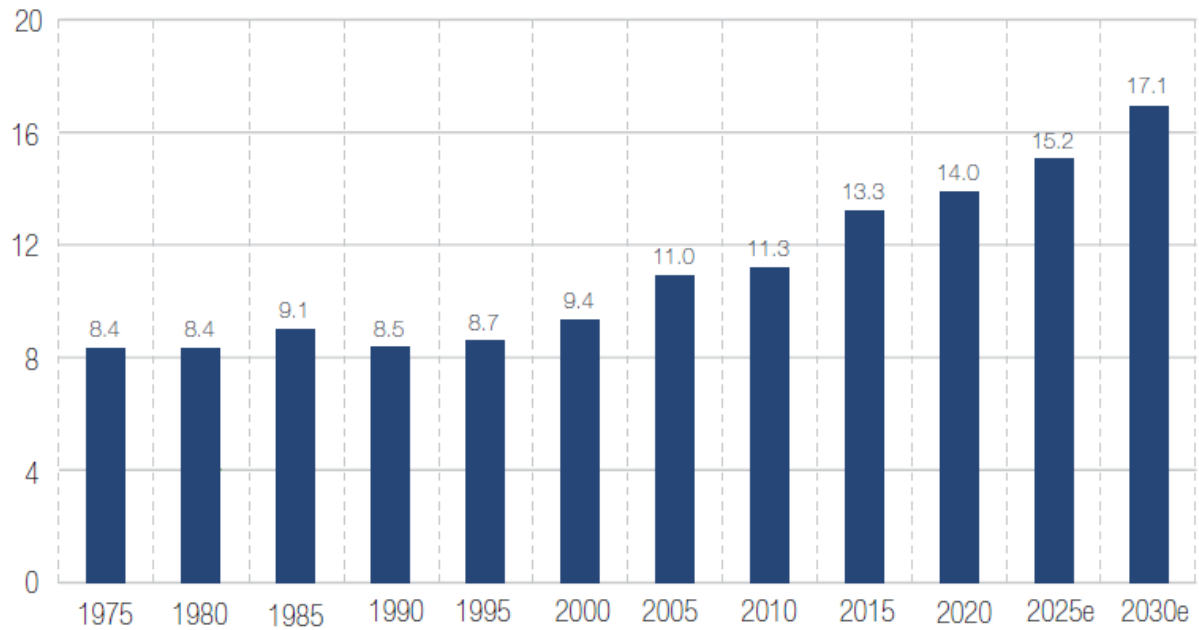
Ao longo dos anos, o consumo e necessidade de utensílios têxteis foram aumentando em todo o mundo. De acordo o *Preferred Fiber and Materials Market Report* (PFMR) da *Textile Exchange*, conforme Figura 9, com os efeitos da pandemia do COVID-19 a produção global de fibras diminuiu de 111 milhões de toneladas em 2019 para 109 milhões de toneladas em 2020, após anos de crescimento de mercado (OPPERSKALSKI, 2021).

**Figura 9 - Produção global de fibras em milhões de toneladas.**



Fonte: Opperskalski (2021).

De acordo com a Figura 9, a produção de fibra quase dobrou nos últimos 20 anos, de 58 milhões de toneladas em 2010 para 109 milhões de toneladas em 2020. Embora ainda não esteja claro como a pandemia e outros fatores afetarão o desenvolvimento futuro, espera-se que haja aumento de 34%, para 146 milhões de toneladas, em 2030, se a indústria retomar os negócios como de costume. Não obstante que a produção global de fibras em quilogramas por pessoa, demonstrado pela Figura 10, acompanha esse aumento (OPPERSKALSKI, 2021).

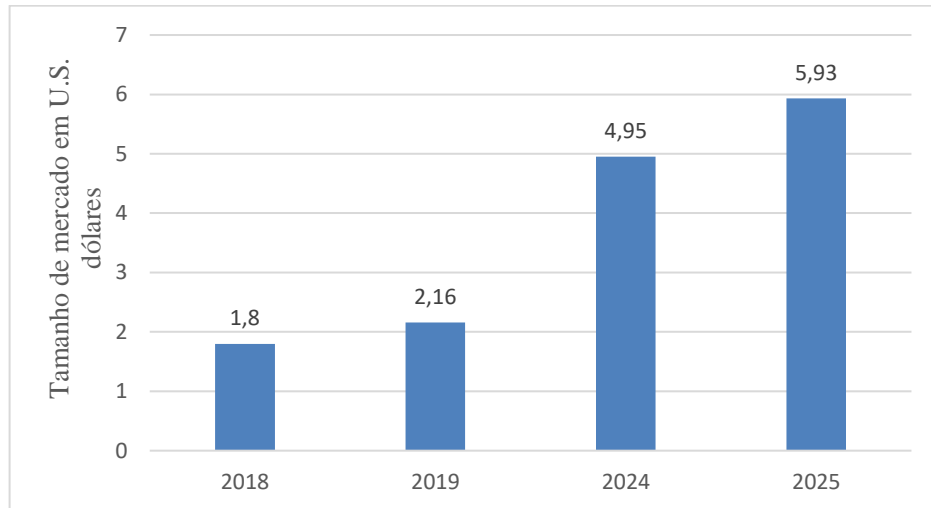
**Figura 10 - Produção global de fibras em quilogramas por pessoa.**

Fonte: Opperskalski (2021).

Pela Figura 10 observa-se que a produção global de fibra por pessoa aumentou de 8.4 quilos por pessoa em 1975 para 14 quilos por pessoa em 2020. O crescimento da produção de fibras tem impacto significativo na sociedade e no planeta (OPPERSKALSKI, 2021). Embora exista consciência ecológica da necessidade de um uso mais responsável dos recursos existentes, e de não atrelar crescimento ao consumo de insumos, as mudanças não acontecem na escala e na velocidade necessárias.

No caso dos têxteis inteligentes, o mercado segue uma tendência que demonstra que houve um aumento de mercado considerável ao longo dos anos e conforme a Figura 11 abaixo, projeções estatísticas mostram que até o ano de 2024 o mercado dos têxteis inteligentes irá ultrapassar 4 bilhões de dólares de valor de mercado de acordo com a estimativa da Mordor Intelligence, empresa de relatórios de inteligência de mercado.

**Figura 11 - Comparação da estimativa de tamanho mercado global de têxteis inteligentes de 2018 a 2025 (em bilhões de dólares americanos).**



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da *Mordor Intelligence* (2020) reproduzida pelo Statista<sup>6</sup>.

O Capítulo 2 trouxe panorama dos integrantes do mundo de têxteis inteligentes. A seguir, discorreu-se sobre tecnologias emergentes e sua influência na área.

---

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/302735/smart-clothing-fabrics-shipments-worldwide/>> Acesso em: 06 jul, 2022.

### **3 DISCUSSÃO DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES EXISTENTES**

No momento a indústria dos têxteis inteligentes está nos seus primeiros passos. A tecnologia para criação dos têxteis inteligentes só surgiu por conta de conjunto de fatores e tecnologias que a antecederam. A indústria de têxteis inteligentes orbita em torno de avanços tecnológicos de ponta, os quais ela aplica à área em velocidade regular. E essas tecnologias de ponta continuam em pleno florescimento, permitindo que o campo dos têxteis inteligentes agregue ainda mais valor. Aponta-se a seguir tecnologias, cuja expansão contribuiria com o desenvolvimento dos têxteis inteligentes. São elas a internet das coisas (*internet of things, IoT*), a inteligência artificial e a nanotecnologia.

#### **3.1 Tecnologias emergentes**

##### **3.1.1 *Internet of things* (IoT) ou Internet das Coisas (IoT)**

A Internet das coisas (IoT) é termo que tem sido introduzido nos últimos anos para definir objetos capazes de conectar e transferir dados através da Internet. "Coisa" refere-se a dispositivo que está conectado à Internet e transfere as informações do dispositivo para outros dispositivos (BALAS; KUMAR; SRIVASTAVA, 2020).

A *Internet of things* ou internet das coisas tem a capacidade de aproveitar grandes volumes de dados e interconectar dispositivos. É a automação dos dispositivos eletrônicos do cotidiano para um aproveitamento de tempo e custo. Atualmente, a sociedade tem cada vez menos tempo e atenção para captar informações e processá-las e essa automação auxiliaria em diversas áreas.

Junto aos têxteis inteligentes, que necessita avançar no quesito interconexão de dispositivos, com o progresso do IoT, poder-se-iam criar facilitadores nos segmentos da área médica, esportes, militar e vida social. Seria imaginar um mundo onde, durante o cotidiano, vestimentas cuidariam do monitoramento da sua saúde com *feedback* instantâneos e acompanhamento em tempo real.

Como reintera Yunsheng Fang “com um avanço dos IoT, em escala mundial, esses poderiam permitir a construção de dispositivos interconectados distribuídos no corpo humano que seriam capazes de coletar continuamente dados ambientais sobre umidade, temperatura e



intensidade solar, bem como dados fisiológicos, tais como frequência cardíaca, temperatura corporal central e umidade da pele” (FANG *et al.*, 2021).

### 3.1.2 *Artificial Intelligence* (AI) ou Inteligência Artificial (IA)

Inteligência (poder de pensamento) Artificial (feito por máquinas) (IA) é o estudo de máquinas que podem sentir, tomar decisões e agir como seres humanos. IA é o estudo de ciência e engenharia para construir artefatos que podem desenvolver conhecimento através de vários modos, como observações, aprendizado através de experiência, lendo informações (data) e processamento de texto, e discutindo com outros IA (MONDAL, 2020).

Ao longo dos anos vemos a ascendência dessa tecnologia com os primeiros carros autônomos<sup>7</sup>, assistentes virtuais inteligentes<sup>8</sup> e robôs de limpeza programada<sup>9</sup>. Chega a ser preocupante se em algum momento a inteligência artificial irá superar os seus criadores, visto que em diversas oportunidades, houve a vitória por parte das máquinas<sup>10</sup>.

A imaginação de um futuro interativo é a revolução do pensamento moderno, com a interação de inteligência artificial em têxteis inteligentes seria possível criar vestimentas autopensantes que tomariam decisões propícias para proteção do usuário. Tecidos que possam autorregular medicamentos, diagnosticar e gerar relatórios, auxiliando na recuperação de enfermos. Assim como roupas militares que possam auxiliar combatentes em caso de necessidade, com exoesqueletos imbuídos com inteligência artificial.

### 3.1.3 Nanotecnologia

"Nano" é usado como um prefixo que significa "bilionésimo" ou um fator de  $10^9$ . A nanotecnologia é a ciência, engenharia e tecnologia conduzida na escala que varia de 1 a 100 nanômetros (GASHTI, 2020).

A nanotecnologia, em certo sentido, é a continuação natural da revolução a que assistimos na última década, na qual a milionésima parte da eletrônica de medição

---

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://waymo.com/intl/es/>> Acesso em: 02 ago, 2022.

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://www.apple.com/br/siri/>> Acesso em: 02 ago, 2022.

<sup>9</sup> Disponível em: <<https://www.irobot.com.br/>> Acesso em: 02 ago, 2022.

<sup>10</sup> Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/google-alphago-vence-4-a-1/>> Acesso em: 02 ago, 2022.

(microeletrônica) tornou-se um lugar comum, visto os diversos dispositivos inventados, permitindo a construção de sistemas materiais e dispositivos de qualidade, e permitindo a localização de múltiplas aplicações em áreas equivalentes ou ainda menores.

A nanotecnologia levou o nível dos têxteis inteligentes um passo adiante. Através da aplicação de componentes com tamanho nano, os materiais têxteis recebem funcionalidades inteligentes sem deteriorar as características têxteis (YILMAZ, 2019).

A crescente demanda dos clientes por vestuário durável e funcional fabricado de maneira sustentável criou uma oportunidade para que os nanomateriais fossem integrados em substratos têxteis. Os nanomateriais podem induzir repelência a manchas, ausência de rugas, eliminação de estática e condutividade elétrica às fibras sem comprometer seu conforto e flexibilidade (YETISEN *et al.*, 2016).

Assim temos uma ideia dos alcances que a nanotecnologia atualmente influencia e dos novos patamares que têxteis inteligentes podem vir a alcançar com o uso de nanoaditivos nas fibras, gerando aumento das propriedades das fibras, absorção de agentes químicos tóxicos, filtros para máscaras<sup>11</sup>, nano-superfícies adequadas para matrizes de cultura bioativa (SAWHNEY *et al.*, 2008).

---

<sup>11</sup> Disponível em: <<https://www.finatec.org.br/projeto/mascara-com-nanotecnologia-para-filtragem-do-covid-19-coronavirus/#:~:text=A%20quitosana%2C%20um%20pol%C3%ADmero%20natural,tamb%C3%A9m%20estiverem%20usando%20o%20modelo.>> Acesso em: 02 ago, 2022.

## 4 TÊXTEIS INTELIGENTES NA SOCIEDADE E SUAS APLICAÇÕES

Neste capítulo elucida-se campos em que são exploradas as tecnologias atuais dos têxteis inteligentes e suas aplicações nas indústrias e sociedade.

### 4.1 Esportes

Atualmente os têxteis inteligentes desenvolvidos para prática desportiva têm sua relevância no mundo da moda e do cotidiano, bem como potencializam atletas de alto rendimento. Tecidos a partir de misturas de fibras sintéticas não são algo novo, porém a engenharia por trás desses tecidos de desempenho se revolucionam a cada ano.

A evolução do desenvolvimento das fibras passou pelas fases de fibras convencionais, fibras altamente funcionais e fibras de alto desempenho. O poliéster é a fibra mais comum para o esporte e “*active wear*”, que são roupas designadas para esportes, exercícios e outras atividades ao ar livre. Outras fibras adequadas para o *active wear* são poliamida, polipropileno, acrílico e elastano. A lã e as fibras de algodão encontram aplicação em roupas de lazer e no crescente conforto necessário, por exemplo, na ioga (HARLIN, JUSSILA, IIEN, 2019).

O *Nike Adapt* ©, da *Nike*, é um exemplo atual de utilidade tecnológica e conforto para o cliente, vide Figura 12. O sistema se baseia em um sistema integrado eletronicamente nos tênis que se ajustam eletronicamente ao tamanho do pé do usuário, junto com outros artifícios como mudança de cor.

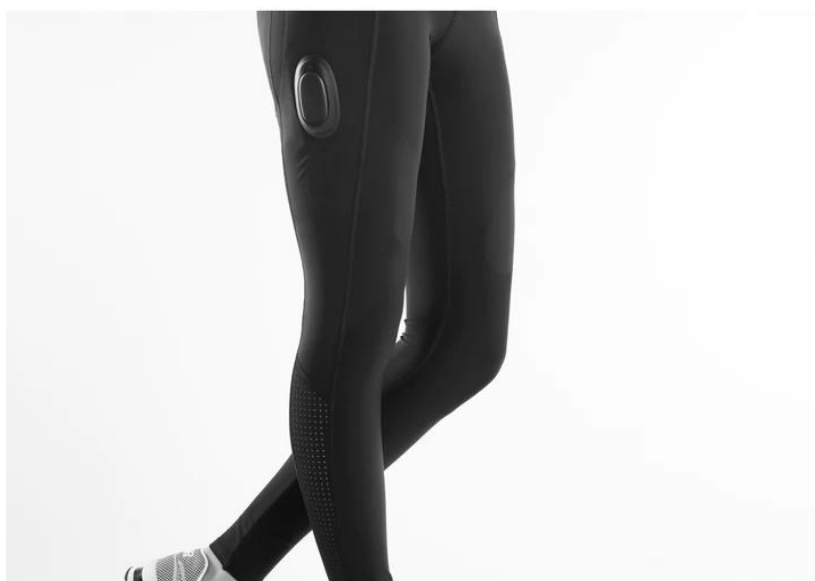
Já a empresa Athos, desenvolveu o *women's 2.0 compression leggings*, vide Figura 13, que são leggings de compressão que oferecem um rastreamento biométrico em tempo real, incluindo atividade muscular, frequência cardíaca, gasto calórico e tempo ativo versus tempo de descanso. A vestimenta integra sensores embutidos na roupa que leem biossinais e entregam os dados ao aplicativo móvel do usuário, exibindo até quais músculos estão sendo ativados e o quanto estão sendo exercitados.

**Figura 12 - Nike Adapt ©.**



Fonte: Site da Nike<sup>12</sup>.

**Figura 13 – Women's 2.0 Compression Leggings.**



Fonte: Site da Athos<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Disponível em: <<https://www.nike.com/adapt>> Acesso em 01 ago, 2022.

<sup>13</sup> Disponível em: <<https://www.liveathos.com/collections/add-ons/products/womens-leggings>> Acesso em: 01 ago. 2022.

## 4.2 Medicina

A engenharia médica aspira a melhorar o bem-estar humano e promover a saúde através da criação de dispositivos para diagnóstico, tratamento e cura de condições médicas (COYLE, DIAMOND, 2016). As principais propriedades dos têxteis mobilizados em aplicações inteligentes são flexibilidade para se adaptar ao corpo, conforto ao toque, maciez e versatilidade, além de a familiaridade intrínseca e aceitabilidade dos têxteis para o paciente (BLACK, 2007).

Na medicina atual os têxteis inteligentes estão presentes desde sensores em vestimentas para eletrocardiogramas (VAN LANGENHOVE *et al.*, 2007), na utilização de endopróteses expansíveis, os chamados *stent* (PAUSE, 2007) e em sistemas de entrega de medicamentos que utilizam de ciclodextrinas (NIERSTRASZ, 2007).

O SEBAN (*Smart Energy Body Area Sensor Networks for Pregnancy Monitoring*) foi projeto financiado pela Fundação Holandesa de Tecnologia STW, que consistiu em criar vestimenta de monitoramento regular para mulheres grávidas. É composto de sistema com *hardware* e *software* de baixo consumo para detecção precisa e robusta de eletrocardiografia (ECG), tanto do bebê quanto da mãe, e eletro-histerografia (EHG), como mostra a Figura 14, com o protótipo do produto e em sequência o encaixe na usuária na Figura 15 (PERUSQUÍA-HERNÁNDEZ, CHEN, FEIJS, 2015).

**Figura 14 – Caixa do produto e interior do pacote.**



Fonte: Perusquía-Hernández, Chen, Feijs (2015).

**Figura 15 – Encaixe da peça de vestuário.**



Fonte: Perusquía-Hernández, Chen, Feijs (2015).

De acordo com Pause os *stents* são usados para segurar um lúmen, como um vaso sanguíneo. As endopróteses são feitas, por exemplo, de fios de NiTiNOL, uma liga metálica de níquel e titânio, tricotados e formados em uma tubular forma. A Cordis®<sup>14</sup> e a Eucatech®<sup>15</sup>, ambas empresas líderes globais em dispositivos cardiovasculares têm em seu portfólio diversos tipos de *stent* entre eles o *nitinol* (PAUSE, 2007).

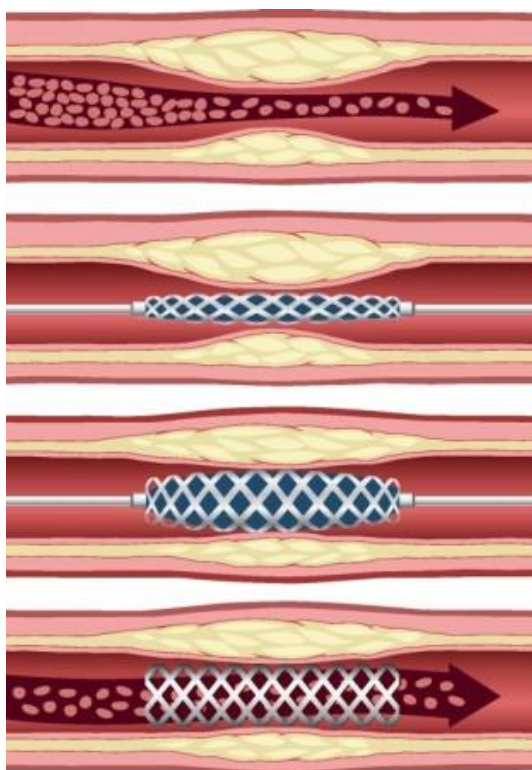
O *stent* quando comparativamente grande é primeiro dobrado em uma folha pequena para caber em um cateter. O cateter com o *stent* é então empurrado para dentro do recipiente. Dentro do vaso sanguíneo, o *stent* é aplicado sob temperatura corporal, utilizando o efeito de memória de forma dos fios nitinol. Quando posicionados dentro da artéria, a superelasticidade do material é usada para fornecer uma força que mantém o vaso aberto, como demonstrado na Figura 16 (PAUSE, 2007).

---

<sup>14</sup> Disponível em: <<https://cordis.com/latam/home/>> Acesso em: 19 jul, 2022.

<sup>15</sup> Disponível em: <<https://eucatech.de/home/>> Acesso em: 19 jul, 2022.

**Figura 16** Implante de *stent* em artéria.



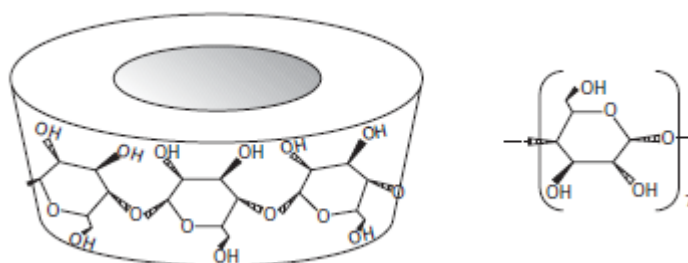
Fonte: anemad / Shutterstock.com<sup>16</sup>.

As ciclodextrinas (CDs) são oligossacarídeos cíclicos, obtidos a partir da degradação do amido por ação de enzimas (LYRA *et al.*, 2010). As ciclodextrinas mais comuns são  $\alpha$ -,  $\beta$ -, e  $\gamma$ -ciclodextrin, que consistem em seis, sete ou oito unidades de glucopiranoose, respectivamente (NIERSTRASZ, 2007), como mostra a Figura 17, com a  $\beta$ -ciclodextrina. Graças a sua estrutura, a combinação de interior hidrofóbico e exterior hidrofílico torna as CDs componentes úteis para a complexação de drogas (SHAH, HALACHEVA, 2016). Essas são utilizadas por empresas como Wacker<sup>17</sup> da Alemanha, que produz acabamentos de tecido com ciclodextrinas, a exemplo o Cavatex ©, que podem capturar odores e liberar ingredientes ativos em ciclos, que são refrescados através de lavagem (BLACK, 2007).

<sup>16</sup> Disponível em: <<https://www.shutterstock.com/pt/g/anemad>> Acesso em: 19 jul, 2022

<sup>17</sup> Disponível em: <<https://www.wacker.com/cms/en-br/home/home.html>> Acesso em: 19 jul, 2022.

**Figura 17 - Representação esquemática da  $\beta$ -ciclodextrina.**



Fonte: Nierstrasz (2007).

Como esclarece Shirley Coyle o desenvolvimento de novos materiais e a miniaturização de dispositivos eletrônicos resultaram em grandes avanços neste campo amplamente multidisciplinar. Logo, a capacidade dos têxteis inteligentes para interagir com o corpo fornece um novo meio para sentir a fisiologia do usuário e responder às necessidades dele (COYLE, DIAMOND, 2016).

### 4.3 Moda e *fashion*

Ao longo dos anos, mais e mais pessoas se interessaram pelo campo sempre em expansão da tecnologia da moda. Alguns a abordam apenas com relação ao estilo futurístico, enquanto outros são atraídos pelo seu potencial técnico e pela combinação de tecnologia ‘pesada’ com tecidos ‘leves’ (SEYMOUR, 2008).

O termo tecnologia da moda, cunhado por Seymour nos anos 2000, se refere à intersecção do *design*, *fashion*, ciência e tecnologia. E desde essa época vemos a evolução e a tentativa de acompanhar tecnologias totalmente voláteis que introduzem novos jeitos de pensar e transformar o cotidiano (SEYMOUR, 2008). No passado não distante, no começo do século XXI, já existiam jaquetas para *snowboarding* com aparelhos de *Walkman Player/Recorder* integrados e controles de botão embutidos no tecido da manga ao custo de alguns milhares de dólares, vide Figura 18, sendo assim distante da aquisição pela população.



**Figura 18 – Jaqueta de *Snowboarding Burton Analog Clone MD*.**



Fonte: Site [minidisc.org](http://minidisc.org)<sup>18</sup>.

*Sprays* que ‘criam’ roupas instantâneas, *Spray-on fabric* ©<sup>19</sup>, tecnologia da empresa do Reino Unido, *Fabricsan Ltd.*, é outro exemplo de intersecção entre *fashion* e ciência. Essa tecnologia utiliza uma suspensão de polímeros e fibras adequadas que podem então ser facilmente pulverizados em qualquer superfície usando uma pistola de pulverização ou uma lata de aerossol, conforme mostra a Figura 19 (SEYMOUR, 2008).

**Figura 19 – Utilização do *Spray-on fabric* © em modelo.**



Fonte: Seymour (2008).

---

<sup>18</sup>Disponível em: [https://www.minidisc.org/part\\_Burton\\_Analog\\_Clone\\_MD\\_Snowboarding\\_Jacket.html](https://www.minidisc.org/part_Burton_Analog_Clone_MD_Snowboarding_Jacket.html) > Acesso em: 20 jul, 2022.

<sup>19</sup> Disponível em: <https://www.fabricsanltd.com/> Acesso em: 19 jul, 2022.

Outros projetos que beiram entre idealizações militares e filmes futurísticos, com roupas que são ‘invisíveis’. O projeto “*Intimacy*”<sup>20</sup>, do estúdio holandês *Studio Roosegaarde*, apresenta roupas que ficam transparentes a partir de mudanças no humor do usuário. Dentre as diferentes versões de roupas idealizadas pelo criador, Daan Roosegaarde, o vestido mostrado na Figura 20 é conectado com o batimento cardíaco do usuário no qual quanto mais rápido o coração bater, mais transparente o vestido se torna (PAILES-FRIEDMAN, 2016).

**Figura 20 – Vestido do projeto “*Intimacy*”.**



Fonte: Pailes-Friedman (2016).

#### **4.4 Proteção**

Equipamento de proteção individual (EPI) refere-se a vestuários especializados ou acessórios como roupas, capacetes, luvas etc. que cumprem uma função de proteção contra vários perigos mecânicos ou químicos, quando usados por trabalhadores (DECAENS, VERMEERSCH, 2016).

O ajuste e o conforto são essenciais na escolha de um EPI, uma vez que ele terá impacto no desempenho de proteção, bem como na mobilidade do usuário, que pode se expor a riscos mais elevados ao tropeçar ou cair. Os EPIs podem ser classificados em diferentes categorias, dependendo das áreas do corpo que requerem proteção (BRAUER, 2006).

---

<sup>20</sup> Disponível em: <<https://www.studioroosegaarde.net/project/intimacy>> Acesso em: 20 jul, 2022.

Em situações de riscos, as pessoas necessitam de roupas de proteção que atendam suas necessidades. Diversos projetos de pesquisa ao redor do mundo buscam integrar dispositivos eletrônicos em equipamentos de proteção. Um dos primeiros projetos europeus sobre têxteis inteligentes para proteção foi o projeto PROeTEX (*Protective e-Textiles*).

**Figura 21 – Protótipo do PROeTEX interior e exterior da peça de vestuário.**



Fonte: Van Langenhove (2012).

No projeto, fizeram um protótipo de vestimenta com o objetivo de melhorar a segurança e eficiência dos trabalhadores de serviços de emergência, como bombeiros, policiais e socorristas, capacitando-os com sensores, sistemas de transmissão que monitoram a saúde, atividade e posicionamento do usuário (de pé, caminhando, correndo; em pé ou deitado) através de acelerômetros e seu ambiente, através de termo sensores que indicam o avanço de calor através da jaqueta, durante possíveis situações de risco. A vestimenta, como apresentado pela Figura 21, incorpora também dispositivos GPS, que provêm informação da localização em situações de risco, e luzes de LED, que se acenderiam caso a pessoa estivesse em algum problema (VAN LANGENHOVE, 2012)

Não distante dos trabalhadores de serviços de emergência, temos também diversas aplicações militares. Desde o início do seu desenvolvimento, têxteis inteligentes já traziam protótipos de capacetes balísticos com sistema integrado de comunicação, tecidos que mudam

a cor quando fibras condutivas costuradas no calor da roupa esfriam as tintas termocromáticas do material e até mesmo vestimentas de combate que conferiam sinais vitais dos combatentes e traziam informações de prontidão para médicos caso ocorresse algum ferimento na região do tórax, bem como tecidos que se tornavam rígidos caso houvesse regiões com ossos fraturados (SAHIN; KAYACAN; BULGUN, 2005).

Dentre outros exemplos, podemos citar o uso em roupas de proteção para possíveis agentes químicos em situações de guerra, nas quais tecidos têm como propriedade de “auto-descontaminação”, ou seja, de decomposição de produtos químicos tóxicos (SENIC *et al.*, 2011).

## 5 PERSPECTIVAS DOS TÊXTEIS INTELIGENTES NO MUNDO

Para o futuro dos têxteis inteligentes existem muitas áreas a serem desenvolvidas, porém questões são levantadas e/ou impostas devido à abrangência desses dispositivos, tais como reinvenção, reciclagem, *big-data*, e tendências mundiais.

Um dos maiores desafios para os fabricantes de têxteis inteligentes é entender como reinventar seus negócios e como direcionar seu desenvolvimento para implantação em uso cotidiano, com custos mais acessíveis. Concomitantemente, faz-se necessária abordagem ecológica de reciclagem ou de reutilização de componentes, visto o número de dispositivos eletrônicos que estarão agregados às vestimentas e o efeito da obsolescência programada que é imbuída com o avanço tecnológico atual (TANSKANEN, 2013).

Sobre o *big-data* e conseqüentemente o uso de dados, a partir de um do ponto de vista científico, é de grande interesse que todos os dados coletados com esses novos tipos de dispositivos possam ser usados para avaliações significativas e pesquisas futuras. E é desejável que exista um conjunto de padrões flexíveis que oriente a forma como esses dados são processados, armazenados e transmitidos.

Em um viés ético, existe um cuidado a ser tomado devido ao número massivo de dados que os têxteis inteligentes podem captar dos indivíduos, pois há pouca pesquisas sobre como identificar, rastrear e mitigar algum possível risco ou falta de escolha imposto às pessoas que são (muitas vezes, involuntariamente) participantes dos projetos (METCALF; CRAWFORD, 2016).

Embora nanopartículas incorporadas aos têxteis aumentem a eficácia desses para diferentes aplicações inteligentes, o principal desafio neste campo é o controle preciso do tamanho, forma e distribuição dos nanomateriais ancorados com o substrato têxtil (PILLAL *et al.*, 2018), a fim evitar danos aos usuários.

A reciclagem dos têxteis inteligentes atravessa as mesmas dificuldades dos têxteis usuais, com a adição dos eletrônicos que estão imbuídos nos mesmos. Barreiras para a reciclagem seriam questões técnico-sociais e alto custo do processo. Há poucas soluções para reuso de produtos têxteis, uma vez que a reciclagem produz fibras muito curtas para serem tecidas nos equipamentos existentes (RANI; JAMAL, 2018). Há também falta de

conscientização do consumidor final, uma vez que a indústria de reciclagem fica à mercê da disponibilização da matéria-prima (retorno do produto a ser reciclado) através da consciência coletiva social, a qual precisa ser trabalhada. Por último, existe a questão financeira. O alto custo para obter o produto final cria dificuldade econômica, pois esse produto de reciclagem terá de competir no mercado com a produção de fibras novas, de custo bem menor se comparado aos reciclados (RANI; JAMAL, 2018).

Empresas acompanham o crescimento dos têxteis inteligentes e tentam assimilar tendências mundiais, como o fenômeno de transição energética, a exemplo da Volvo, que em 2013 criou um protótipo de painel voltaico têxtil retrátil para recarga de seus carros elétricos<sup>21</sup>. Ou como a aproximação de funcionalidade e tecnologia para entregar experiências inéditas para os usuários, como a empresa *Holst Centre*, situada na Holanda, que produz roupas que reduzem estresse<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> Disponível em: <<https://archello.com/project/volvo-pure-tension-pavilion>> Acesso em: 01 ago, 2022.

<sup>22</sup> Disponível em: <<https://www.textiletechnology.net/technical-textiles/trendreports/holst-centre-from-printed-electronics-to-smart-clothes-that-reduce-stress-32550>> Acesso em: 01 ago, 2022.

## 6 CONCLUSÃO

Os têxteis inteligentes encontram-se em crescimento acelerado no mundo, pois os têxteis estão presentes no cotidiano humano e cada vez mais há a necessidade de facilitadores. O mercado mundial de têxteis reafirma a tendência de aumento de tecido por pessoa.

Por se tratar de produto com tecnologia de ponta, existe a demanda por melhoria contínua ou inovação em produtos de base, seja por novos tipos de fibras, ou a criação de novos componentes eletrônicos.

O incentivo fiscal para as universidades e a cooperação entre estas e indústrias confirmam que a criação de projetos entre países e universidades a longo prazo trazem frutos e que a prática tornou a Europa polo tecnológico na área, o que deve ser manter nas próximas décadas.

Em relação às novas tecnologias, como a integração da internet das coisas com inteligência artificial, a AI está desempenhando um papel de estrela na IoT, por sua capacidade de extrair rapidamente *insights* dos dados. A poderosa combinação das tecnologias AI e IoT aumenta a eficiência operacional dos têxteis inteligentes, possibilitando a criação de novos produtos e serviços, e melhorando a gestão de riscos.

Apesar da integração da nanotecnologia e dos avanços dos têxteis inteligentes, os dispositivos elétricos acoplados a esses ainda possuem muitos problemas adversos, como dificuldade de resistência a ambientes intempéries, falta de impermeabilidade, problemas para limpeza. Alie-se a isso a questão da toxicidade de nanomateriais, que podem causar efeitos adversos aos usuários finais.

Analisando o cenário geral dos têxteis inteligentes, vemos que diversas empresas estão na vanguarda tanto pelo seu poder aquisitivo, como pioneirismo em revoluções tecnológicas, assim atingindo os consumidores que procuram conforto, segurança e praticidade. Governos criam projetos a longo prazo para mantimento de sua soberania militar e tecnológica, visto a capacidade de adequação do produto à área militar e de proteção.

Existe um grande incentivo para a minimização do impacto ambiental do produto final, com busca de sustentabilidade na base da criação desses produtos têxteis e geração de produto

que pode ser reciclado caso, haja interesse das empresas. Não obstante, a obsolescência programada continuaria existindo devido aos avanços tecnológicos que muitas vezes exigem novo *hardware* para os novos *softwares*.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A Química do Processamento Têxtil. **Química Nova**, 19(3), p. 320-330, 1996.
- BALAS, V. E.; KUMAR, R.; SRIVASTAVA, R. **Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things**. Cham: Springer International Publishing, v. 172, 2020, p. 13.
- BLACK, S. Trend in smart medical textiles. In: VAN LANGENHOVE, L. **Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications**. CRC Press, 2007, p. 3-26.
- BRAUER, R.L., **Personal Protective Equipment. Safety and Health for Engineers**, 2. ed. 2006, p. 513-536.
- COYLE, S.; DIAMOND, D. Medical applications of smart textiles. In: VAN LANGENHOVE, L. **Advances in Smart Medical Textiles: Treatments and Health Monitoring**. Woodhead Publishing, 2016, p. 215-237.
- DECAENS, J.; VERMEERSCH, O. Wearable technologies for personal protective equipment: embedded textile monitoring sensors, power and data transmission, end-life indicators In: KONCAR, V. **Smart Textiles and their Applications**. Elsevier, 2016, p. 519-538.
- DOCHIA, M.; SIRGHIE, C.; KOZLOWSKI, R. M.; ROSKWITALSKI, Z. Cotton fibres. In: KOZLOWSKI, R. M. **Handbook of natural fibres**. Woodhead Publishing Limited, v.1, 2012, p. 11-23.
- FANG, Y.; CHEN, G.; BICK, M.; CHEN, J. Smart textiles for personalized thermoregulation. **Chemical Society Reviews**, v. 50, p. 9357–9374, 2021.
- FERREIRA, Victor Ricardo. **"Amianto"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/amianto.htm>. Acesso em 13 de julho de 2022.

- GASHTI, M. P.; ALIMOHAMMADI, F.; SONG, G.; KIUMARSI, A. Characterization of nanocomposite coatings on textiles: A brief review on Microscopic technology. In: MÉNDEZ-VILAS, A. **Current Microscopy Contributions to Advances in science and technology**. Formatex Research Center, 5. ed. 2020, p. 1424-1437.
- GEHRKE, I.; TENNER, V. Production Technologies for Electronic Textiles. In: GEHRKE, I.; TENNER, V.; LUTZ, V.; SCHMELZEISEN, D.; GRIES, T. **Smart Textiles Production. Overview of Materials, Sensor and Production Technologies for Industrial Smart Textiles**. MDPI: Basel. Switzerland, 2019. p. 33-51.
- GHOST, S.; SMITH, T.; RANA, S; GOSWAMI, P. Nanofinishing of textiles for sportswear. In: **Future Materials**. World Textile Information Network, v. 2020, n. 3/4, 2020, p. 44-49.
- HARLIN, A.; MAKINEN, M.; VUORIVIRTA, A. Development of polymeric optical fibre fabrics as illumination elements and textile displays. **AUTEX Research Journal**, v. 3, n. 1, 2003.
- HARLIN, A.; JUSSILA, K.; IIEN, E. Sports Textiles and Comfort Aspects. In: PAUL, R. **High performance technical textiles**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2019, p. 37-67.
- JAFFE, M.; EASTS, A. J.; FENG, X. Polyester fibers. In: JAFFE, M; MENCZEL, J. D. **Thermal Analysis of Textiles and Fibers**. Woodhead Publishing, 2020, p. 133-149.
- KOZLOWSKI, R. M.; MACKIEWICZ-TAKARCZYK, M. Bast fibres:flax. In: KOZLOWSKI, R. M. **Handbook of natural fibres**. Woodhead Publishing Limited, v.1, 2012. p. 56-113.
- LYRA, M. A. M.; ALVES, L. D. S.; FONTES, D. A. F.; SOARES-SOBRINHO, J. L.; ROLIM-NETO, P. J. Ferramentas analíticas aplicadas à caracterização de complexos de inclusão fármaco-ciclodextrina. **Revista de Ciências Farmaceuticas Basica e Aplicada**, v. 31, n. 2, p. 117–124, 2010.

- MATTEDE, Henrique. **O que são sensores e quais as suas aplicações?**. Mundo da elétrica, 2022. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/#:~:text=O%20sensor%20basicamente%20%C3%A9%20um,%2C%20movimento%2C%20luz%20e%20outros.>>. Acesso em: 18, julho de 2022).
- METCALF, J.; CRAWFORD, K. Where are human subjects in Big Data research? The emerging ethics divide. **Big Data & Society**, v. 3, n. 1, 2016.
- MONDAL, B. Artificial Intelligence: State of the Art. In: BALAS, V. E.; KUMAR, R.; SRIVASTAVA, R. **Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things**. Cham: Springer International Publishing, v. 172, 2020, p. 389-425.
- NIERSTRASZ, V. A. Textile-based drug release systems In: VAN LANGENHOVE, L. **Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications**. CRC Press, 2007, p. 50-73.
- OPPERSKALSKI, S. Preferred Fiber and Materials Market Report 2021. **Textile Exchange**, 2021.
- PAILES-FRIEDMAN, R. Smart Textiles for Designers – Inventing the Future of Fabrics. **Journal of Textile Design Research and Practice**, v. 4, n. 2, 2016, p. 1–192.
- PAUSE, B. Application of phase change and shape memory materials in medical textiles. In: VAN LANGENHOVE, L. **Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications**. CRC Press, 2007, p. 74-87.
- PERUSQUÍA-HERNÁNDEZ, M.; CHEN, W.; FEIJS, L. Textile-integrated electronics for ambulatory pregnancy monitoring. In: VAN LANGENHOVE, L. **Advances in Smart Medical Textiles: Treatments and Health Monitoring**. Woodhead Publishing, 2016, p. 238-268.
- PILLAI, M. M.; SENTHILKUMAR, R.; SELVAKUMAR, R.; BHATTACHARYYA, A. Characterization Methods of Nanotechnology-Based Smart Textiles. In: YILMAZ, N.

**Smart textiles for Wearable Nanotechnology.** Scrivener Publishing, 2018, p. 347-378.

POSTREL, V. **The fabric of civilization: how textiles made the world.** Basic Books, 1. ed., v. 1. 2020.

RANI, S.; JAMAL, Z. Recycling of textiles waste for environmental protection. **International Journal of Home Science**, n. 4(1), p. 164-168, 2018.

SAHIN, O.; KAYACAN, O.; BULGUN, E. Y. Smart textiles for soldier of the future. **Defence Science Journal**, v. 55, n. 2, p. 195-205, 2005.

SÁNCHEZ, J. C. Têxteis Inteligentes. **Quimica têxtil**, v. 82, p. 58-77, 2006.

SAWHNEY, A. P. S.; CONDON, B. D.; SINGH, K. V.; PANG, S. S.; LI, G.; HUI, D. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. **Textile Research Journal**, v. 78, n. 8, p. 731–739, 2008.

SCHNEEGASS, S.; AMFT, O. Introduction to Smart Textiles. In: SCHNEEGASS, S.; AMFT, O. **Smart Textiles: Fundamentals, Desing, and Interaction.** Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 1-15.

SCHWARZ, A.; VAN LANGENHOVE, L.; GUERMONPREZ, P.; DEGUILLEMONT, D. A roadmap on smart textiles. **Textile Progress**, v. 42, n. 2, p. 99–180, 2010.

SENIĆ, Ž.; BAUK, S.; VITOROVIC-TODOROVIC, M. D.; PAJIC, N.; SAMOLOV, A.; RAJIC, D. Application of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles for Obtaining Self-Decontaminating Smart Textiles. **Scientific Technical Review**, v. 61, n. 4, p. 63–72, 2011.

SEYMOUR, S. **Fashionable Technology: The Intersection of Design, Fashion, Science, and Technology.** SpringerWienNewYork, 2008.

- SHAH, T.; HALACHEVA, S. Drug-releasing textiles In: VAN LANGENHOVE, L. **Advances in Smart Medical Textiles: Treatments and Health Monitoring**. Woodhead Publishing, 2016, p. 119-154.
- TANSKANEN, P. Management and recycling of electronic waste. **Acta Materialia**, v. 61, n. 3, p. 1001–1011, 2013.
- VAN LANGENHOVE, L. Smart textiles for protection: an overview. In: CHAPMAN, R. A. **Smart textiles for protection**. 1. ed., 2012. p. 3-33.
- VAN LANGENHOVE, L. Smart Textiles: Past, Present, and Future. In: TAO, X **Handbook of smart textiles**. Singapore: Springer Singapore, 2015, p. 1035-1058.
- VAN LANGENHOVE, L.; HERTLEER, C.; WESTBROEK, P.; PRONIOTAKIS, J. Textile sensors for health care. In: VAN LANGENHOVE, L. **Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, systems and applications**. CRC Press, 2007, p. 106-122.
- VAN LANGENHOVE, L.; PUERS, R.; MATTHYS, D. Intelligent textiles for protection. In: **Textiles for Protection**. Belgium: Elsevier Ltd, 2005, p. 176–195.
- VASANTHAN, N. Polyamide fiber formation: structure, properties and characterization. In: EICHHORN, S. J.; HEARLE, J.W.S.; JAFFE, M.; KIKUTANI, T. **Handbook of Textile Fibre Structure**. Woodhead Publishing, v.1., 2009, p. 232-256.
- YETISEN, A. K.; QU, H.; MANBACHI, A.; BUTT, H.; DOKMECI, M. R.; HINESTROZA, J. P.; SKOROBOGATIY, M.; KHADEMOSSEINI, A.; YUN, S. H. Nanotechnology in Textiles. **ACS Nano**, v. 10. n. 3, p. 3042–3068, 2016.
- YILMAZ, N. Introduction to Smart Nanotextiles. In: YILMAZ, N. **Smart textiles for Wearable Nanotechnology**. Scrivener Publishing LLC, 2019, p. 3-38.
- YUCE, M. R.; KHAN, J. Introduction to Wireless Body Area Network. In: YUCE, M. R.; KHAN, J. **Wireless Body Area Networks**. Jenny Stanford Publishing, 2012, p. 1-17.