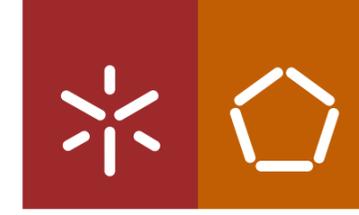




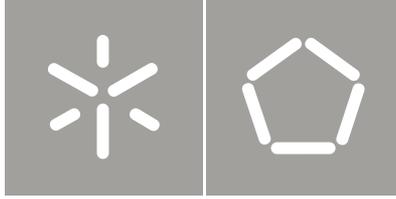
Alexandra Luís Ribeiro da Silva Lopes

Inserção de fios condutores nas malhas de  
trama para medição de potenciais elétricos

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Alexandra Luís Ribeiro da Silva Lopes

Inserção de fios condutores nas malhas de  
trama para medição de potenciais elétricos

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor André Paulo de Almeida Whiteman Catarino

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

*Licença concedida aos utilizadores deste trabalho*



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações  
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento da presente dissertação não teria sido possível sem a ajuda, apoio e motivação de todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte deste percurso. Deixo assim o meu agradecimento.

Em primeiro lugar ao meu orientador, o Professor Doutor André Catarino, pela ajuda e conhecimento transmitido ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor Hélder Carvalho, pelo conhecimento transmitido na área da eletrónica, essencial para a elaboração deste projeto.

Ao Engenheiro Joaquim Jorge, pela ajuda constante e paciência em todos os momentos em que foi necessário realizar algum ensaio laboratorial.

Aos meus colegas e amigos por este percurso que termina, principalmente à Lúcia Gomes e à Cátia Magalhães por estarem presentes neste último ano e o terem tornado muito mais feliz.

Por último, à minha família, por me ter dado a oportunidade e o privilégio de continuar a estudar.

A todos, o meu muito obrigada.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

Inserção de fios condutores nas malhas de trama para medição de potenciais elétricos

Com a evolução da tecnologia, também a indústria têxtil veio sofrer alterações, passando a ser possível obter novas funcionalidades através dos têxteis, tanto pela utilização de novas fibras e acabamentos, ou a integração de sistemas eletrônicos. Assim, a integração de fios têxteis condutores elétricos em substratos têxteis já não se apresenta como uma novidade. É possível a utilização destes fios para a medição de bio sinais, aquecimento, aplicações antimicrobianas, proteção, entre outras áreas. Neste trabalho, os fios têxteis condutores elétricos foram utilizados para a criação de elétrodos capazes de medir a frequência cardíaca, integrando-os em malhas de trama.

Na presente dissertação foi feito inicialmente um levantamento de alguns dos fios têxteis condutores existentes no mercado, e uma revisão da literatura referente aos elétrodos têxteis já existentes. Posteriormente, no que toca à parte laboratorial, foram realizados testes de condutividade aos fios condutores escolhidos e foram produzidas estruturas de malha incorporando os elétrodos com estes fios. De modo a perceber o comportamento destes fios ao processo de lavagem e secagem, as estruturas de malha foram submetidas a cinco lavagens e secagens e posteriormente foram também realizados testes de condutividade aos elétrodos.

Por último, de modo a perceber se era possível obter a finalidade pretendida, ou seja, a medição da frequência cardíaca através de elétrodos têxteis, recorreu-se a um dispositivo disponível no mercado capaz de enviar os dados da leitura da frequência cardíaca para um *smartphone* através de *Bluetooth*, tendo dois voluntários vestido as estruturas de malha e os elétrodos testados secos, com água e com um gel condutor, com o intuito de simular diferentes ambientes e comprovar o seu funcionamento.

PALAVRAS-CHAVE: Elétrodos têxteis, fios condutores, frequência cardíaca, malhas de trama

## **ABSTRACT**

Insertion of conductive yarns in weft meshes for measuring electrical potentials

With the evolution of technology, the textile industry also underwent changes, making it possible to obtain new functionalities through textiles, either by using new fibers and finishes, or by the integration of electronic systems. Thus, the integration of electrically conductive textile yarns in textiles substrates is no longer a novelty. It is possible to use these yarns to measure bio signals, to heat, antimicrobial applications, protection, among other areas. In this work, electrically conductive textile yarns were used to create electrodes capable of measuring heart rate, integrating them into weft meshes.

The present dissertation was initially carried out with a survey of some of the existing conductive textile yarns on the market, and a review of the literature regarding existing textile electrodes. Subsequently, regarding the laboratorial component, conductivity tests of the conductive yarns chosen were carried out and the mesh structures were produced incorporating the yarns with them. To try to understand the behavior of these threads during the washing and drying process, the mesh structures underwent five washing and drying cycles. After that, conductivity tests to the electrodes were carried out.

At last, to understand if it is possible to reach the desired purpose, that is, the measurement of heart rate through textile electrodes, it was used a device available on the market capable of sending data regarding the heart rate, directly to a smartphone through Bluetooth, having two volunteers worn the mesh structures, and the electrodes tested dry, with water and with a conductive gel, to simulate different environments and to prove their ability to function.

**KEYWORDS:** Textile electrodes, conductive threads, heart rate, weft meshes

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABELAS .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivo .....	2
1.3. Metodologia .....	3
1.4. Estrutura da dissertação.....	4
2. Enquadramento teórico e estado da arte.....	5
2.1. Definição de e-têxteis.....	5
2.2. Medição de potenciais elétricos através de e-têxteis .....	7
2.3. Eletrocardiografia .....	13
2.4. Eletromiografia .....	15
2.5. Eléttodos têxteis.....	18
2.5.1. Posicionamento dos elétrodos.....	20
2.6. Tecnologia de tricotagem e estruturas 3D em malhas de trama .....	22
3. Materiais e Métodos Experimentais.....	33
3.1. Equipamentos de medida.....	33
3.2. Fios têxteis condutores elétricos .....	37
3.3. Testes realizados aos fios condutores .....	37
3.3.1. Teste da condutividade .....	38
3.3.2. Teste da resistência dos fios à rutura e alongamento à tração .....	41

3.4.	Caraterização dos elétrodos.....	42
3.4.1.	Metodologia adotada .....	42
3.4.2.	Teste de resistência elétrica .....	44
3.4.3.	Teste da lavagem .....	46
3.4.4.	Testes realizados com a participação de voluntários.....	46
4.	Apresentação dos resultados .....	53
4.1.	Testes aos fios e análise dos resultados.....	53
4.1.1.	Teste da resistência dos fios à rutura e alongamento.....	53
4.1.2.	Teste da condutividade .....	56
4.2.	Testes realizados aos elétrodos têxteis e análise dos resultados .....	57
4.2.1.	Testes de condutividade .....	57
4.2.2.	Efeito da lavagem na resistência elétrica .....	58
4.2.3.	Testes realizados com a participação de voluntários.....	60
4.3.	Discussão dos resultados obtidos .....	60
5.	Conclusões e perspectivas futuras.....	62
5.1.	Conclusões .....	62
5.2.	Perspetivas futuras.....	63
	Bibliografia .....	64
	Anexos .....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

Ag – Prata

Bpm – Batimentos por minuto

CAD - *Computer- Aided Design*

ECG – Eletrocardiograma

EMG - Eletromiografia

ISO – *International Organization for Standardization*

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caraterísticas dos smart textiles. Adaptado de Cho (2010) .....	6
Figura 2. Diferentes estruturas dos fios condutores. Adaptado de (Bashir, 2013) .....	9
<i>Figura 3. AiQ® Smart Clothing: BioMan+ (Clothing, sem data)</i> .....	11
<i>Figura 4. OMsignal Smart clothing: Ombra (Lab, sem data)</i> .....	12
Figura 5. Sensoria® - Smart Socks (Sensoria, sem data).....	12
Figura 6. Textrode tricotado 3cm x 3cm (Catrysse et al., 2003) .....	14
Figura 7. Exemplo de um sinal EMG durante as diferentes fases de um exercício (Carvalho et al., 2015) .....	16
Figura 8. Diferente posicionamento dos elétrodos estudados por (Andrade, 2009).....	20
Figura 9. Sinal ECG obtido para as diferentes posições dos elétrodos (Andrade 2009) .....	21
Figura 10. Estrutura de malha de trama e malha de teia, respetivamente (Ray, 2012) .....	22
Figura 11. Laçada normal, laçada carregada e laçada flutuante, respetivamente (Aquino, 2008) .....	23
Figura 12. Direito técnico e avesso técnico da estrutura jersey, respetivamente (Ray, 2012) .....	24
Figura 13. Classificação simplificada dos teares de trama. Adaptado de Richard Horrocks & Anand (2016) .....	25
Figura 14. Classificação das diferentes malhas tridimensionais (Ionesi et al., 2010) .....	28
Figura 15. Estrutura multiaxial. Adaptado de (Ray, 2017) .....	29
Figura 16. Estrutura sanduíche (Ionesi et al., 2010) .....	30
Figura 17. Exemplo de estrutura de malha 3D (Kumar e Thakur, 2017) .....	31
Figura 18. LG Digital Multimeter DM-311 .....	33
Figura 19. FLUKE 45 Dual Display Multimeter .....	34
Figura 20. Fonte de alimentação DC Power Supply TENMA 72-8695.....	34
Figura 21. Dinamómetro Pesola® LightLine.....	35
Figura 22. Dinamómetro Hounsfield .....	36

Figura 23. Máquina doméstica de lavar a roupa .....	36
Figura 24. Esquema dos testes realizados aos fios condutores .....	37
Figura 25. Circuito elétrico utilizado para o teste da condutividade .....	39
Figura 26. Esquema da configuração testada utilizando o fio Bekintex .....	40
Figura 27. Exemplo da estrutura do eletrodo tricotada (Catarino et al., 2011) .....	42
Figura 28. Esquema dos testes realizados às malhas com os eletrodos têxteis .....	43
Figura 29. Realização dos testes de condutividade dos eletrodos têxteis .....	45
Figura 30. Estruturas de malha e posicionamento do aparelho Bluetooth .....	47
Figura 31. Posicionamento das molas nos eletrodos com o fio Bekintex .....	48
Figura 32. Posicionamento das molas nos eletrodos com o fio Elitex .....	48
Figura 33. Eletrodos com os fios Bekintex e Elitex isolados com fita isoladora .....	49
Figura 34. Aparelho Bluetooth utilizado .....	49
Figura 35. Interface da aplicação de telemóvel Polar Beat .....	50
Figura 36. Valores de medição da frequência cardíaca em simultâneo pelos três aparelhos: Dispositivo Bluetooth (a), relógio de pulso (b) e oxímetro (c) .....	51
Figura 37. Gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Bekintex .....	54
Figura 38. Gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Elitex .....	54
Figura 39. Gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Shieldex .....	55

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resistividade dos metais (Chung, 2010) .....	8
Tabela 2. Fios têxteis condutores elétricos utilizados nos e-têxteis.....	9
Tabela 3. Fios têxteis condutores elétricos utilizados nos e-têxteis (continuação).....	10
Tabela 4. Fios têxteis condutores elétricos utilizados nos e-têxteis (continuação).....	11
Tabela 5. Exemplos de e-têxteis comercializados.....	13
Tabela 6. Áreas em que se utiliza a EMG. Adaptado de Konrad ( 2011).....	15
Tabela 7. Tecnologia dos teares.....	23
Tabela 8. Variáveis associadas aos testes de condutividade e resistência realizados aos fios Bekintex, Elitex e Shieldex.....	39
Tabela 9. Valores calculados de pré tensão dos fios condutores .....	41
Tabela 10. Valores de deformação dos elétrodos com o fio Elitex e Bekintex no sentido das fileiras e colunas .....	45
Tabela 11. Dados relativos aos voluntários e elétrodos a considerar antes da realização dos testes....	47
Tabela 12. Valores médios obtidos no teste de condutividade realizados aos fios Bekintex, Elitex e Shieldex .....	56
Tabela 13. Resistência elétrica dos elétrodos têxteis com os fios Elitex e Bekintex sem lavagens .....	57
Tabela 14. Resistência elétrica dos elétrodos têxteis com os fios Elitex e Bekintex após a 1ª lavagem	58
Tabela 15. Resistência elétrica dos elétrodos têxteis com os fios Elitex e Bekintex após a 2ª lavagem	59
Tabela 16. Resistência elétrica dos elétrodos com os fios condutores Elitex e Bekintex após a 3ª. 4ª e 5ª lavagens.....	59
Tabela 17. Valores obtidos de resistência e resistência linear no teste de condutividade para o fio Elitex .....	69
Tabela 18. Valores obtidos de resistência e resistência linear no teste de condutividade para o fio Bekintex .....	69

Tabela 19. Valores obtidos de resistência e resistência linear no teste de condutividade para o fio Shieldex  
..... 70

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Motivação

Cada vez mais, os têxteis apresentam uma versatilidade crescente, devido à constante mudança e evolução tecnológica, tornando o consumidor mais exigente, até com o vestuário do quotidiano (Ferraz & Vasconcelos, 2017). Esta evolução vem trazer a possibilidade de acrescentar interesse e relevância aos substratos têxteis convencionais através de diferentes funcionalidades, quer seja pela utilização de novas fibras, pelo desenvolvimento de novas estruturas, pela aplicação de novos acabamentos ou ainda, pela integração de sistemas eletrónicos (Ferreira et al., 2014).

Deste modo, a possibilidade de integrar fios têxteis condutores elétricos nos substratos têxteis tornando-os impercetíveis com o objetivo de proporcionar ao utilizador uma nova experiência e um melhor desempenho, conforto e bem-estar como também a capacidade de comunicação e monitorização de sinais é, nos dias de hoje, um objeto de estudo. Estes podem ser adicionados às estruturas têxteis através de costuras ou bordados por intermédio de máquinas industriais (Tao, 2005), ou ainda, embebidos no próprio substrato têxtil. É também possível revestir fios têxteis convencionais com metais, de modo a obter fios condutores (Gonçalves et al., 2018).

Assim sendo, as estruturas têxteis a utilizar serão as malhas de trama, visto que apresentam algumas características relevantes a estudar, como a possibilidade de produzir estruturas apenas com um fio e a capacidade de introduzir estes fios técnicos (Ray, 2012).

## 1.2. Objetivo

Este projeto tem como objetivo fundamental a otimização do processo de inserção de fios condutores em malhas de trama sem que sejam perceptíveis pelo utilizador, tendo em consideração a finalidade a que se destina, que será a medição de potenciais elétricos, nomeadamente a frequência cardíaca. Para tal, é necessário realizar um levantamento dos fios condutores existentes no mercado utilizados para aplicações têxteis assim como, quais as melhores estruturas das malhas para inserção dos fios e ainda, qual o melhor processo a utilizar pelos teares para a inserção dos mesmos.

Como objetivos imprescindíveis para atingir o objetivo fundamental é necessário:

- Estudar um método de inserção dos fios condutores têxteis tornando-os imperceptíveis;
- Estudar as condições necessárias para o funcionamento dos elétrodos;
- Estudar os efeitos que as operações de tricotagem, tingimento e manutenção podem ter no funcionamento dos elétrodos têxteis;
- Estudar as condições necessárias para o funcionamento dos elétrodos têxteis.

A maior problemática será então obter estruturas têxteis de malha de trama com fios têxteis condutores embebidos que apresentem as características elétricas pretendidas e que sejam capazes de desempenhar a função para a qual foram concebidos.

### 1.3. Metodologia

De modo a ser possível o desenvolvimento da presente dissertação, inicialmente foi realizada uma revisão da literatura relativamente aos têxteis inteligentes e quais os principais potenciais elétricos capazes de serem medidos através destes têxteis. Foram abordados de forma mais exaustiva aqueles que fazem mais sentido para este trabalho, ou seja, a eletromiografia e a eletrocardiografia, e quais os fios condutores mais utilizados para o efeito. Foi também efetuada uma revisão da literatura relativa à tecnologia de tricotagem e as diversas estruturas em malhas 3D capazes de se produzir. Posteriormente, foram testados os fios condutores definidos, quanto à sua condutividade e resistência mecânica. Já as estruturas de malha de trama tricotadas com os fios condutores, foram testadas quanto à sua capacidade de condução do sinal elétrico e a resistência elétrica que apresentavam, antes e após serem lavadas cinco vezes. Por último, foram testadas estas estruturas com elétrodos em dois voluntários, de forma a perceber se eram capazes de medir a frequência cardíaca dos mesmos, recorrendo a um aparelho capaz de enviar os dados para um dispositivo móvel através de *Bluetooth*.

## **1.4. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, sendo eles:

### **Capítulo dois – Enquadramento teórico e estado da arte**

Neste segundo capítulo são expostos os conceitos teóricos relacionados com o tema da presente dissertação, assim como alguns dos estudos já realizados e desenvolvidos pela comunidade científica no que toca à integração de fios condutores em têxteis.

### **Capítulo três – Materiais e métodos experimentais**

No terceiro capítulo são apresentados todos os materiais selecionados e os equipamentos utilizados para o desenvolvimento prático e ainda a explicação de todos os testes realizados.

### **Capítulo quatro – Apresentação dos resultados**

No capítulo quatro são exibidos os resultados dos testes realizados tanto aos fios condutores como aos elétrodos, assim como uma síntese dos resultados obtidos.

### **Capítulo cinco – Conclusões e perspectivas futuras**

No último capítulo é feita uma síntese do trabalho realizado e um resumo dos resultados obtidos e suas conclusões, assim como a exposição de alguns passos a realizar futuramente caso seja dada continuação à presente investigação.

## 2. Enquadramento teórico e estado da arte

Neste capítulo serão apresentados os resultados relativos à revisão de literatura efetuada, evidenciando os conceitos teóricos de maior relevância, como a definição de e-têxteis, a medição de potenciais elétricos através destes e quais os mais relevantes para este trabalho, como a eletromiografia e a eletrocardiografia e ainda, uma breve abordagem da tecnologia de tricotagem e das estruturas 3D em malhas de trama.

### 2.1. Definição de e-têxteis

Os têxteis inteligentes ou e-têxteis, do inglês *Smart textiles*, surgiram da definição de materiais inteligentes, *Smart materials*. Estes materiais são capazes de mudar as suas propriedades mecânicas, como a forma, a dureza e a viscosidade, ou propriedades térmicas, óticas e eletromagnéticas, de forma a reproduzir uma resposta ao meio envolvente (Ferreira et al., 2014). Podem ser divididos em três grupos (Stoppa & Chiolerio, 2014):

- Têxteis inteligentes passivos: apenas são capazes de sentir os estímulos do ambiente, operando como sensores;
- Têxteis inteligentes ativos: são capazes de detetar estímulos do ambiente, funcionando também como atuadores, reproduzindo uma reação ao estímulo;
- Têxteis muito inteligentes: são capazes de sentir, reagir e adaptar o seu comportamento às circunstâncias a que são submetidos.

Quanto às funções de um têxtil inteligente, existem cinco que estão presentes em qualquer produto, não sendo, no entanto, necessário que cada têxtil apresente todas as cinco em simultâneo. São estas a sensorização, o processamento de dados, a atuação, o armazenamento e a comunicação (Van Langenhove & Hertleer, 2004).

É também necessário que as fibras e as estruturas, ou seja, os tecidos e as malhas, apresentem requisitos, como a capacidade de suportarem diferentes tratamentos, tais como a lavagem e o enrugamento, sem comprometerem a sua funcionalidade. Outro requisito necessário é a necessidade de conferir conforto à peça final, tendo as fibras de ser finas e elásticas. Assim como o tecido final, que pela sua proximidade ao corpo, deve ser leve e elástico (Tao, 2005). Existem, de acordo com Hatch (2000),

três divisões distintas de conforto: o conforto termofisiológico, relativo à transferência de calor, transferência de ar e humidade, o conforto sensorial ou neurológico, que diz respeito ao contacto direto entre o têxtil e a pele e ainda, o conforto do movimento corporal, referente ao grau com que uma peça de vestuário é capaz de limitar os movimentos naturais do corpo humano.

Na Figura 1 estão demonstradas as características que os dispositivos eletrónicos devem manifestar, como a usabilidade e a funcionalidade, e as características inerentes às peças de vestuário, o conforto e moda, assim como, os atributos que os *smart textiles* devem apresentar, ou seja, as qualidades mencionadas anteriormente e ainda, a durabilidade e a segurança, que são comuns tanto para os dispositivos eletrónicos como para as peças de vestuário (Cho, 2010).

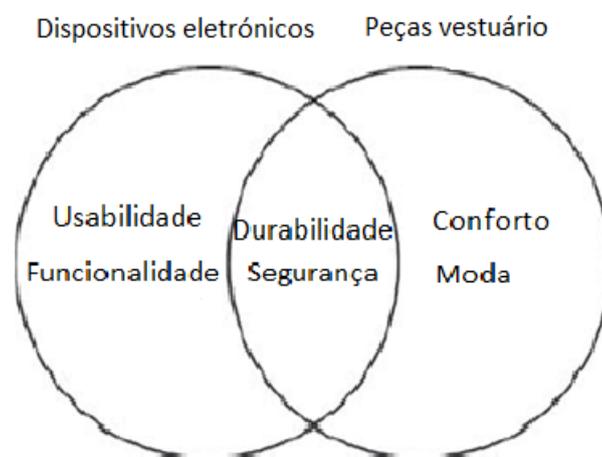


Figura 1. Características dos smart textiles. Adaptado de Cho (2010)

## 2.2. Medição de potenciais elétricos através de e-têxteis

É possível realizar a medição de sinais biológicos através de diferentes estruturas têxteis, como é o caso de tecidos, pastas de estampar e, neste caso concreto, através de malhas incorporando a tecnologia.

Concentrando a atenção na utilização de sistemas eletrônicos nos têxteis, é possível perceber a sua dimensão e utilidade em diversas áreas, tanto na saúde e no desporto, como no bem-estar. Assim sendo, é exequível a medição de diversos sinais biológicos, através de eletrodos têxteis, nomeadamente a taxa respiratória, transpiração, temperatura, a frequência cardíaca, sinais eletrocardiográficos (ECG) e eletromiográficos (EMG).

Nos têxteis inteligentes é possível a utilização de fios condutores, e serão estes o objeto de estudo neste projeto. Estes fios podem ser utilizados em aplicações anti estáticas, anti microbianas, anti odores, proteção, transferência de sinal e outras áreas (T. Dias, 2015). Estes podem ser adicionados às estruturas têxteis através de costuras ou bordados por intermédio de máquinas industriais (Tao, 2005), ou ainda, embebidos no próprio substrato têxtil. Ainda assim, uma das principais dificuldades na utilização de fios condutores prende-se com as características destes fios, onde é necessário que estes apresentem uma baixa rigidez à flexão e resistência à tração capazes de suportar as forças de tração a que serão submetidos no tear e durante a utilização da peça final a que se destinam, assim como a elasticidade, que possibilita a recuperação da forma inicial quando não há nenhuma força de tração (Catarino et al., 2011).

Relativamente aos fios embebidos no próprio substrato, existem já vários estudos realizados sobre o tema. Um circuito eletrónico foi construído a partir de diferentes fios têxteis condutores por Post e Orth (1997), onde as linhas condutoras foram conseguidas bordando fibras de metal ou tecendo fibras de seda envolvidas em folhas de cobre finas. Utilizaram um fecho de costura comum para conectar os fios condutores e a componente eletrónica (Cho, 2010). Dhawan et al. (2004) desenvolveram um estudo em que fios condutores e não condutores foram entrelaçados e tecidos de modo a ser possível obter circuitos eletricamente condutores à base de tecido (Cho, 2010). O Centro de pesquisa de *Smart Wear* da Universidade de Yonsei, desenvolveu linhas de transmissão à base de têxteis recorrendo a fios de aço inoxidável revestidos com teflon (Cho, 2010).

No que toca à condutividade elétrica, é possível obter esta característica através de diversos métodos, sendo o mais simples a incorporação de filamentos metálicos nos fios, assim como, a produção de fios totalmente metálicos (Alagirusamy & Das, 2010). É também possível obter estas propriedades

através de polímeros condutores (T. Dias, 2015). Os fios metálicos apresentam-se também como uma boa alternativa, uma vez que possuem uma baixa resistividade, não se opondo ao fluxo de corrente elétrica. Neste caso, quanto mais baixa for a resistividade do material, maior será a passagem de corrente elétrica. Na Tabela 1, estão representados os valores de resistividade de diferentes metais utilizados no revestimento de fios condutores.

Tabela 1. Resistividade dos metais (Chung, 2010)

	Resistividade a 20°C ( $\Omega cm$ )
Prata	$1.59 \times 10^{-6}$
Cobre	$1.72 \times 10^{-6}$
Ouro	$2.44 \times 10^{-6}$

Ainda assim, os fios metálicos apresentam algumas desvantagens, como a sua baixa elasticidade e força, que faz com que facilmente possam quebrar (T. Dias, 2015).

Os fios condutores elétricos podem ser introduzidos diretamente no tecido ou malha da peça que se pretende desenvolver, ou na estrutura do fio a utilizar (T. Dias, 2015). Ou seja, é possível a existência de fios completamente condutores ou uma mistura de fios condutores com fibras têxteis, como mencionado anteriormente, sendo as mais comuns o poliéster e a poliamida. As fibras e fios condutores são divididos em intrínsecos ou extrínsecos, onde os primeiros incluem fibras ou ligas metálicas, fibras de carbono e polímeros intrinsecamente condutores (Biermann, 2019). Já os segundos, são obtidos através da combinação de materiais condutores e materiais não condutores (Biermann, 2019). A Figura 2 apresenta as diferentes estruturas que estas fibras e fios condutores podem apresentar, onde se destacam os fios têxteis revestidos com um material isolante e os totalmente condutores. As mais condutoras são as que são obtidas diretamente de materiais condutores, como os metais apresentados na Tabela 1 (Bashir, 2013).

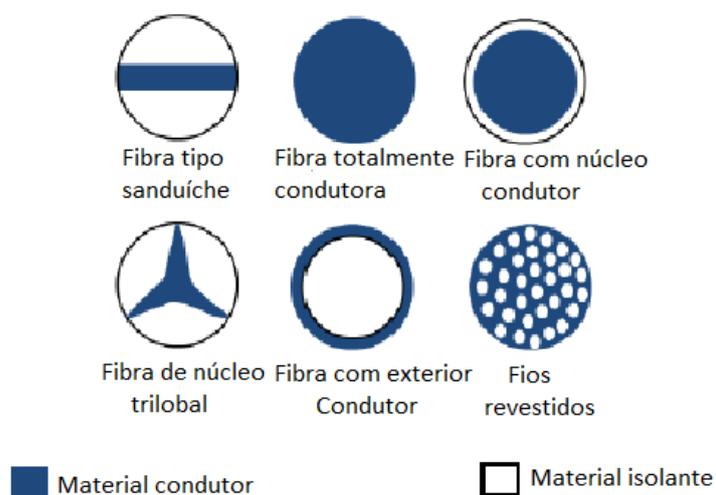


Figura 2. Diferentes estruturas dos fios condutores. Adaptado de (Bashir, 2013)

Relativamente aos fios condutores utilizados, existem já diversos aplicados e testados para utilização nos e-têxteis. A Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4 apresentam alguns exemplos dos fios utilizados, assim como as empresas que os produzem e algumas das suas características mais relevantes.

Tabela 2. Fios têxteis condutores elétricos utilizados nos e-têxteis

Fio	Empresa	Caraterísticas
Bekinox VN 12/1x275/100Z	Bekaert	Multifilamento de aço inoxidável
Bekinox VN 12/4x275/100S	Bekaert	Multifilamento de aço inoxidável
Bekintex BK 50/2	Bekaert	Aço inoxidável e mistura de fibras de poliéster

Tabela 3. Fios têxteis condutores elétricos utilizados nos e-têxteis (continuação)

Bekintex BK 50/1	Bekaert	Aço inoxidável e fio simples de poliéster
Shieldex 235/36 Z130 HC+B	Statex	Fio de poliamida revestido a prata
Shieldex 44f Z 250 RD	Statex	Fio de poliamida revestido a prata
LessEmf	LessEmf	Fio condutor revestido a prata com alta resistência
Stainless steel 2pyl	Sparkfun	Multifilamento de aço inoxidável
Stainless steel 4pyl	Sparkfun	Multifilamento de aço inoxidável
Silver-tech nº100	Amann	Filamento contínuo de poliamida revestido a prata
Silver-tech nº50	Amann	Poliamida revestida a prata/fio híbrido de poliéster
Nm10/3 conductive yarn	Plug and Wear	80% Poliéster/ 20% aço inoxidável
Silver Spun Yarn	Fell good yarn company	87% algodão penteado/5% prata/ 5% Nylon/ 3% spandex
High Flex 3981 /X1 Silver 14/000	Karl Grimm	Cobre revestido a prata
High Flex 7077 7X1 Silveer 14/000	Karl Grimm	Cobre e Kevlar revestido a prata
Constantan High-Flex 8294 7x1	Karl Grimm	Liga de cobre-níquel
Elitex Fadenmaterial Art Nr. 235/34 PA/Ag	Imbut GmbH	100% poliamida revestida a prata
Elitex 235/f34 Lycra	Imbut GmbH	Fio de poliamida e lycra revestido a prata

Tabela 4. Fios têxteis condutores elétricos utilizados nos e-têxteis (continuação)

Elinox SPP 35 300	Soieries Elite	Fio retorcido de poliéster com monofilamento de aço inoxidável
Elinox PES HT 1100 + VN 60 400t S/Z	Soieries Elite	Fio simples duplo de poliéster com monofilamento de aço inoxidável
Conductive linnen thread	Bart Francis	Fio de linho e aço inoxidável
Nichrome monofilament 100 $\mu\text{m}$	Sourcingmap	Liga de Níquel e cromo

Existem já no mercado diversas empresas que comercializam e-têxteis, integrando as tecnologias já mencionadas e os fios condutores. Os seus principais objetivos são o conforto do utilizador e a incorporação dos fios condutores e diferentes tecnologias discretamente nos têxteis, de modo a fazerem parte da peça de vestuário, como se fossem um só.

A empresa AiQ® *Smart Clothing* desenvolveu uma *t-shirt*, *BioMan+*, representada na Figura 3, capaz de monitorizar os valores dos batimentos cardíacos e ECG para atletas e amantes de desporto. Consiste em elétrodos têxteis formados por fios condutores com o objetivo de adquirir os sinais mencionados anteriormente.



Figura 3. AiQ® *Smart Clothing*: *BioMan+* (Clothing, sem data)

A empresa canadiana *OMsignal Smart Clothing* desenvolveu um top desportivo, o *Ombra*, representado na Figura 4, que é capaz de monitorizar a frequência cardíaca, a respiração, as calorias gastas durante a prática de atividade física e o nível de esforço e fadiga. Através da aplicação de telemóvel desenvolvida pela própria empresa, a *OMrun app*, o atleta recebe um parecer sobre o seu desempenho.

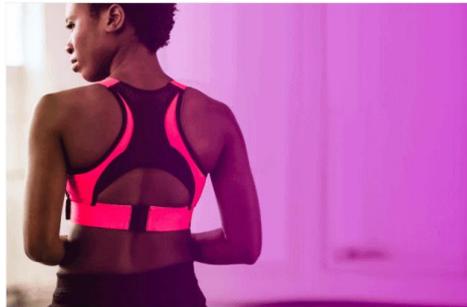


Figura 4. *OMsignal Smart clothing: Ombra (Lab, sem data)*

A empresa norte americana *Sensoria®*, para além de um top desportivo e de uma *t-shirt* de desporto, desenvolveu as *Smart Socks*, representadas na Figura 5, associadas ao slogan *A better way to run*, ou seja, uma melhor forma de correr. Estas meias inteligentes, através de sensores completamente têxteis, não só medem a distância e a velocidade a que o atleta corre, como a qualidade da corrida, permitindo ao atleta obter o seu melhor desempenho. Através da aplicação de telemóvel desenvolvida pela mesma empresa, *Sensoria® Run app*, o atleta recebe estas informações e ainda é capaz de melhorar a qualidade de corrida devido à capacidade que esta aplicação tem de apresentar como o atleta pousa o pé no chão durante o movimento.



Figura 5. *Sensoria® - Smart Socks (Sensoria, sem data)*

Na Tabela 5 é apresentada uma síntese destes e-têxteis apresentados.

Tabela 5. Exemplos de e-têxteis comercializados

Empresa	Produto	Descrição
<i>AiQ® Smart Clothing</i>	<i>BioMan</i>	T-shirt capaz de monitorizar os valores dos batimentos cardíacos e sinais ECG
<i>OMsignal Smart Clothing</i>	<i>Ombra</i>	Top desportivo capaz de monitorizar a frequência cardíaca, a respiração e as calorias gastas durante a prática de atividade física
Sensoria®	<i>Smart Socks</i>	Meias inteligentes capazes de medir a distância, a velocidade a que o atleta corre e a forma como este pousa o pé

### 2.3. Eletrocardiografia

A eletrocardiografia foi o primeiro sinal bioelétrico a ser estudado devido à sua importância, uma vez que é o teste não invasivo mais utilizado para avaliar a função cardíaca (Mirvin & Goldberger, 2011). Um eletrocardiograma é então um exame que deteta a atividade elétrica do coração, onde cada contração do músculo cardíaco ou das válvulas do coração é comandado por pequenos impulsos elétricos gerados no próprio coração (Mirvin & Goldberger, 2011). Neste teste, ECG, são inicialmente criadas correntes iónicas transmembranares através de fluxos iónicos por intermédio das membranas celulares e entre células adjacentes. Estas correntes são sincronizadas pela sequência de ativação e recuperação cardíaca de modo a criar um campo eléctrico cardíaco dentro e em volta do coração, que varia com o tempo durante o ciclo cardíaco. As correntes quando tocam na pele são detetadas pelos eléctrodos que são colocados em locais específicos do tronco (Mirvin & Goldberger, 2011). O método utilizado foi descoberto por Einthoven, onde são utilizados dois eléctrodos ativos e ainda um terceiro capaz de definir o zero virtual (Andrade, 2009).

É o método mais preciso e fiável da medição da frequência cardíaca, embora existam outros métodos, como a colocação de fitas elásticas com eléctrodos na zona da caixa torácica, ligadas a um pequeno aparelho que transmite os dados e permite a visualização e leitura dos valores medidos.

Catrysse et al. (2003) desenvolveram sensores de tecido com o intuito de registar medições de ECG. Estes sensores, apresentados na Figura 6, foram integrados num cinto que fez parte de um fato

inteligente com o objetivo de monitorizar crianças em ambiente hospitalar. Criaram uma alternativa aos elétrodos de gel convencionais, tricotados com aço inoxidável, que apelidaram de *Textrodes*. Estes apresentam como maiores vantagens a possibilidade de integração num fato ou camisola e a capacidade de não irritar a pele nem apresentar qualquer desconforto. Por outro lado, a maior desvantagem desta nova descoberta é a elevada impedância elétrodo-pele, que dá origem a recolhas de sinal mais fracas. Assim sendo, houve a necessidade de recorrer a um amplificador de modo a melhorar esta captura de sinal.

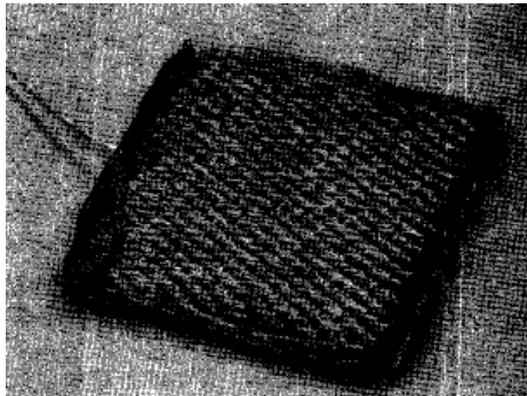


Figura 6. *Textrode tricotado 3cm x 3cm (Catrysse et al., 2003)*

López et al. (2010) desenvolveram, na Universidade de Carlos III em Madrid, um sistema capaz de monitorizar diversos sinais, como a temperatura corporal, a frequência cardíaca, sinal ECG e ainda, a capacidade de conhecer a localização exata dos pacientes, uma vez que o seu objetivo seria a utilização deste sistema em pacientes num ambiente de internamento hospitalar. Designaram este sistema de LOBIN, onde colocaram os sensores desenvolvidos numa camisola elaborada pela empresa Textronics, Inc.

Ankhili et al. (2019) desenvolveram um estudo relativo a elétrodos têxteis com o objetivo de gravar e enviar um sinal ECG sem fios e em tempo real para um telemóvel e posteriormente para a *cloud*. Foram testadas três formas diferentes de proteção dos elétrodos de modo que estes fossem laváveis, sendo elas, uma banda sem camada de proteção entre os elétrodos e o conector, uma banda com as linhas protegidas por fios simples e por último, bandas protegidas com poliuretano termoplástico (TPU). Estudaram também dois fios de poliamida revestidos a prata para bordar as bandas no tecido de algodão, o fio condutor Statex-Shieldex, que é revestido por prata e o fio condutor Madeira, que é um filamento revestido individualmente com prata. Após a realização de testes utilizando uma máquina de lavar doméstica, foram medidas as variações da resistência e conclui-se que o fio Shieldex apresentou uma

sensibilidade maior às lavagens do que o fio Madeira, isto porque, o revestimento de prata no fio Shieldex apenas foi aplicado na parte externa do fio enquanto no fio Madeira foi aplicado em cada filamento.

## 2.4. Eletromiografia

Relativamente à eletromiografia, existem duas técnicas utilizadas, a EMG de superfície e a EMG intramuscular, onde na primeira são utilizados eléttodos não invasivos e na segunda eléttodos invasivos (Chowdhury et al., 2013). Posto isto, para este estudo apenas é relevante a EMG de superfície, através da utilização de eléttodos, uma vez que é a técnica mais comum, por ser não invasiva e por ser possível de realizar por alguém qualificado mas que não um médico, apresentando um risco mínimo para o indivíduo (Day, 2002).

A EMG de superfície é uma técnica atualmente muito utilizada, sendo reconhecida como uma forma segura, livre de invasão tecidual e de fácil aplicabilidade, tendo como objetivo verificar a atividade elétrica neuromuscular em diversas doenças e/ou lesões que venham afetar esse sistema e ainda, as modificações, os efeitos e a especificidade do exercício e/ou treino físico na função neuromuscular (Souza, 2015). Alguns dos benefícios da eletromiografia são a medição do desempenho muscular, a capacidade de permitir ajudar na tomada de decisões antes ou após cirurgia, o facto de documentar os regimes de tratamento e de treino e ainda, a capacidade de realizar análises que permitem melhorar as atividades desportivas (Konrad, 2011).

Na Tabela 6 estão evidenciadas algumas áreas em que a eletromiografia desempenha um papel importante.

*Tabela 6. Áreas em que se utiliza a EMG. Adaptado de Konrad (2011)*

<b>Pesquisa Médica</b>	<b>Reabilitação</b>	<b>Ergonomia</b>	<b>Ciência do desporto</b>
Ortopedia	Pós cirurgia/acidente	Prevenção de riscos	Biomecânica
Cirurgia	Reabilitação neurológica	Design ergonómico	Análise de movimento
Neurologia funcional	Fisioterapia	Certificação de produto	Treino de força de atletas
Análise de locomoção e postura	--	—	Reabilitação no desporto

De modo a ser possível medir um sinal EMG, é escolhido o músculo que se pretende analisar, submetendo o mesmo a algum movimento, havendo uma fase de contração e relaxamento do mesmo. Um estudo realizado por Carvalho et al. (2015) evidencia a obtenção deste sinal. Na Figura 7 é visível um sinal EMG quando se submete o bíceps a um levantamento de um haltere de 5kg durante 10 segundos. O intervalo A representa o instante em que o haltere está a ser levantado e C quando o braço está a voltar para a sua posição habitual. O intervalo B e D representam momentos estáticos, onde B representa o braço fletido e D o braço relaxado (Carvalho et al., 2015).

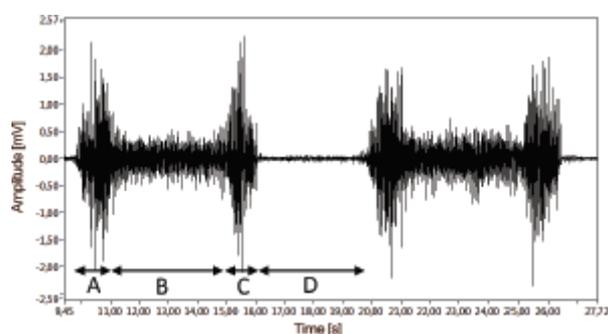


Figura 7. Exemplo de um sinal EMG durante as diferentes fases de um exercício (Carvalho et al., 2015)

Finni et al. (2007) realizaram um estudo relativo à validade, testes de confiabilidade e viabilidade de eléttodos têxteis em calções para medições de EMG, quando comparados com eléttodos tradicionais. Para tal, participaram cinquenta voluntários nesse estudo, onde os músculos estudados foram os quadríceps, realizando um movimento do joelho com diferentes ângulos, medindo então os níveis de EMG captados. Concluíram assim que os eléttodos têxteis apresentam valores semelhantes aos eléttodos tradicionais, sendo um método válido para avaliar a atividade muscular, seguro e fácil de utilizar em atletas.

Zhang et al. (2010) conduziram um estudo relativo à medição de sinal EMG para utilização em próteses motorizadas. Para isso, utilizaram eléttodos compostos por um tecido à base de cobre e níquel e eléttodos metálicos normalmente utilizados, com o intuito de comparar qual teria a melhor performance. Participaram neste estudo quatro homens saudáveis, entre os vinte e os trinta anos de idade, sem qualquer patologia neurológica ou muscular. Cada teste foi realizado duas vezes, no qual

inicialmente os dados foram adquiridos através de elétrodos têxteis, onde foi marcada a sua posição para após cerca de meia hora se proceder à medição com elétrodos convencionais, exatamente no mesmo local. Da segunda vez, foram inicialmente testados os elétrodos metálicos e posteriormente os elétrodos têxteis. Quanto aos movimentos realizados para medição do sinal EMG, foram utilizados oito diferentes movimentos, em que cada participante assistiu a um vídeo onde teria de repetir exatamente o movimento de modo a não haver erros e ainda, uma posição estática. Consultando os resultados obtidos, Zhang et al. (2010) demonstraram que a precisão média de medição quando usados elétrodos têxteis foi de 94.34% e de 94.25% quando utilizados elétrodos convencionais, concluindo assim que os elétrodos têxteis podem ser utilizados para medições de sinal EMG em próteses motorizadas.

Fonseca et al. (2013) realizaram também um estudo relativo à comparação da aquisição de sinais EMG convencionais e têxteis. O seu objetivo foi então a criação de um fato de natação, através de um projeto designado *BIOSWIM (Body Interface System based on Wearable Integration Monitoring)*, que fosse capaz de registar tanto sinais fisiológicos como biomecânicos com vista a inferir a performance do atleta. Para isso, utilizaram elétrodos têxteis tradicionais de cloreto de prata e elétrodos têxteis, fabricados a partir de fios multifilamento, constituídos por uma mistura de 80% de poliamida revestida a prata (Elitex) e 20% elastano. Foi tido o cuidado de que ambas as áreas dos dois elétrodos distintos fosse a mesma, de modo a não interferir nos resultados finais. Ainda, de modo a fixar os elétrodos têxteis, já que estes não possuem propriedades autoadesivas, foi utilizado um material esponjoso semirrígido, que foi mantido em contacto com a pele através de uma banda-elástica ajustável. Participaram neste estudo dez voluntários, cinco do sexo feminino e cinco do sexo masculino, destros e sem qualquer problema neuromuscular conhecido. O músculo escolhido para conduzir este estudo foi o *biceps brachii* direito uma vez que apresenta uma área capaz de acomodar os diferentes elétrodos. O movimento escolhido foi a contração voluntária máxima durante 10 segundos três vezes, havendo um descanso de pelo menos dois minutos entre movimentos. Recolhidos e analisados os dados, Fonseca et al. (2013) concluíram que os elétrodos têxteis são capazes de reproduzir sinais com padrões idênticos aos elétrodos convencionais, podendo ser utilizados como uma alternativa fiável em aplicações de EMG.

## 2.5. Eléttodos têxteis

Existem dois tipos de eléttodos capazes de monitorizar sinais bioelétricos em músculos superficiais ou conjuntos de músculos, como   o caso da eletrocardiografia (ECG) e da eletromiografia (EMG), sendo eles os eléttodos de superfície e os eléttodos de agulha (Paiva, 2015). Neste estudo apenas   relevante mencionar os eléttodos de superfície, uma vez que serão os utilizados. Assim sendo, no que toca aos eléttodos de superfície, existem os eléttodos convencionais e os eléttodos têxteis. Os primeiros apresentam geralmente uma forma circular entre 3 e 5 mm de diâmetro e são compostos por prata e cloreto de prata, Ag-AgCl, sendo fixados em locais específicos do corpo do paciente (Paiva, 2015) (Lopes et al., 2019). De modo a ser possível a utiliza o e uma boa leitura dos sinais com estes eléttodos,   necessário a aplica o de um gel condutor para reduzir a impedância entre a pele-el ttodo, havendo a necessidade de realizar uma limpeza prévia do local, obtendo-se então um sinal com uma elevada qualidade (Lopes et al., 2019). Por outro lado, o facto de ser necessário recorrer a um gel condutor faz com que estes eléttodos não sejam viáveis para utiliza es a longo prazo, uma vez que existe a possibilidade de causar irrita es na pele (Lopes et al., 2019).

Assim, após se perceber as desvantagens dos eléttodos convencionais, começaram a ser estudadas alternativas, como   o caso da utiliza o de eléttodos têxteis. Estes podem ser realizados através de diversas técnicas, como a tricotagem, a tecelagem, bordados, recorrendo a fios condutores, tintas condutoras ou fios convencionais revestidos (Paiva, 2015). Na presente disserta o, foram utilizados fios condutores recorrendo   tricotagem. Ainda assim, embora os eléttodos têxteis sejam uma boa op o e estejam cada vez mais a ser estudados e desenvolvidos, apresentam também as suas desvantagens e adversidades. Uma das maiores dificuldades que os eléttodos enfrentam   a impedância pele-el ttodo, que se entende como a oposi o que um circuito elétrico faz   passagem de corrente elétrica quando   submetido a uma tensão. Isto acontece uma vez que a superfície da pele   relativamente não condutora (Peres, 2010). Outra das adversidades prende-se com a necessidade constante do contacto entre o el ttodo e a pele, de modo a garantir a qualidade do sinal (Catarino et al., 2011). Outra situa o importante a ter em considera o   a contra o da pele do utilizador, uma vez que a contra o da mesma ou a movimenta o dos eléttodos são fatores que influenciam fortemente o sinal medido, isto porque, como a pele   geradora de corrente, a sua atividade gera uma diferença de potencial entre o interior e o exterior, por isso, a contra o causa perturba es na distribui o das cargas entre a pele-el ttodo levando a uma altera o momentânea no seu potencial e conseqentemente a uma irregularidade do sinal recolhido pelos eléttodos (Andrade, 2009).

Existem dois tipos de elétrodos, os elétrodos secos, que estão em contacto direto com a pele onde não é utilizado qualquer gel, tendo como vantagem a reutilização dos elétrodos e ainda, a não utilização de outro material, sendo que, segundo Wijesiriwardana et al. (2004), estes apresentam um melhor desempenho em condições de longo prazo. Estes elétrodos são também vantajosos quando é necessária uma monitorização regular do paciente, como é o caso da população envelhecida (Catarino et al., 2017). Por outro lado, existem os elétrodos de gel que promovem uma boa ligação com a pele, uma vez que reduzem a impedância pele-eléctrodo, melhorando o sinal recebido (Zhang et al., 2010), apresentando no entanto um tempo de vida útil mais reduzido (Ribeiro, 2016).

Existem determinadas características que permitem uma melhor performance dos elétrodos nos e-têxteis, como a impermeabilidade, a densidade, o alongamento e estabilidade e ainda, a rugosidade (Carvalho et al., 2015).

No que toca à impermeabilidade, o facto de um eléctrodo apresentar uma membrana à prova de água permite que o vapor de água se mantenha entre a pele e a superfície dos elétrodos, funcionando como um eletrólito (Carvalho et al., 2015).

Quanto à densidade do material condutor, um material que apresenta valores superiores de densidade tem uma maior condutividade, ou seja, quanto maior a densidade, melhor o desempenho (Carvalho et al., 2015).

Quanto ao alongamento e estabilidade, quando existe um alongamento do eléctrodo, o número de pontos de contacto entre a pele e este aumenta. Posto isto, alterações no alongamento alteram também as propriedades eléctricas da estrutura, ou seja, é necessário a existência de alongamento das estruturas, mas deve haver uma estabilidade das mesmas quando os valores de alongamento e posição são os mais favoráveis (Carvalho et al., 2015).

Por último, quanto maior é a rugosidade da estrutura, menos pontos de contacto existem, assim sendo, uma estrutura mais lisa e uniforme apresenta um melhor desempenho. (Carvalho et al., 2015)

Relativamente aos elétrodos têxteis, utilizados para medir os sinais biológicos já mencionados, existem, neste momento, estudos mais focados na área da eletrocardiografia e da eletromiografia. Estes elétrodos podem ser aplicados através de diversas técnicas, como a estamperia digital, tecelagem ou tricotagem (Carvalho et al., 2015). Este estudo incidirá apenas nos elétrodos baseados em estruturas tricotadas.

### 2.5.1. Posicionamento dos elétrodos

Sendo que este projeto tem como objetivo criar uma banda elástica capaz de realizar as medições da frequência cardíaca, os elétrodos serão introduzidos nesta banda, sendo importante e de elevada relevância perceber o melhor local para a sua colocação, de modo a obter o melhor sinal possível, visto que, o posicionamento dos elétrodos pode resultar numa boa ou má interpretação dos sinais obtidos. Andrade (2009) desenvolveu um estudo relativo a este tema, referente à aquisição do sinal ECG, onde testou seis posições distintas para a colocação dos elétrodos, sendo que, assumiu a posição 1 como posição de referência recomendada pelo fabricante na qualidade de melhor posição, tendo sido neste caso a *Biopac Systems* a empresa fabricante que desenvolveu o *BioHarness*. Este aparelho é capaz de monitorizar vários sinais em simultâneo, entre eles a frequência cardíaca, o sinal ECG, e a taxa de respiração e transmiti-los via *Bluetooth*, à semelhança de outros dispositivos do mesmo tipo.

Na Figura 8 é possível ver os diferentes posicionamentos dos elétrodos estudados, incorporados na banda elástica e na Figura 9 o sinal ECG obtido para o mesmo posicionamento dos elétrodos.

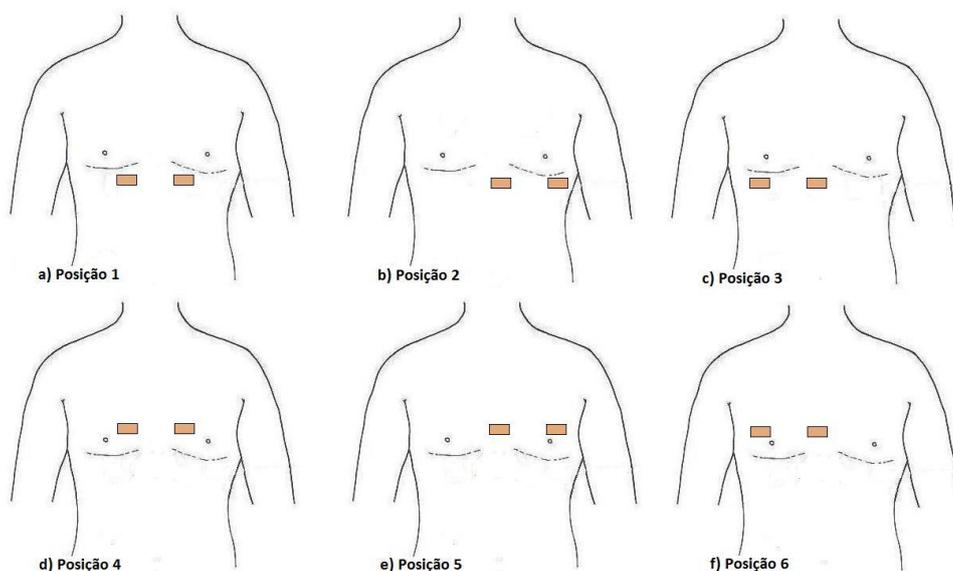


Figura 8. Diferente posicionamento dos elétrodos estudados por (Andrade, 2009)

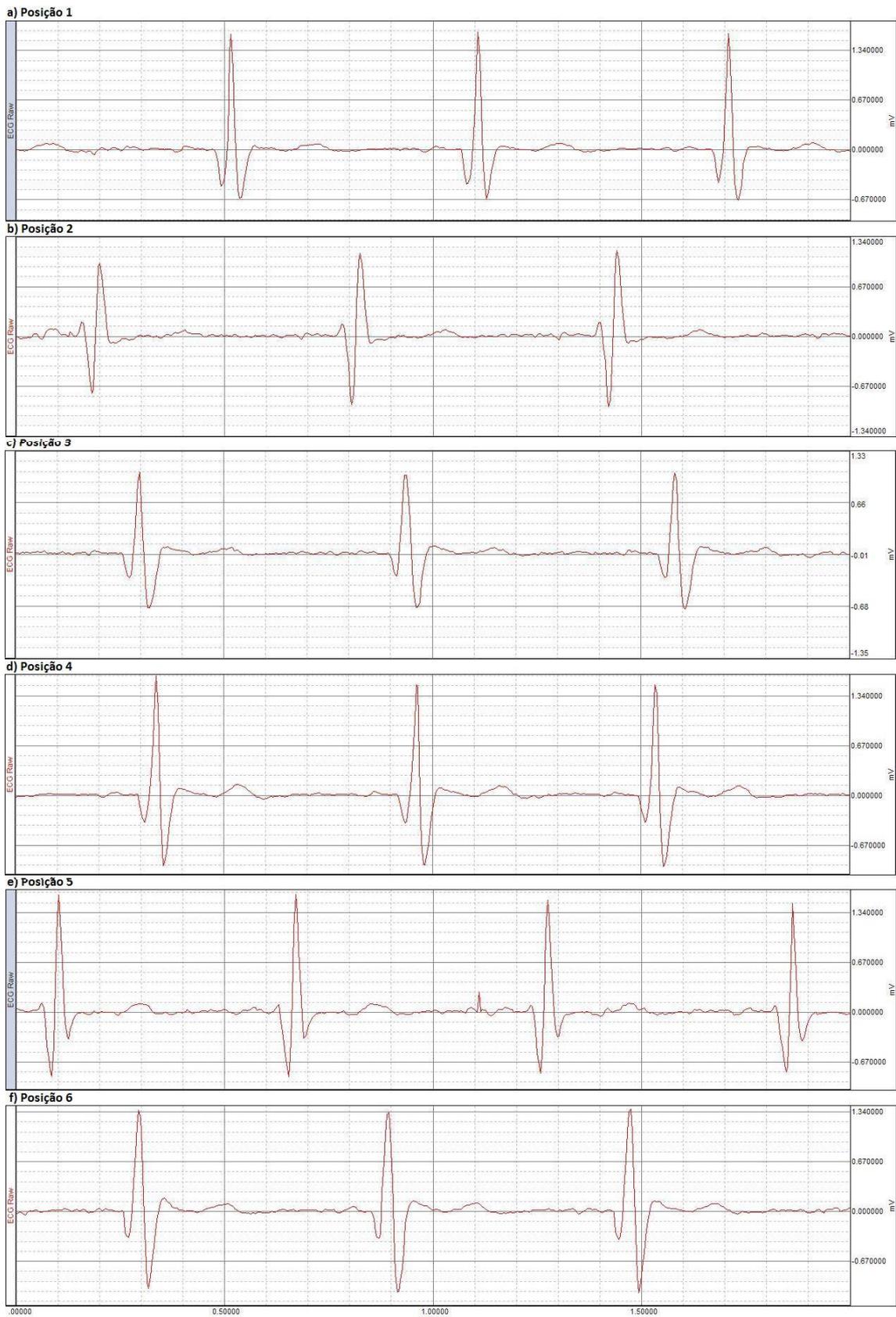


Figura 9. Sinal ECG obtido para as diferentes posições dos elétrodos (Andrade 2009)

Através dos gráficos obtidos, Andrade (2009) foi capaz de identificar diferenças entre as várias posições testadas, concluindo sobre a melhor posição a utilizar. Assim sendo, foi possível observar que a posição 1 é a que se mostra mais adequada, posição esta referida anteriormente como recomendada pelo fabricante do cinto utilizado no estudo, uma vez que, pela análise do primeiro gráfico esta é a onda QRS que mais se aproxima das características ideais para a aquisição de um sinal ECG, segundo a medicina.

## 2.6. Tecnologia de tricotagem e estruturas 3D em malhas de trama

A tricotagem é a segunda mais utilizada e mais antiga tecnologia de obtenção de tecidos, sendo apenas superada pela tecelagem, onde, para se obter um produto final na tricotagem, ocorre o entrelaçamento do fio através de laçadas (Nawab et al., 2017). As laçadas são os elementos fundamentais destas estruturas têxteis e são constituídas por uma cabeça, duas pernas e dois pés. É possível dividir as malhas em duas famílias, malhas de teia e malhas de trama, sendo que, como já mencionado, este estudo estará focado nas malhas de trama. Na Figura 10 estão representadas estruturas de malha de trama e estruturas de malha de teia, respetivamente. As malhas de trama são produzidas no sentido horizontal, sendo possíveis de produzir apenas através de um fio ou mais fios de trama. Já as malhas de teia são produzidas no sentido longitudinal, a partir de um conjunto de fios de teia. Comparando as duas, as malhas de trama apresentam-se como sendo as mais produzidas, são mais elásticas e possibilitam uma maior diversidade de desenhos. Já as malhas de teia apresentam como vantagem o facto de serem leves (Leite, 2011).

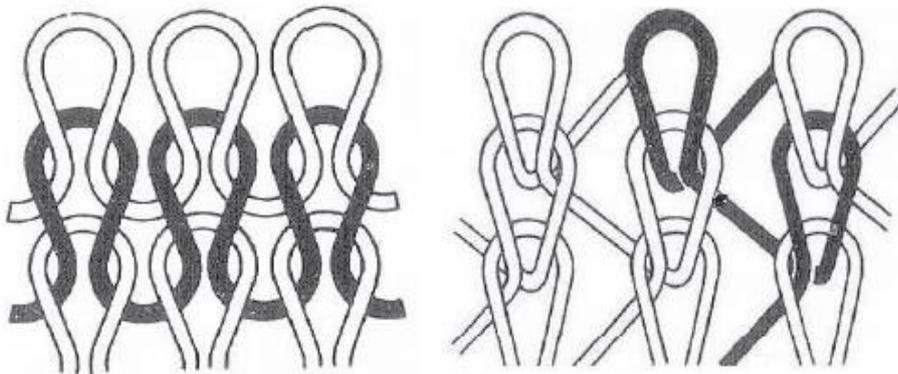


Figura 10. Estrutura de malha de trama e malha de teia, respetivamente (Ray, 2012)

Nas malhas, ao grupo de laçadas dispostas horizontalmente dá-se o nome de fileira e ao grupo de laçadas dispostas verticalmente dá-se o nome de coluna. Existem três tipos principais de laçadas, a laçada normal, a laçada carregada e a laçada flutuante, representadas na Figura 11.

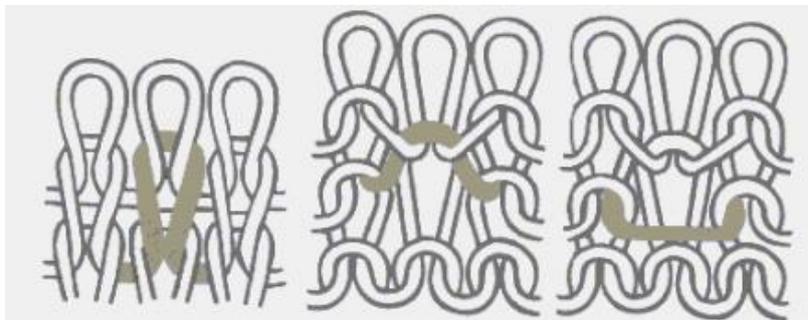


Figura 11. Laçada normal, laçada carregada e laçada flutuante, respectivamente (Aquino, 2008)

Relativamente à tricotagem de malha de trama, esta pode ser dividida em tricotagem circular e reta, isto consoante o tipo de malha e o tipo de agulha (Choi & Powell, 2005), podendo então os teares ser divididos em teares circulares e teares retilíneos, que produzem as malhas através de elementos tricotadores, sendo eles, as agulhas, as platinas, os elementos transferidores, os *jacks* e os guia-fios (Araújo et al., 2000). Estes teares apresentam diferentes características, sendo os retilíneos mais versáteis do que os circulares relativamente às tecnologias, como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7. Tecnologia dos teares

Tecnologia	Tear retilíneo	Tear circular
<i>Jacquard</i>	✓	✓
Intarsia	✓	✓
Transferência de laçada entre bancadas	✓	X
Transferência de laçadas entre agulhas adjacentes	✓	✓
Alteração do comprimento de laçada	✓	✓
Torcimento de bancada	✓	X

Os teares de trama são classificados consoante diversas características, sendo elas (Nawab et al., 2017):

- O número de cames de agulhas;
- O diâmetro;
- A natureza do sistema de alimentação;
- A estrutura de malha;
- Produtos especiais.

As diferentes estruturas de malhas podem ser produzidas recorrendo a um sistema de agulhas ou a dois sistemas de agulhas.

Quanto às estruturas de malha produzidas com um sistema de agulhas, estas combinam os diferentes tipos de laçadas e apresentam o direito diferente do avesso (Moreira de Sousa, 2013). A estrutura mais básica e simples de produzir é o *jersey* simples, que é utilizada como base para todos os outros tipos de estruturas. É formada através de laçadas normais simples que se encontram entrelaçadas na mesma direção, repetindo-se as laçadas normais na direção das colunas e das fileiras (André Catarino, 1998). Na Figura 12 estão representados o direito técnico e o avesso técnico desta estrutura. Através desta estrutura é possível formar riscas verticais, horizontais e xadrez. Outra estrutura muito utilizada é o Rib 1x1 que é produzido através de dois sistemas de agulhas e apresenta-se como uma estrutura mais cara e pesada de produzir (Spencer, 2001).

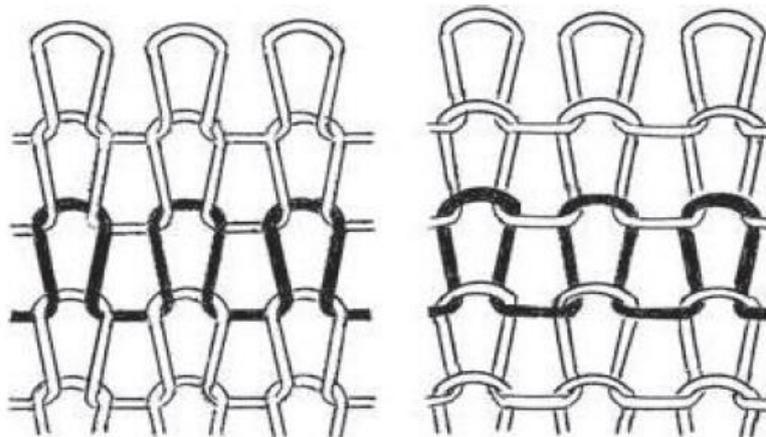


Figura 12. Direito técnico e avesso técnico da estrutura jersey, respetivamente (Ray, 2012)

Quanto aos teares de trama, estes possibilitam a seleção individual de agulhas, sendo esta uma técnica muito utilizada tanto para diferentes *designs* de cores e diferentes padrões. Dependendo do tipo de tear utilizado, as agulhas são selecionadas consoante o *design* pretendido, podendo criar laçadas normais, carregadas, flutuantes e transferência de laçada (Ray, 2012).

Existem diversas técnicas capazes de conferir diferentes *designs* de superfície nas malhas, sendo elas: *Jacquard*, intarsia, pontos em relevo, pontos tricotados parcialmente e transferência de laçada (Magnus et al., 2010), sendo que, para o trabalho apresentado, as mais relevantes são o *Jacquard* e a intarsia.

O *Jacquard* permite a tricotagem de qualquer tipo de ponto, proporcionando uma liberdade total na estrutura a produzir, dando origem a possibilidades incontáveis (Magnus et al., 2010). Já a intarsia é uma técnica onde os fios inativos apenas são solicitados pelas agulhas quando existe a necessidade de mudança de cor, sendo que o direito e o avesso apresentam-se de forma semelhante (Magnus et al., 2010). Ou seja, quando um fio não está a ser utilizado não é eliminado, voltando a ser solicitado assim que necessário. No esquema apresentado na Figura 13 é possível perceber as diferenças entre os teares de trama retilíneos e circulares, assim como as técnicas que estes teares são capazes de realizar.

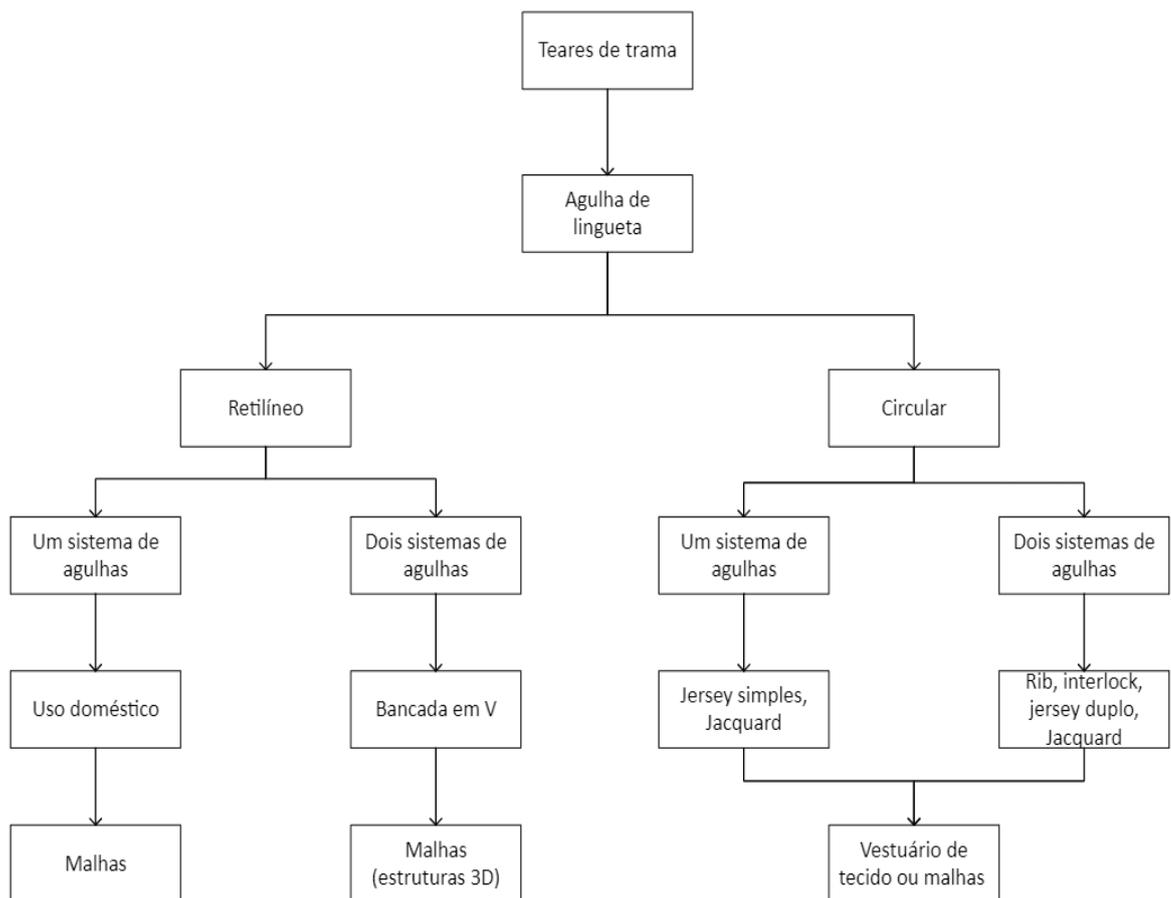


Figura 13. Classificação simplificada dos teares de trama. Adaptado de Richard Horrocks & Anand (2016)

Com o aparecimento dos computadores, também a engenharia têxtil foi influenciada e beneficiou desta invenção em diversas áreas, como o controlo de processo e o design (Nawab et al., 2017). Neste caso, concentrando a atenção na área do design, surgiu um programa, denominado CAD, *Computer-Aided Design*, em português, design auxiliado por computador. Este consiste na combinação de um *hardware* e de um *software* concebidos especificamente para o propósito (Nawab et al., 2017). Está organizado em dois módulos distintos, um concebido particularmente para desenhar as peças e outro para programar o tear (A. Catarino, 2008).

Este sistema facilita e auxilia na realização do design, de diversas formas (Nawab et al., 2017):

- Representação gráfica do produto;
- Fácil alteração da representação gráfica;
- Registo do design e de todas as alterações realizadas até a obtenção do design desejado;
- Análise de designs complexos.

Inicialmente o CAD era utilizado apenas para estruturas 2D, sendo que atualmente ocupa um papel importante no design de estruturas 3D. Na tricotagem, o CAD permitiu a redução de tempo e custos, através da eliminação de acertos e ensaios de produção e ainda, a minimização de erros (Nawab et al., 2017). É utilizado na realização do design de diferentes padrões e estruturas de malha.

### **Tecnologia *seamless***

A tecnologia *seamless* surgiu com um novo conceito, as roupas sem costura, apresentando um conforto superior, quando comparada com a tecnologia já existente. Ao apresentar peças de vestuário sem costuras, ou com um número reduzido, apresenta-se como uma tecnologia capaz de economizar tempo de produção e custos associados às tarefas de corte e costura (Choi & Powell, 2005).

Inicialmente, surgiu com o intuito de produzir vestuário íntimo, sendo que, atualmente traduz também um valor de grande importância noutras áreas, como a automóvel, desportiva e na medicina (Nayak & Padhye, 2015).

Uma das maiores vantagens desta tecnologia é a capacidade de adaptação das peças criadas ao corpo, sendo também de elevada importância referir a compressão e os valores de permeabilidade ao ar e à água que estas peças apresentam (Magnus et al., 2010). São também outras vantagens o conforto e valor estético, visto que, como o vestuário não apresenta costuras, não existe o inconveniente de incompatibilidade de padrões, nem o desconforto provocado pelas mesmas. Além disso, o custo de produção, como mencionado anteriormente, é um dos fatores positivos, assim como o tempo de fabrico,

visto que há etapas que não se realizam. Existe ainda uma redução do desperdício provocada pelas operações de corta e cose, que não são efetuadas e por último, destacam-se a flexibilidade, qualidade e durabilidade que as peças apresentam (Nayak & Padhye, 2015). Relativamente às desvantagens desta tecnologia, segundo Choi e Powell (2005), um dos maiores problemas é a dificuldade de obter a mesma tensão em todas as laçadas e ainda, a seleção alternada de agulhas, que dá origem a peças de vestuário mais abertas e menos elásticas, sendo necessária a utilização de fios apropriados. Outro problema prende-se com a produção de uma peça completa, onde existindo um defeito durante a sua produção, toda a peça é inutilizada.

Este vestuário é geralmente produzido em teares circulares, embora também seja possível ser produzido em teares retilíneos, onde as peças produzidas obtêm uma forma tubular (A. Catarino, 2008). Estes teares permitem produzir e têm uma produtividade e tecnologias superiores aos teares retilíneos, sendo capazes de suprir as exigências da moda e do mercado (A. Catarino, 2008). Possuem a capacidade de produzir diferentes estruturas, como o rib, Jacquard e riscas, e ainda, a habilidade de produzir desenhos e imagens através da seleção individual dos fios.

No que toca à mecânica e dimensões de um tear circular seamless, estes apresentam apenas um cilindro, com um diâmetro que pode variar entre 12'' e 16'', e conseqüentemente entre 592 e 1584 agulhas que são representados pelo jogo de agulhas (A. Catarino, 2008).

Um tear seamless encontra-se estruturado em três grandes sistemas: o sistema de alimentação do fio, o sistema de tricotagem e o sistema de tiragem (A. Catarino, 2008). O primeiro, como o próprio nome indica, é responsável pelo fornecimento do fio ao sistema de tricotagem, através de uma tensão de entrada do fio estável. O sistema de tricotagem engloba vários componentes e subsistemas, como o cilindro, o disco, o seletor eletrónico de fios e respetivos mecanismos, o sistema de cames, com os seus respetivos mecanismos e seletor de *jacks*, o subsistema de manutenção permanente, como a lubrificação, sucção e ar, os sistemas de alimentação de fio relativos aos fios elastoméricos e por fim, o subsistema de monitorização e vigilância, tais como os detetores de quebra de fio, detetores de agulhas partidas, abridores de lingueta e luzes sinalizadoras (A. Catarino, 2008). Por último, o sistema de tiragem apresenta a capacidade de extrair a peça tricotada das agulhas do tear assim que concluída, através da sucção.

## Estruturas 3D

As estruturas de malha tridimensionais são já conhecidas desde o século XIX, embora apenas tenham sido utilizadas em projetos de engenharia por volta de meados do século XX, em diversas áreas, como vestuário de proteção, equipamento militar, geotêxteis, edifícios, medicina e desporto (Ionesi et al., 2010).

Penciu & Blaga (2010) destacaram no seu estudo, relativo aos princípios de criação de efeitos 3D, as desvantagens desta tecnologia, salientando o tempo de produção das diferentes formas complexas e ainda, a dificuldade de programação e design. Por outro lado, os produtos obtidos com esta tecnologia são de uma versatilidade elevada, e apresentam grandes possibilidades de diversificação através da variação de espessura, do desenvolvimento de diferentes estruturas e opacidade independente de ambos os lados da malha, pelo preenchimento dos espaços entre as malhas com um material para formar volume (Penciu & Blaga, 2010; Oliveira, 2016).

No que toca a este projeto, e de modo a garantir que os eletrodos apresentassem todas as características necessárias e importantes para o seu bom funcionamento, características estas já mencionadas, houve a necessidade de recorrer a estruturas de malha 3D.

Existem diversos tipos de malhas tridimensionais, apresentadas na Figura 14.

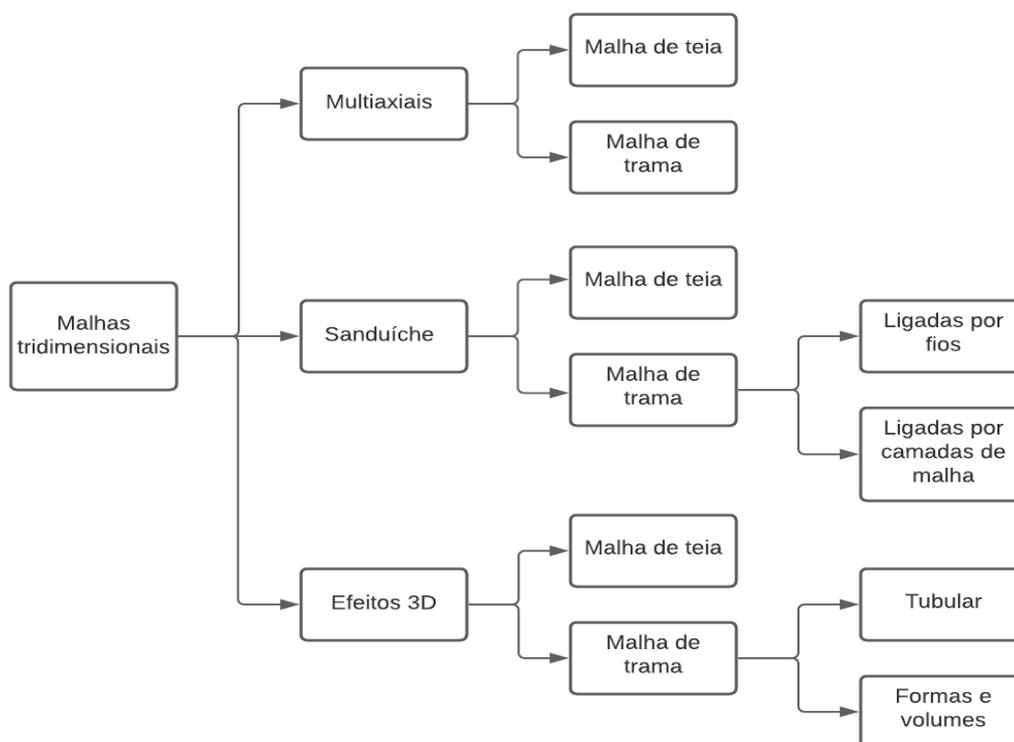


Figura 14. Classificação das diferentes malhas tridimensionais (Ionesi et al., 2010)

As malhas tridimensionais multiaxiais, estruturas apresentadas na Figura 15, surgiram com o intuito de oferecer materiais resistentes, preenchendo os requisitos de algumas áreas da indústria, como a decoração e a automóvel (Oliveira, 2016; Ray, 2012). A empresa M/S Karl Mayer desenvolveu uma máquina especializada para a produção de estruturas tridimensionais multiaxiais, denominada RS 2 RD. Esta máquina é capaz de tricotar diferentes fios em diferentes orientações, sempre com um ou mais pontos de interseção entre eles, dando origem a uma camada com volume e espaço entre os fios (Oliveira, 2016). Os fios nestas estruturas podem ser colocados de fundo segundo as direções principais das forças que serão aplicadas ao material, originando assim estruturas com as características necessárias e relevantes para a aplicação final a que se destinam (C. M. Dias, 2009). Segundo Araújo et al. (2000) as estruturas multiaxiais apresentam diversas vantagens, sendo elas (Araújo et al., 2000):

- A grande resistência à tração em todas as direções;
- A grande resistência ao rasgo, explicada pela existência de fios diagonais e ainda, a existência de um reforço contra as tensões de corte;
- O facto de ser possível escolher o tipo e títulos diferentes para cada um dos sistemas de fios.

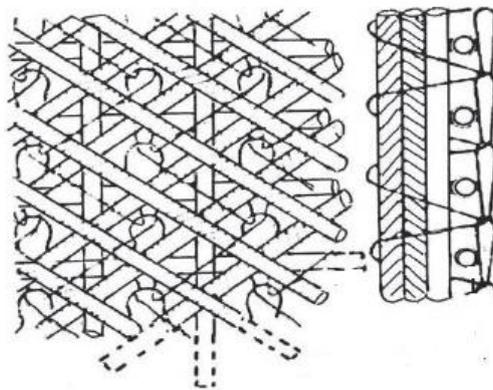


Figura 15. Estrutura multiaxial. Adaptado de (Ray, 2017)

As malhas sanduíche são estruturas formadas por duas camadas diferentes de malha que podem inclusivamente ter diferentes materiais na sua constituição e estruturas distintas (Ray, 2012). Estas duas camadas podem ser ligadas através de fios, que unem ambas as partes, ou podem ser separadas, dando origem a um efeito sanduíche, com as duas placas formadas e uma nova no meio das duas (Ray, 2012).

Estas malhas, também conhecidas como *Spacers*, são muitas vezes utilizadas em diferentes áreas e produtos, salientando-se a área do desporto onde são aplicadas em tops desportivos. Apresentam-se como sendo estruturas respiráveis, criando um ambiente livre de humidade, dando assim origem a peças confortáveis (Yip & Ng, 2007). Como principais vantagens, destacam-se as suas propriedades elásticas, a capacidade de regular a temperatura e a resistência às lavagens (Ray, 2012). Na Figura 16 estão apresentadas estas estruturas e qual o seu aspeto final.



Figura 16. Estrutura sanduíche (Ionesi et al., 2010)

As estruturas 3D apresentam fibras orientadas na direção da espessura ou cuja estrutura plana é obrigada, a partir do processo produtivo, a apresentar formas com uma geometria tridimensional desejada (C. M. Dias, 2009). Estas estruturas podem ser obtidas de diversas formas, sendo possíveis de produzir em teares retilíneos e teares circulares, tornando-se mais fáceis de obter em teares que apresentam dois sistemas de agulhas, uma vez que é possível trabalhar especialmente na construção da malha em cada sistema de agulhas (Oliveira, 2016). Segundo Penciu & Blaga (2010), existem algumas características importantes que um tear, neste caso retilíneo, deverá apresentar de modo a ser capaz de produzir estas estruturas complexas, sendo elas (Penciu & Blaga, 2010):

- A seleção eletrónica de agulhas;
- Um sistema CAD desenvolvido de modo a suprir as necessidades do design;
- A capacidade de configurar rapidamente o tear;
- A tricotagem de formas diferentes.

Ionesi et al. (2010) realizaram um estudo relativo aos diversos métodos de produção de malhas tridimensionais em teares retilíneos, sendo eles (Ionesi et al., 2010):

- Técnica de laçada de malha (confeção espacial);
- Uso de padrões com efeitos 3D;
- A tricotagem separada de malhas ligadas entre elas – Malhas sanduíche/spacer;

- Tricotagem integral/ peça inteira.

A Figura 17 apresenta uma das diversas estruturas 3D capazes de se obter.



*Figura 17. Exemplo de estrutura de malha 3D (Kumar e Thakur, 2017)*

Fazendo uma síntese do que foi apresentado e descrito neste capítulo, inicialmente foi explicada a definição de e-têxteis e os três grupos existentes, os têxteis inteligentes passivos, os têxteis inteligentes ativos e os têxteis muito inteligentes. Existem diversos sinais biológicos possíveis de medir com estes têxteis, como a taxa respiratória, transpiração, temperatura, frequência cardíaca, sinal ECG, sinal EMG e pH. Quanto às formas de adicionar os fios condutores às estruturas têxteis capazes de medir estes sinais, estes podem ser costurados, bordados, tricotados ou tecidos. Existem diversas características que estes fios devem apresentar de modo a serem eficazes na sua finalidade, como a baixa rigidez à flexão e resistência à tração, capazes de suportar as forças de tração a que serão submetidos no tear e durante a utilização da peça final, assim como, a baixa resistividade que os fios metálicos devem ter de modo a não se oporem ao fluxo de corrente elétrica. De seguida foram também apresentados diversos fios condutores existentes no mercado para aplicações nestes têxteis, estudos desenvolvidos sobre este tema dos fios condutores em e-têxteis e ainda, diversos artigos já comercializados.

Quanto aos elétrodos, existem dois tipos distintos, os de superfície e os de agulha, sendo que, para os elétrodos têxteis apenas é relevante referir os de superfície. Quanto às técnicas de produção destes, podem ser realizados através de processos de tricotagem, tecelagem ou bordados. Dentro dos elétrodos de superfície existem ainda os elétrodos secos, cuja maior vantagem é a sua reutilização e os elétrodos de gel que promovem uma melhor ligação com a pele, reduzindo a impedância pele-elétrodo. No que toca às características inerentes à melhor performance dos elétrodos, é de salientar a impermeabilidade, a densidade, o alongamento e estabilidade e a rugosidade. Por último, foi mencionado

qual o melhor local para o posicionamento dos elétrodos, baseado num estudo realizado e investigações desenvolvidas na medição de sinais ECG e EMG através de elétrodos têxteis.

Relativamente ao processo de tricotagem, foram abordados os conceitos básicos, como os tipos de laçada e estruturas, a integração do sistema CAD no universo têxtil e ainda, a tecnologia *seamless* e estruturas 3D.

### 3. Materiais e Métodos Experimentais

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados, quais os fios condutores têxteis testados e utilizados na produção dos elétrodos e respetivas estruturas e ainda quais os métodos, equipamentos e condições utilizadas para os diferentes testes realizados, assim como uma explicação de todos os procedimentos realizados.

#### 3.1. Equipamentos de medida

Durante a parte experimental deste trabalho, foi necessário recorrer a diversos equipamentos de medida capazes de obter e apresentar resultados. Assim sendo, de seguida são apresentados os mesmos, assim como uma breve explicação da sua função.

##### Multímetro

O multímetro é um dos equipamentos mais utilizados para analisar circuitos e medir grandezas elétricas, como diferenças de potencial, intensidades de corrente e a resistência elétrica. O multímetro apresentado na Figura 18, *LG Digital Multimeter DM-311*, foi utilizado para medir a tensão elétrica nos testes realizados aos fios condutores e para medir a resistência elétrica nos testes realizados aos elétrodos.



Figura 18. *LG Digital Multimeter DM-311*

O multímetro *FLUKE 45 Dual Display Multimeter*, identificado na Figura 19, foi utilizado como sendo um amperímetro, apresentando os resultados de corrente que passava no circuito.



Figura 19. FLUKE 45 Dual Display Multimeter

### Fonte de alimentação

A fonte de alimentação utilizada, apresentada na Figura 20, foi a “DC Power Supply TENMA 72-8695”, capaz de fornecer ao circuito a tensão necessária para concluir quais os valores de tensão e corrente que percorrem o circuito e assim determinar qual a resistência dos fios.



Figura 20. Fonte de alimentação DC Power Supply TENMA 72-8695

## Dinamómetro

O dinamómetro *Pesola® LightLine*, demonstrado na Figura 21, com uma escala de 100g e com uma divisão de 1g foi utilizado para ajustar a pré tensão necessária para a realização do teste da condutividade dos fios que será posteriormente explicado.



Figura 21. Dinamómetro *Pesola® LightLine*

## Dinamómetro *Hounsfield*

O dinamómetro *Housefield*, apresentado na Figura 22, foi utilizado no teste da resistência do fio à rutura e alongamento à tração, com o intuito de determinar qual a tenacidade e zona elástica dos fios condutores.



*Figura 22. Dinamómetro Hounsfield*

### **Máquina doméstica de lavar a roupa**

A máquina doméstica de lavar a roupa, apresentada na Figura 23, da marca LG e modelo FH2C3QD, foi utilizada para realizar o teste da lavagem doméstica dos elétrodos de modo a perceber o seu comportamento a nível da resistência elétrica após cinco processos de lavagem e secagem.



*Figura 23. Máquina doméstica de lavar a roupa*

### 3.2. Fios têxteis condutores elétricos

Neste projeto, os fios escolhidos para desenvolver e estudar o pretendido foram os fios condutores Bekintex, Elitex e Shieldex para a produção dos elétrodos. Foram estes os fios estudados individualmente, embora para a produção dos elétrodos apenas tenham sido utilizados os fios Bekintex e Elitex.

A empresa Belga Bekaert, especializada na transformação de metais e materiais avançados e revestimentos, produz o fio Bekinox<sup>®</sup>, composto por 100% aço inoxidável, que apresenta uma elevada condutividade, sendo capaz de transferir dados de forma eficiente e confiável, podendo ser submetido a inúmeras lavagens sem perder as suas características e desempenho. Neste projeto foi utilizado o fio Bekintex, composto por uma mistura de aço inox e poliéster (Bekaert, sem data).

O fio Elitex, produzido pela empresa alemã Imbut GmbH, composto por poliamida e revestido por prata, apresenta diversas características como sendo altamente condutor, flexível, lavável e fácil de tricotar, sendo que, a própria empresa afirma que este fio pode ser utilizado em elétrodos têxteis, sem existir a necessidade de usar gel condutor, apresentando uma resistência de 20  $\Omega/m$  (Imbut, sem data).

O fio Shieldex, produzido também por uma empresa alemã, a Statex, apresenta-se como sendo extremamente condutor e uma ótima solução para aplicações em sensores têxteis inteligentes (Statex, sem data).

### 3.3. Testes realizados aos fios condutores

Na Figura 24 são apresentados esquematicamente os testes realizados aos fios condutores, sendo estes o teste da condutividade e o teste da resistência dos fios à rutura e alongamento à tração.

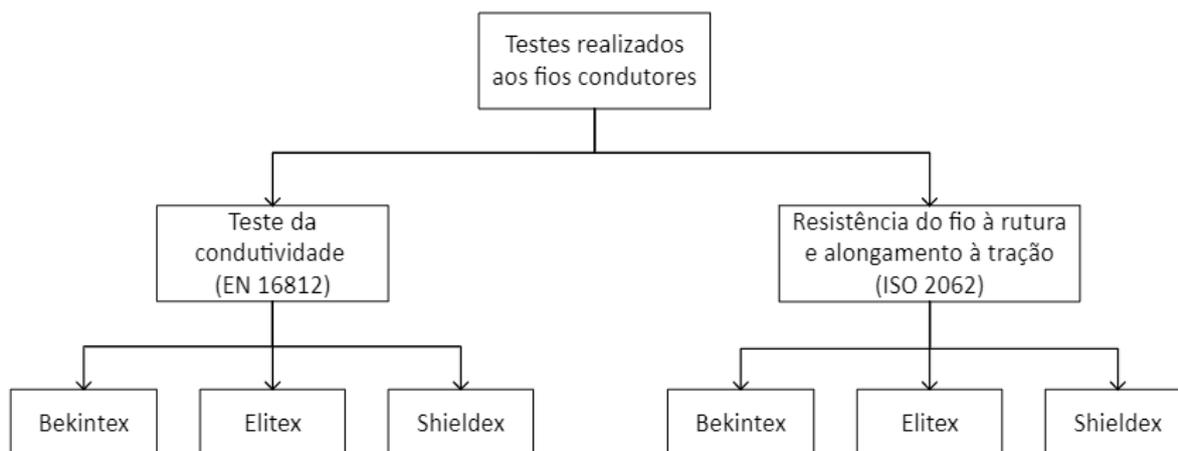


Figura 24. Esquema dos testes realizados aos fios condutores

### 3.3.1 Teste da condutividade

Sendo um dos objetivos do presente trabalho a medição de potenciais elétricos através de têxteis foi necessário realizar o teste da condutividade, que tem como objetivo a determinação da resistência elétrica linear de estruturas têxteis, e é realizado segundo a norma EN 16812: "*Textiles and textile products - Electrically conductive textiles - Determination of the linear electrical resistance of conductive tracks*".

No que toca a aparelhos utilizados para a realização deste teste, foram utilizados uma fonte de alimentação, "*DC Power Supply TENMA 72-8695*", um voltímetro, "*LG Digital Multimeter DM-311*" e um amperímetro, "*FLUKE 45 Dual Display Multimeter*", mencionados no subcapítulo 3.1.

Para realizar as medições é necessário a utilização de placas de cobre que funcionam como ponto de contacto, onde os fios ficam entre duas placas e são as extremidades destas que estão ligadas a uma fonte de alimentação, que fornece 4.8V de tensão, valor considerado por ser o aplicado numa bateria dos dispositivos utilizados nas bandas elásticas que foram tidas em conta para o efeito estudado, dando origem a uma diferença de potencial no fio condutor e consequentemente uma corrente elétrica. Esta corrente é determinada através do amperímetro que é colocado em série no circuito e a leitura da tensão é conseguida através do voltímetro que é colocado em paralelo no circuito. Na Tabela 8 são mencionados os testes realizados aos fios condutores, assim como as variáveis a considerar para a realização de cada um dos testes.

O esquema que demonstra este circuito está exemplificado na Figura 25, e o esquema da configuração testada na Figura 26.

De modo a obter os melhores resultados e os mais fidedignos, é necessário ter em atenção o modo como são colocadas as molas que prendem os fios condutores entre as placas de cobre, sendo que estas placas apresentam uma dimensão de 4 cm x 10 cm, e, sempre que os valores lidos se mostrem instáveis, é necessário retirar as molas e voltar a colocar até os valores estabilizarem.

Este ensaio realizado permite medir com maior exatidão valores baixos de resistência, ao contrário do multímetro, onde existe o efeito da resistência dos fios e das pontas de prova.

Tabela 8. Variáveis associadas aos testes de condutividade e resistência realizados aos fios Bekintex, Elitex e Shieldex

Variáveis dos testes realizados aos fios condutores		
Teste da condutividade (EN 16812)	Fios condutores	Bekintex, Elitex, Shieldex
	Pré tensão das amostras	0,5 cN/tex
	Tamanho das amostras	120 cm
	Distância d dos elétrodos a medir	100 cm
Resistência do fio à rutura e alongamento à tração (ISO 2062)	Fios condutores	Bekintex, Elitex, Shieldex
	Número de amostras	10 amostras por fio
	Tamanho das amostras	120 cm

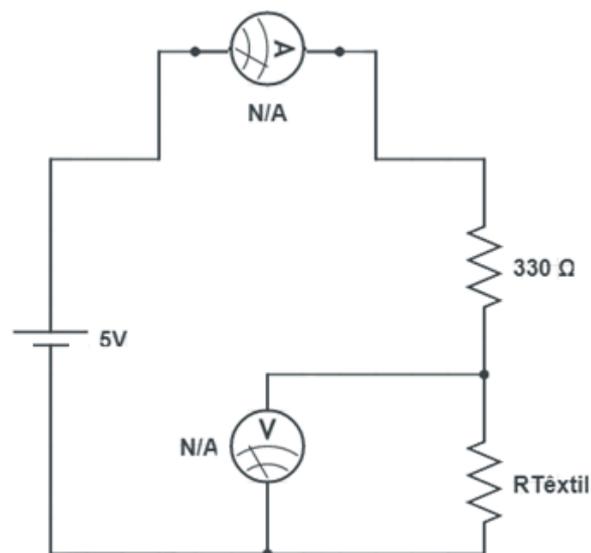


Figura 25. Circuito elétrico utilizado para o teste da condutividade

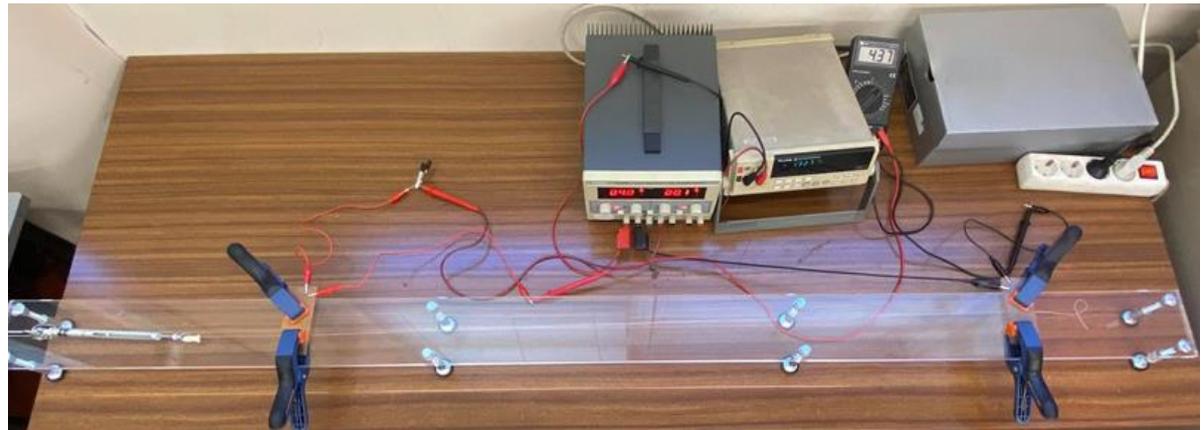
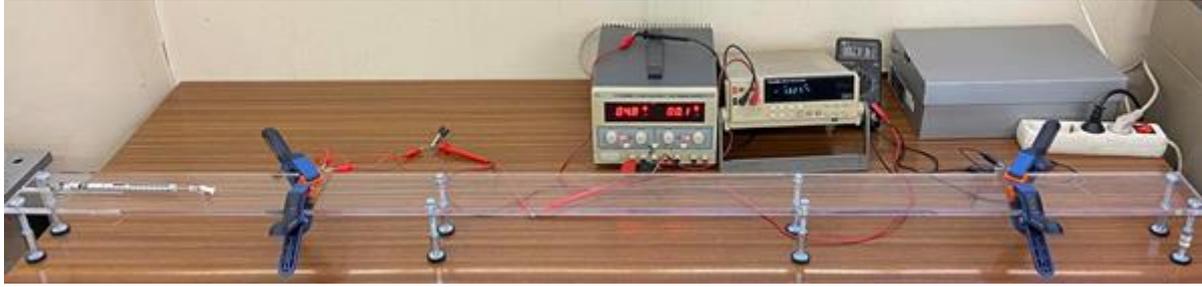


Figura 26. Esquema da configuração testada utilizando o fio Bekintex

De modo a ser possível precisar a distância entre as placas de cobre com a maior exatidão possível, é inicialmente aplicada uma tensão nas amostras, denominada pré tensão, através do dinamómetro mencionado no subcapítulo 3.1. A norma utilizada para os cálculos da pré tensão foi a EN 16812:2016. Os valores aplicados para os fios são determinados através da massa linear, assim, foi inicialmente calculada a massa linear dos três fios a testar, e posteriormente foi feito o cálculo da pré tensão que seria necessário aplicar, como demonstra a Equação 1 e a Tabela 9.

$$\text{Pré - tensão} = 0.5 \text{ cN/tex}$$

$$\text{Pré - tensão}_{\text{Bekintex}} = 0.5 \times 42.28 = 21.14 \text{ cN} = 0.2114 \text{ N} \quad (1)$$

$$\text{Convertendo N em g temos que } 0.2114 \text{ N} = 21.6 \text{ g}$$

Tabela 9. Valores calculados de pré tensão dos fios condutores

	Comprimento (cm)	Massa (g)	Massa linear (tex)	Pré tensão (g)
<b>Bekintex</b>	59.6	0.0252	42.28	21.6
<b>Elitex</b>	63.2	0.0314	49.70	25.3
<b>Shieldex</b>	54.0	0.0159	29.44	15.0

Deste modo, para obter os resultados, e seguindo a norma anteriormente mencionada, são testadas cinco amostras de cada fio. Inicialmente, a primeira amostra é colocada na estrutura com a pré tensão associada e a distância  $d$  é assinalada, consoante o definido inicialmente e apresentado na Tabela 8. Durante um minuto, os valores de corrente e tensão são anotados, se estes permanecerem constantes, o valor final é anotado e contabilizado e é repetido o ensaio mais duas vezes para a mesma amostra e posteriormente para mais quatro amostra. No final, são calculados os valores médios de resistência elétrica,  $R$ , e de resistência elétrica linear,  $R_L$ , através das seguintes fórmulas presentes na Equação 2 e Equação 3.

$$R = \frac{U}{I} (\Omega) \quad (2)$$

$$R_L = \frac{R}{d} (\Omega/m) \quad (3)$$

### 3.3.2. Teste da resistência dos fios à rutura e alongamento à tração

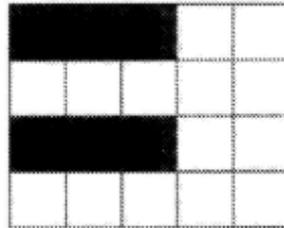
Uma vez que, durante a incorporação dos fios têxteis nas malhas, estes estão sujeitos a diversos fatores adversos, como a torção, estiramento e alongamento, houve a necessidade de realizar o teste da resistência à rutura e alongamento à tração dos três fios distintos, segundo a norma ISO 2062 com o intuito de perceber qual a parte elástica dos mesmos e se a pré tensão calculada e aplicada anteriormente estava de acordo com os resultados obtidos neste ensaio.

Para isso, dez amostras de cada um dos três fios foram testadas no dinamómetro *Hounsfield*, apresentado no subcapítulo 3.1 e obtiveram-se os gráficos de carga e alongamento para cada um destes.

### 3.4. Caracterização dos elétrodos

As estruturas dos elétrodos foram tricotadas combinando laçadas normais e flutuantes com trocas de fio da base com o fio condutor, ou seja, alternando a poliamida e o fio condutor respectivo nas fileiras, como apresentado na Figura 27.

Estas estruturas de malha foram tricotadas em cru e tingidas posteriormente, tendo então os fios condutores passado por esta operação.



*Figura 27. Exemplo da estrutura do elétrodo tricotada (Catarino et al., 2011)*

#### 3.4.1. Metodologia adotada

Na Figura 28 são apresentados os testes realizados aos elétrodos têxteis, ou seja, os testes de condutividade antes do processo de lavagem e após cada lavagem e os testes de funcionamento recorrendo à participação de voluntários.

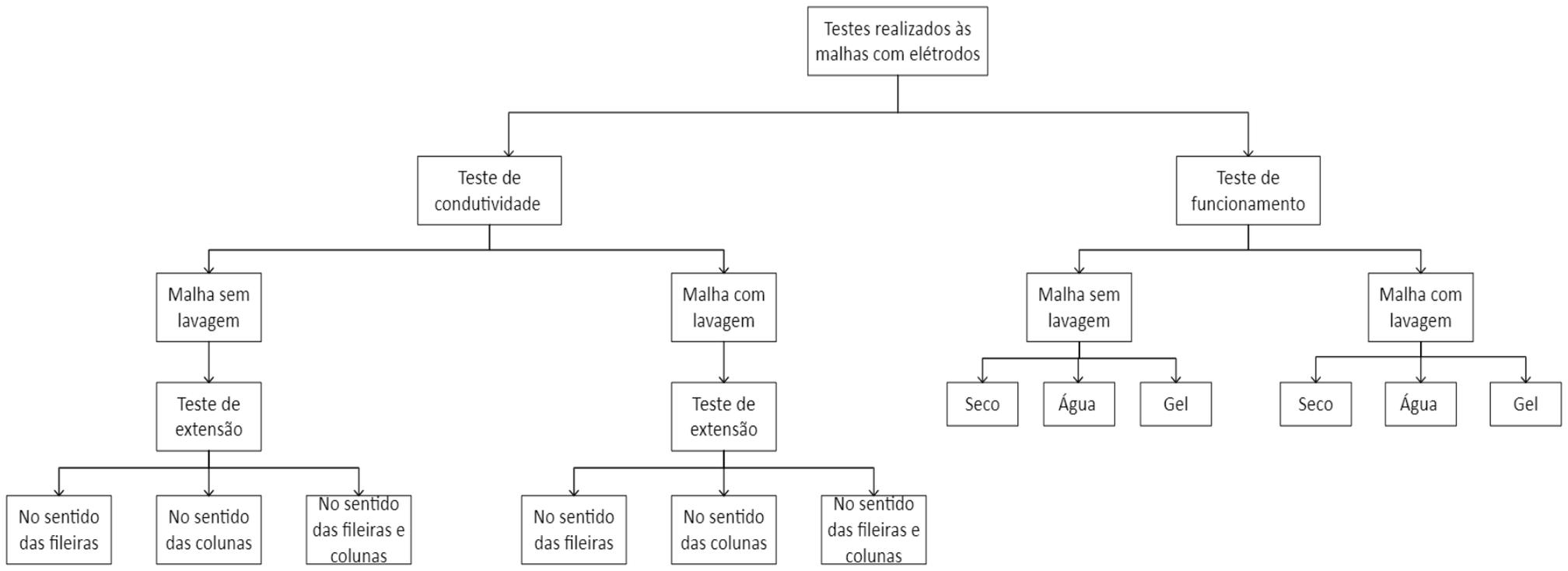


Figura 28. Esquema dos testes realizados às malhas com os elétrodos têxteis

Embora tenham sido estudados três fios condutores distintos, o Bekintex, Elitex e Shieldex, apenas os dois primeiros foram considerados na produção dos elétrodos, tendo sido os únicos testados, uma vez que, durante o processo de tricotagem o fio Shieldex mostrou-se mais problemático, devido às tensões aplicadas durante a produção dos elétrodos.

Inicialmente foram medidas a condutividade e resistência dos elétrodos sem extensão e com extensões no sentido das fileiras e no sentido das colunas de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% e no sentido das fileiras e das colunas em simultâneo apenas para os valores máximos de deformação. Após estes testes, ambas as malhas com as estruturas dos elétrodos com os dois fios foram lavadas cinco vezes e testadas como anteriormente referido entre cada lavagem. Posteriormente, dois voluntários de diferentes géneros, masculino e feminino, vestiram a estrutura com os elétrodos com o intuito de perceber se era possível a leitura da frequência cardíaca, recorrendo a um dispositivo capaz de enviar a leitura para um dispositivo eletrónico através de *Bluetooth*.

### **3.4.2. Teste de resistência elétrica**

Como mencionado no subcapítulo 3.4.1, apenas o fio Bekintex e o fio Shieldex foram utilizados na produção dos elétrodos. Assim, após produzidas as estruturas, deu-se início aos testes para se perceber se estas eram capazes de conduzir o potencial elétrico e assim servirem para o seu propósito final, a medição da frequência cardíaca. Inicialmente foram colocadas as pontas de prova do multímetro em cada ponta e na diagonal de cada eletrodo, para se perceber se havia condutividade na estrutura, como demonstrado na Figura 29. Após esta medição, foi medida a resistência dos elétrodos sem alongamento e com 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de alongamento da estrutura nos diferentes sentidos para se perceber se este influenciava a condução do potencial elétrico. É importante salientar que a estrutura do eletrodo, no sentido das colunas, é incapaz de se alongar mais do que 30% com o fio Elitex e mais do que 20% com o fio Bekintex, tendo sido estes os valores de máxima extensão considerados. Na Tabela 10 são apresentados os valores em centímetros correspondentes à percentagem de deformação. Durante a realização dos testes foi tida em consideração a estabilização dos valores de resistência elétrica medidos no multímetro durante uns segundos antes de serem considerados como valores finais.



Figura 29. Realização dos testes de condutividade dos elétrodos têxteis

Tabela 10. Valores de deformação dos elétrodos com o fio Elitex e Bekintex no sentido das fileiras e colunas

		0%	10%	20%	30%	40%	50%
Deformação no sentido das fileiras (cm)	Elitex	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50
	Bekintex	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50
Deformação no sentido das colunas (cm)	Elitex	1.50	1.65	1.80	1.95	2.10	2.25
	Bekintex	1.80	1.98	2.16	2.34	2.52	2.70

**Legenda:**

- Máxima deformação no sentido das fileiras e colunas em simultâneo para o fio Elitex
- Máxima deformação no sentido das fileiras e colunas em simultâneo para o fio Bekintex

### **3.4.3. Teste da lavagem**

O teste da lavagem efetuado tem como objetivo perceber a influência dos processos de lavagem e secagem nos fios condutores e na sua condutividade e resistência. É realizado segundo a norma NP EN ISO 6330 2012: Procedimentos de lavagem e secagem doméstica para ensaios têxteis. De modo a ser possível perceber o efeito da resistência elétrica após a lavagem dos elétrodos, foram realizadas sucessivas lavagens, de acordo com a norma NP EN ISO 6330 2012, até os valores de resistência se mostrarem de tal modo elevados que deixassem de ser capazes de realizar a medição da frequência cardíaca. Conforme a norma, as estruturas de malha foram submetidas a lavagens durante 60 minutos a 40°C com 20g de detergente. Foram utilizados balastros compostos por 50% algodão/50% poliéster e 100% poliéster até ser obtida uma carga de 2kg, sendo uniformemente misturados com as estruturas de malha a testar antes de serem carregados na máquina de lavar. O procedimento de secagem foi realizado ao ar, por suspensão, colocando os provetes com a teia na direção vertical. Foram realizadas cinco lavagens e posteriores secagens sendo que, entre cada lavagem foi medida a condutividade e resistência dos elétrodos.

### **3.4.4. Testes realizados com a participação de voluntários**

Dois voluntários, um do sexo feminino e um do sexo masculino vestiram as estruturas de malha com os elétrodos desenvolvidos após as cinco lavagens com o intuito de medir a sua frequência cardíaca, como é possível verificar pela Figura 30. É importante ressaltar que os testes realizados com os voluntários são apenas exploratórios e o início de um longo ciclo de testes a realizar futuramente. Inicialmente, antes de começar a leitura dos sinais foram anotadas algumas medidas antropométricas dos voluntários assim como dados relevantes relativos aos elétrodos, apresentadas na Tabela 11, para posterior análise e conclusão dos resultados obtidos, como a medida do tórax, ou seja, da zona abaixo do peito, que é o local onde são colocados os elétrodos e ainda a medida do peito, por influenciar o contacto dos elétrodos com a pele. Também a extensão dos elétrodos é um dado importante, para perceber se uma maior ou menor extensão influencia os valores medidos.



Figura 30. Estruturas de malha e posicionamento do aparelho Bluetooth

Tabela 11. Dados relativos aos voluntários e elétrodos a considerar antes da realização dos testes

	Dados antropométricos		Largura dos elétrodos sem extensão		Extensão dos elétrodos vestidos	
	Peito	Medida do tórax	Elitex	Bekintex	Elitex	Bekintex
Voluntária do sexo feminino	82 cm	72 cm	3 cm		3.5 cm	3.3 cm
Voluntário do sexo masculino	100 cm	95 cm			4 cm	4 cm

De modo a ser possível a colocação do dispositivo capaz de ler os resultados obtidos, foram utilizadas molas de pressão que foram colocadas de duas formas distintas devido à produção dos elétrodos. Assim, com o fio Bekintex as molas foram colocadas naquela que se entendeu como sendo a posição ideal por não diminuir o tamanho dos elétrodos nem estar em contacto direto com a estrutura.

Neste caso, as molas foram colocadas segurando os fios que compõem os eléctrodos como demonstra a Figura 31.



*Figura 31. Posicionamento das molas nos eléctrodos com o fio Bekintex*

Por outro lado, a produção dos eléctrodos com o fio Elitex não facultou tanto fio disponível para a colocação das molas na posição ideal, tendo estas sido colocadas nos próprios eléctrodos como exemplificado na Figura 32.



*Figura 32. Posicionamento das molas nos eléctrodos com o fio Elitex*

Sendo estas molas de pressão constituídas por metal, ou seja, um material condutor, houve a necessidade de isolar as mesmas e os fios restantes, deixando apenas os eléctrodos em contacto directo com a pele, para não influenciar os resultados obtidos. Para isso, estes foram isolados com fita isoladora da melhor forma possível, como é possível observar pela Figura 33.



Figura 33. Eléttodos com os fios Bekintex e Elitex isolados com fita isoladora

Após isoladas as molas e os fios convenientemente, os voluntários vestiram as estruturas tricotadas e foi colocado o aparelho capaz de realizar a leitura da medição da frequência cardíaca. O aparelho utilizado, apresentado na Figura 34, capaz de realizar esta leitura, envia os dados por *Bluetooth* para um dispositivo móvel, neste caso um *smartphone*, que através da aplicação *Polar Beat* apresenta os resultados da medição da frequência cardíaca. Esta aplicação, usada principalmente por amantes de corrida ou caminhada, apresenta uma variedade de dados, como é possível observar através da Figura 35, tais como a distância percorrida, o ritmo, as calorias, a duração do treino, e o dado relevante para este projeto, a frequência cardíaca, assinalado a amarelo.



Figura 34. Aparelho Bluetooth utilizado

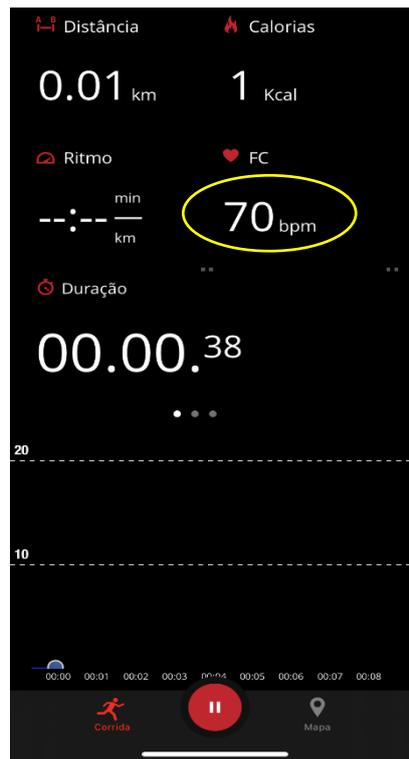


Figura 35. Interface da aplicação de telemóvel Polar Beat

Todo o processo de medição da frequência cardíaca dos voluntários foi realizado em repouso e de modo a não haver nenhuma alteração dos valores, sempre que houve a necessidade de forçar o contacto dos eléctrodos com a pele, foram utilizadas luvas de borracha, uma vez que a pele das mãos interfere com esta medição. Para demonstrar e comprovar a veracidade da medição da frequência cardíaca através dos eléctrodos, enquanto os dados estavam a ser captados e lidos na aplicação, foram também utilizados outros dispositivos em simultâneo, como um oxímetro, que para além da medição do nível de oxigénio no sangue, é capaz de medir a frequência cardíaca, e ainda, um relógio de pulso, também com a capacidade de fazer a medição desta. Assim, na Figura 36 são apresentados estes dispositivos e a sua respetiva medição, assim como uma fotografia da aplicação *Polar Beat* para se perceber a capacidade destes eléctrodos realizarem uma medição real e precisa.



(a)



(b)



(c)

Figura 36. Valores de medição da frequência cardíaca em simultâneo pelos três aparelhos: Dispositivo Bluetooth (a), relógio de pulso (b) e oxímetro (c)

Como mencionado no esquema apresentado na Figura 28, os testes realizados aos voluntários foram conseguidos através de elétrodos secos, com água e com gel condutor, para se perceber como se comportavam em diferentes ambientes. Sendo a frequência cardíaca um fator importante a ter em consideração pelos atletas, os elétrodos com água simularam o suor causado pela corrida ou caminhada dos mesmos. Por outro lado, o gel condutor é normalmente utilizado na realização de ECG e da própria medição da frequência cardíaca, daí a importância de ser testado também.

## **4. Apresentação dos resultados**

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes mencionados e explicados no capítulo 3, assim como uma breve síntese final de todos os resultados obtidos.

### **4.1. Testes aos fios e análise dos resultados**

#### **4.1.1. Teste da resistência dos fios à rutura e alongamento**

Na Figura 37, Figura 38 e Figura 39 é possível observar a curva média dos ensaios realizados do teste da resistência dos fios à rutura e alongamento. O resultado deste teste surge primeiro para se perceber que quando se fez o ensaio da medição da resistência elétrica não se utilizou uma pré tensão que ultrapassasse a zona elástica do fio.

Através do gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Bekintex, apresentado na Figura 37, é possível concluir que este fio apresenta uma zona elástica de cerca de 20 mm, necessitando de 3N para alongar estes 20 mm. Quando aplicada uma força de cerca de 10N ocorre a rutura do fio, quando a extensão é próxima de 80 mm.

O fio Elitex, apresentado na Figura 38, apresentou uma zona elástica de cerca de 18 mm, necessitando de cerca de 1,6N para ultrapassar esta zona, mantendo um comportamento linear até à rutura do fio, a cerca de 80 mm, necessitando de uma força de 6N.

Por último, o fio Shieldex, apresentado na Figura 39, mostrou um comportamento semelhante ao fio Elitex relativamente à zona elástica não apresentando, no entanto, um comportamento linear à tração. Apresentou uma maior capacidade de alongamento, de cerca de 100mm, necessitando de cerca de 12.5N para ocorrer a rutura do fio.

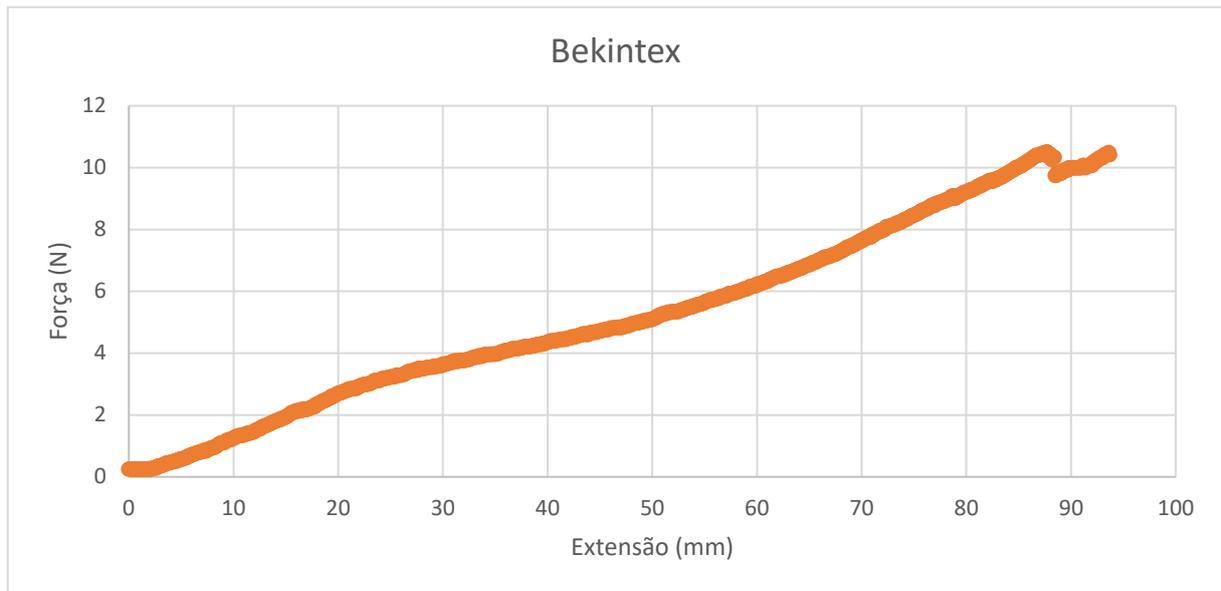


Figura 37. Gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Bekintex

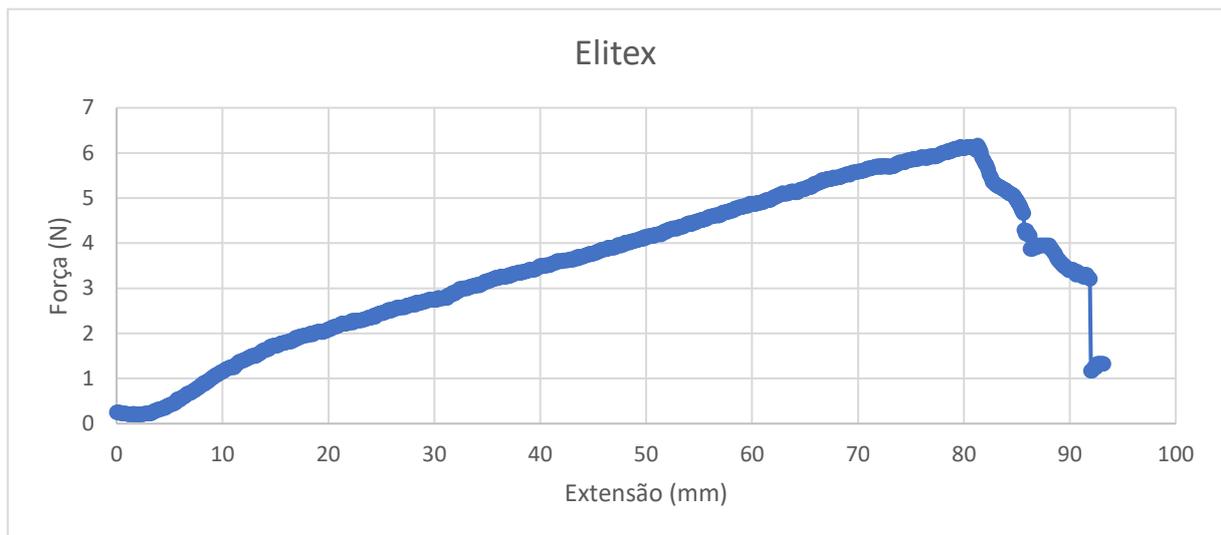
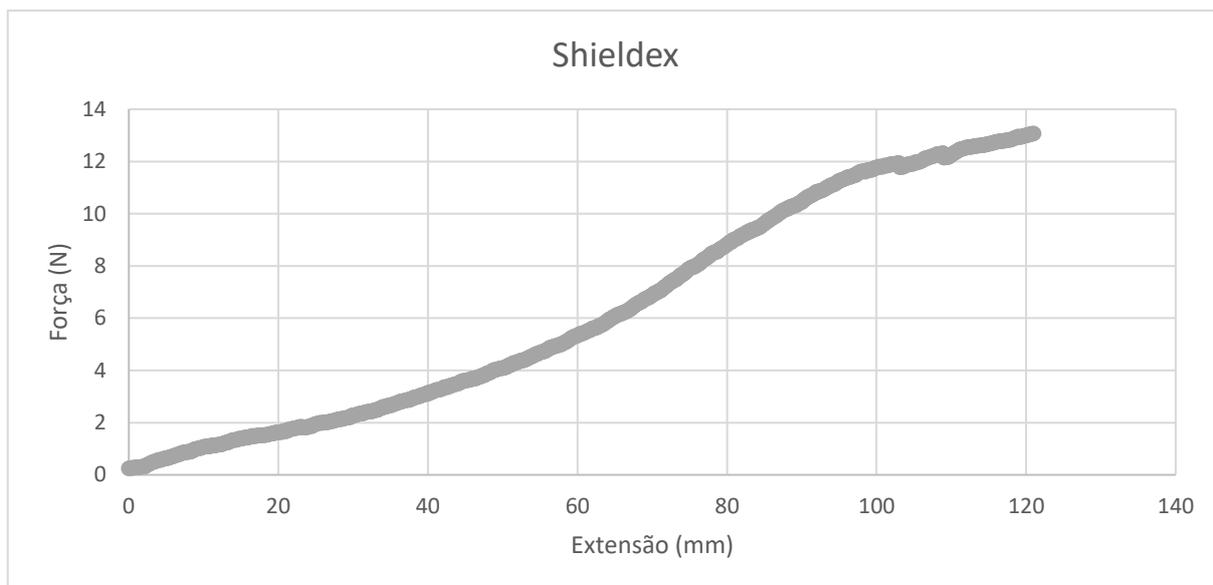


Figura 38. Gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Elitex



*Figura 39. Gráfico dos valores médios de carga e alongamento obtido para o fio Shieldex*

Tirando uma conclusão relativa ao comportamento dos fios após o teste da resistência à rotura e alongamento, é possível verificar que o fio Shieldex foi aquele que apresentou uma maior capacidade de alongamento, necessitando de maior força para ocorrer a rotura do fio, cerca de 12,5N. Quanto à zona elástica, os três fios apresentaram valores semelhantes, cerca de 20 mm. O fio que necessitou uma menor força para ocorrer a rotura foi o Elitex, cerca de 6N.

#### 4.1.2. Teste da condutividade

Na Tabela 12 estão evidenciados, em síntese, os valores obtidos e respectivos cálculos de resistência elétrica e resistência elétrica linear dos fios Bekintex, Shieldex e Elitex, respectivamente. Na, Tabela 17, Tabela 18 e Tabela 19, apresentadas no Anexo I, é possível observar todos os resultados obtidos que deram origem à Tabela 12, dos valores médios.

*Tabela 12. Valores médios obtidos no teste de condutividade realizados aos fios Bekintex, Elitex e Shieldex*

	Pré tensão (N)	I (mA)	U (mV)	Média R ( $\Omega$ )	Desvio padrão ( $\Omega$ )	Média RL ( $\Omega/m$ )
<b>Bekintex</b>	0,21	1.34	4430.67	3333.07	189.86	3333.07
<b>Elitex</b>	0,25	14.12	212.27	15.03	0.27	15.03
<b>Shieldex</b>	0,15	6.04	2762.67	458.14	16.01	458.14

Como mencionado no subcapítulo 4.1.1, nenhum dos fios foi sujeito a uma pré tensão mais elevada do que a zona elástica que apresentaram. O fio que apresentou uma resistência mais elevada foi o Bekintex, na ordem dos  $3000\Omega$ , seguido do fio Shieldex, tendo o Elitex apresentado um valor mais baixo, na ordem dos  $450\Omega$ . Pelo valor do desvio padrão é possível perceber que o fio Bekintex foi o que apresentou resultados mais instáveis, ao contrário do fio Elitex que apresentou um desvio padrão mais baixo, ou seja, resultados mais estáveis.

## 4.2. Testes realizados aos elétrodos têxteis e análise dos resultados

### 4.2.1. Testes de condutividade

Na Tabela 13 são apresentados os resultados das medições de resistência dos elétrodos com os fios Elitex e Bekintex antes de sofrerem os processos de lavagem e secagem. Antes de mais, é de salientar que a estrutura do elétrodo, no sentido das colunas, é incapaz de se alongar mais do que 30% com o fio Elitex e mais do que 20% com o fio Bekintex, tendo sido estes os valores de máxima deformação considerados neste sentido. Outro fator a ter em consideração são as unidades de medida de resistência, tendo estas sido lidas em Ohm ( $\Omega$ ) para o fio Elitex e em Megaohm ( $M\Omega$ ) para o fio Bekintex, tendo este fio já demonstrado nos resultados do subcapítulo 4.1.2 que apresenta uma resistência superior quando comparado com o fio Elitex.

Tabela 13. Resistência elétrica dos elétrodos têxteis com os fios Elitex e Bekintex sem lavagens

		0%	10%	20%	30%	40%	50%	
Resistência no sentido das fileiras	Elitex ( $\Omega$ )	3.60	3.50	3.70	4.00	4.40	3.50	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	9.50	4.45	4.40	4.00	5.20	1.30	
Resistência no sentido das colunas	Elitex ( $\Omega$ )	3.50	5.80	6.30	10.90	-	-	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	2.59	4.97	5.85	-	-	-	
Resistência no sentido das fileiras e colunas em simultâneo ( $\Omega$ )	Elitex ( $\Omega$ )	Deformação no sentido das fileiras: 50% Deformação no sentido das colunas: 30%					14.80	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	Deformação no sentido das fileiras: 50% Deformação no sentido das colunas: 20%					2.90	

Analisando a Tabela 13, é possível concluir que os valores de resistência obtidos são pouco lineares quando aplicada uma deformação, tanto no sentido das fileiras, como no sentido das colunas.

#### 4.2.2. Efeito da lavagem na resistência elétrica

A Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16 apresentam os resultados desde a primeira lavagem até ao final da quinta lavagem. Inicialmente, o propósito seria realizar dez vezes o processo de lavagem e secagem, mas após a quinta lavagem os resultados de resistência elétrica mostraram-se elevados, não permitindo a passagem de corrente elétrica e conseqüentemente a medição da frequência cardíaca.

#### Teste 1- Após a 1ª lavagem

Tabela 14. Resistência elétrica dos elétrodos têxteis com os fios Elitex e Bekintex após a 1ª lavagem

		0%	10%	20%	30%	40%	50%	
Resistência no sentido das fileiras	Elitex ( $\Omega$ )	6.40	4.40	5.80	4.80	5.80	5.20	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	2.20	3.80	5.30	5.20	2.10	1.01	
Resistência no sentido das colunas	Elitex ( $\Omega$ )	6.70	6.70	7.80	19.10	-	-	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	2.80	6.58	8.70	-	-	-	
Resistência no sentido das fileiras e colunas em simultâneo	Elitex ( $\Omega$ )	Deformação no sentido das fileiras: 50% Deformação no sentido das colunas: 30%					21.20	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	Deformação no sentido das fileiras: 50% Deformação no sentido das colunas: 20%					3.20	

Analisando a Tabela 14 é possível concluir que após a 1ª lavagem, a resistência no fio Bekintex diminuiu ligeiramente no sentido das fileiras e aumentou no sentido das colunas, enquanto no fio Elitex aumentou ligeiramente no sentido das colunas.

## Teste 2 – Após a 2ª lavagem

Tabela 15. Resistência elétrica dos eletrodos têxteis com os fios Elitex e Bekintex após a 2ª lavagem

		0%	10%	20%	30%	40%	50%	
Resistência no sentido das fileiras	Elitex ( $\Omega$ )	21.80	18.40	33.80	19.50	32.80	21.10	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	5.93	6.10	6.90	9.20	5.70	1.88	
Resistência no sentido das colunas	Elitex ( $\Omega$ )	21.20	19.40	27.20	190.70	-	-	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	4.65	5.12	9.50	-	-	-	
Resistência no sentido das fileiras e colunas em simultâneo	Elitex ( $\Omega$ )	Deformação no sentido das fileiras: 50% Deformação no sentido das colunas: 30%					Não condutor	
	Bekintex ( $M\Omega$ )	Deformação no sentido das fileiras: 50% Deformação no sentido das colunas: 20%					8.50	

Fazendo uma análise da Tabela 15, é possível perceber que a resistência do fio Bekintex teve alterações pouco variáveis. Já no fio Elitex, a resistência aumentou, não sendo capaz de conduzir na máxima deformação no sentido das fileiras e colunas.

Após a terceira lavagem apenas foram lidos os valores daquele que se considerou o pior cenário, ou seja, a máxima extensão de comprimento e largura em simultâneo.

Tabela 16. Resistência elétrica dos eletrodos com os fios condutores Elitex e Bekintex após a 3ª, 4ª e 5ª lavagens

		3ª lavagem	4ª lavagem	5ª lavagem
Resistência no sentido das fileiras e colunas em simultâneo	Elitex	130.80 $\Omega$	Não condutor	0.17 k $\Omega$
	Bekintex	6.60 M $\Omega$	6.08 M $\Omega$	12.51 M $\Omega$

Através da Tabela 16, é possível concluir que após a 3ª, 4ª e 5ª lavagem a resistência aumentou, comportamento que se verificou desde após a primeira lavagem, sendo que para o fio Elitex a resistência antes dos processos de lavagem era de cerca de 4 $\Omega$  quando deformado o eletrodo no sentido das fileiras

e  $6.60\Omega$  quando deformado no sentido das colunas, sendo que, após a 5ª lavagem, para os valores máximos de deformação nos dois sentidos foi cerca de  $0.17k\Omega$ . Embora não fosse o expectável, após a 4ª lavagem não foi possível obter valores de resistência mas após a 5ª lavagem foi possível, o que pode ser explicado por algum erro humano enquanto a realização do teste. Para os elétrodos com o fio Bekintex o comportamento foi semelhante, sendo a resistência inicial de cerca de  $4.80M\Omega$  quando deformado o elétrodo no sentido das fileiras e cerca de  $4.40M\Omega$  quando deformado no sentido das colunas, aumentando para  $12.51M\Omega$ , após a 5ª lavagem.

#### 4.2.3. Testes realizados com a participação de voluntários

Recorrendo à participação de voluntários, foi lida a frequência cardíaca através dos elétrodos têxteis fazendo variar o ambiente em que estes se encontravam, sendo testados secos, com água e com um gel eletro condutor antes e após as cinco lavagens. Foi possível obter valores de frequência cardíaca em todas as situações em ambos os voluntários exceto na voluntária do sexo feminino após as cinco lavagens quando os elétrodos se encontravam secos.

#### 4.3. Discussão dos resultados obtidos

Fazendo uma síntese dos resultados obtidos, iniciando pelos fios condutores, é possível perceber que o fio que apresenta uma resistência linear média mais elevada é o Bekintex,  $3.33k\Omega/m$ , sendo o Elitex o que apresenta valores de resistência mais baixos,  $15.03\Omega/m$ , e o Shieldex valores na ordem dos  $450\Omega/m$ . Relativamente ao ensaio da resistência do fio à rutura e alongamento à tração, os fios foram testados em relação à resistência na zona elástica. O fio que apresentou um valor mais elevado de tenacidade foi o shieldex,  $0.44 N/tex$  e o que apresentou um valor mais baixo foi o fio Elitex,  $0.13 N/tex$ , tendo o Bekintex apresentado valores de  $0.24 N/tex$ .

Quanto ao ensaio dos elétrodos com as diferentes variáveis estudadas, ou seja, os fios condutores, a extensão, as lavagens e o ambiente em que os elétrodos foram testados, é possível retirar várias conclusões. No que toca aos testes de condutividade sem lavagem, os elétrodos com o fio Elitex apresentaram valores de resistência estáveis quando se deu a deformação no sentido das fileiras e valores a aumentar gradualmente quando deformados no sentido das colunas. Quanto aos elétrodos

com o fio Bekintex, apresentaram valores de resistência superiores como era de esperar, uma vez que o próprio fio apresentou valores de resistência elevados nos teste da condutividade realizado individualmente aos fios condutores. Com este fio, a resistência foi variável, mas não muito na deformação no sentido das fileiras e aumentou gradualmente quando deformados no sentido das colunas. Após o processo de lavagem e secagem, os valores mantiveram-se semelhantes após a primeira lavagem, mas a partir da segunda lavagem os valores de resistência aumentaram significativamente nos elétrodos com o fio Elitex, mantendo-se semelhantes com o fio Bekintex. Após a segunda lavagem, os valores de resistência aumentaram no sentido das colunas nos dois fios, sendo que, após a terceira, quarta e quinta lavagem, os elétrodos aumentaram substancialmente a resistência, não tendo sido realizadas mais lavagens por este motivo.

Nos testes realizados em voluntários, tanto os elétrodos executados com o fio Bekintex e o fio Elitex foram capazes de realizar a medição da frequência cardíaca e enviar os valores para a aplicação de *smartphone*, *Polar Beat*, que os monitorizou, embora os fatores como extensão e ambiente em que se encontravam tenha tido influência nesta medição. Quando comparadas as medições, visto que o perímetro do peito do voluntário do sexo masculino é inferior, os elétrodos estão mais próximos da pele e o contacto é mais favorável, não havendo a necessidade de forçar o contacto com a pele de forma tão inequívoca, sendo que, após as cinco lavagens foi impossível obter a medição da frequência cardíaca na voluntária do sexo feminino para o elétrodo seco com o fio Bekintex, devido a este mesmo motivo e à elevada resistência que este fio apresentou. Quanto às medições com os elétrodos com os dois fios distintos, não foi possível observar diferenças entre os valores obtidos, embora o fio Bekintex tenha apresentado valores de resistência muito superiores aos do fio Elitex. Os valores medidos quando utilizado o gel condutor foram mais rápidos a serem obtidos quando comparado com os elétrodos secos, embora não tendo havido uma diferença muito substancial, foi perceptível.

Por último, quando comparados os valores de frequência cardíaca obtidos com os elétrodos produzidos e com outros dispositivos em simultâneo, como um oxímetro e um relógio de pulso, foi possível concluir que estes valores foram muito semelhantes e que os elétrodos têxteis com os fios condutores em questão têm a capacidade de fazer a medição deste sinal.

## 5. Conclusões e perspectivas futuras

Neste último capítulo será apresentada uma síntese de todo o trabalho realizado, quais os principais resultados obtidos, assim como uma reflexão relativa ao trabalho desenvolvido e apresentado na presente dissertação. Por último serão apresentadas algumas perspectivas futuras daquilo que se considera pertinente realizar eventualmente no futuro.

### 5.1. Conclusões

É notável a evolução da indústria têxtil, tornando os e-têxteis cada vez mais uma realidade do quotidiano presente nas mais simples atividades. Assim, a medição da frequência cardíaca através de eléttodos têxteis é já um objeto de estudo em diversos países, havendo já diversos projetos realizados e empresas que comercializam estes e-têxteis, como a *AiQ® Smart Clothing*, e a *OMsignal Smart Clothing*, devido também à introdução e desenvolvimento de diversos fios condutores com diferentes características capazes de serem adaptados às necessidades que se procura.

Recorrendo às malhas de trama, foi possível produzir eléttodos combinando laçadas normais e flutuantes com trocas de fio da base com o fio condutor, ou seja, alternando a poliamida e o fio condutor respetivo, Bekintex e Elitex, nas fileiras.

Sendo o objetivo da presente dissertação o estudo da medição da frequência cardíaca através de eléttodos têxteis, foi possível concluir, após a revisão de literatura e testes realizados que os eléttodos totalmente têxteis num ambiente seco são capazes de medir este potencial elétrico. Embora quando estudados os fios em separados e os eléttodos com estes fios antes e após cinco lavagens, o fio Elitex se tenha mostrado mais condutor do que o fio Bekintex, quando medida a frequência cardíaca através dos eléttodos com cada um dos fios, não houve diferenças significativas entre eles.

Através dos testes realizados com a presença de dois voluntários, recorrendo a um dispositivo capaz de enviar os dados através de *Bluetooth* para um *smartphone* e fazendo variar as condições de funcionamento dos eléttodos através da utilização de água e de um gel electro condutor, foi possível concluir que é possível a medição da frequência cardíaca através de eléttodos totalmente têxteis secos, sendo que, existem vários fios condutores capazes de medir este potencial elétrico. Para comprovar a capacidade destes eléttodos têxteis realizarem a medição da frequência cardíaca, foram utilizados outros dispositivos em simultâneo, um oxímetro e um relógio de pulso, também capazes de realizar esta medição, tendo-se observado uma medição semelhante entre eles, tanto antes dos processos de lavagem

e secagem como após. Um dos fatores importantes que foi possível perceber a sua relevância foi a compressão dos elétrodos visto que, sempre que a compressão não era suficiente foi necessário criar essa compressão para os elétrodos contactarem com a pele conseguindo realizar a medição da frequência cardíaca.

Relativamente à operação de tingimento que as estruturas de malha e os elétrodos sofreram, foi possível concluir que este processo não afetou o funcionamento dos mesmos, uma vez que foi possível a medição da frequência cardíaca, embora não tenha sido possível comparar com os elétrodos antes do tingimento.

## **5.2. Perspetivas futuras**

Como perspectivas futuras, existem alguns pontos a ter em consideração para posteriormente serem estudados e analisados. Em primeiro lugar, a colocação de todas as molas de pressão nos elétrodos deveria ser como colocadas nos elétrodos com o fio Bekintex, para não haver interferência no tamanho destes. Em segundo lugar, seria de importante relevância visualizar no microscópio eletrónico (SEM) os fios dos elétrodos após lavagem para se perceber qual foi o desgaste que houve, uma vez que após cinco lavagens os valores de resistência aumentaram substancialmente e cinco lavagens é um número muito reduzido que iria aumentar o valor final do produto se produzida uma peça para se comercializar. Também o estudo de diferentes estruturas têxteis na produção dos elétrodos seria um fator a considerar numa próxima investigação, de modo a ser possível perceber se diferentes estruturas teriam impacto na medição da frequência cardíaca.

## Bibliografia

- Alagirusamy, R., & Das, A. (2010). Technical textile yarns - Industrial and medical applications. Em R. Alagirusamy & A. Das (Eds.), *Journal of Chemical Information and Modeling*. Woodhead Publishing.
- Andrade, S. F. (2009). *Estudo e Desenvolvimento de Eléttodos de Superfície para Eletrocardiografia*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Ankhili, A., Zaman, S. uz, Tao, X., Cochrane, C., Končar, V., & Coulon, D. (2019). Washable embroidered textile electrodes for long-term electrocardiography monitoring. *Textile & leather review*, 2(3). <https://doi.org/10.31881/tlr.2019.27>
- Aquino, M. S. de. (2008). *Apostila de métodos e processos de manufatura de malha I* (Número 084).
- Araújo, M. de, Fangueiro, R., & Hong, H. (2000). *Têxteis Técnicos - Materiais do Novo Milénio* (Williams,).
- Bashir, T. (2013). *Conjugated Polymer-based Conductive Fibers for Smart Textile Applications* (Número 0). University of Borås.
- Bekaert. (sem data). *Conductive fibers and yarns for smart textiles*. Obtido 25 de Maio de 2021, de <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/conductive-fibers-and-yarns-for-smart-textiles>
- Biermann, Y. M. (2019). *Experimental study of the change in electrical resistance of conductive yarns, seams and fabrics due to washing*.
- Carvalho, H., Paiva, A., Catarino, A., Postolache, O., & Postolache, G. (2015). *Development of Dry Textile Electrodes for Electromiography*.
- Catarino, A. (2008). Introdução à tecnologia seamless –Conceitos básicos e programação de um tear seamless. Em *Guimarães, Universidade do Minho*.
- Catarino, A. P., Rocha, A. R., Carvalho, H., & Ferreira, F. N. (2017). Textile Based Electrodes for Ecg and Emg Measurements. *International Conference on Intelligent Textiles and Mass Customisation*, 1–7.
- Catarino, André. (1998). *Dinâmica da tricotagem: Estudo da dinâmica da tensão de entrada do fio e sua aplicação em controlo de qualidade*. Universidade do Minho.
- Catarino, André, Carvalho, H., Dias, M. de J., & Rocha, A. M. (2011). *Eléttodos baseados em substratos*

*têxteis.*

- Catrysse, M., Puers, R., Hertleer, C., Van Langenhove, L., Van Egmond, H., & Matthys, D. (2003). *Fabric sensors for the measurement of physiological parameters. 2.*
- Cho, G. (Ed.). (2010). *Smart Clothing Technology and Applications.*
- Choi, W., & Powell, N. B. (2005). *Three dimensional seamless garment knitting on v-bed flat knitting machines. 4(3), 1–33.*
- Chowdhury, R., Reaz, M., Ali, M., Bakar, A., Chellappan, K., & Chang, T. (2013). Surface Electromyography Signal Processing and Classification Techniques. *Sensors, 13(9), 12431–12466.* <https://doi.org/10.3390/s130912431>
- Chung, D. D. L. (2010). Functional Materials: Electrical, Dielectric, Electromagnetic, Optical and Magnetic Applications. Em *Functional Materials.* WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/7447>
- Clothing, A. S. (sem data). *BioMan+.* Obtido 14 de Março de 2021, de <https://www.aiqsmartclothing.com/product-service/>
- Day, S. (2002). Important Factors in Surface EMG Measurement. *Measurement, 1–17.* [http://edge.rit.edu/content/P08027/public/IRB/Papers/intro\\_EMG.pdf](http://edge.rit.edu/content/P08027/public/IRB/Papers/intro_EMG.pdf)
- Dias, C. M. (2009). *Design de Estruturas Fibrosas Híbridas para Aplicação Técnica.* Universidade do Minho.
- Dias, T. (Ed.). (2015). *Electronical Textiles- Smart Fabrics and Wearable.* Woodhead Publishing.
- Ferraz, A., & Vasconcelos, F. (2017). *Inserção de fios condutores em têxteis.*
- Ferreira, A., Ferreira, F. N., & Oliveira, F. R. (2014). *Têxteis Inteligentes- Uma breve revisão da literatura.*
- Finni, T., Hu, M., Kettunen, P., Vilavuo, T., & Cheng, S. (2007). *Validity, Reliability and Feasibility of Measuring Muscle Activity with Textile Electrodes Embedded into Clothing.*
- Fonseca, P., Borgonovo-santos, M., Vilas-boas, J. P., & Catarino, A. (2013). *Validação de eléctrodos têxteis para medição de eletromiografia. February.*
- Gonçalves, C., da Silva, A. F., Gomes, J., & Simoes, R. (2018). Wearable e-textile technologies: A review on sensors, actuators and control elements. *Inventions, 3(1), 1–13.* <https://doi.org/10.3390/inventions3010014>

- Hatch, K. L. (2000). *Textile Science: With Supplement*.
- Imbut. (sem data). *Fios especiais: Elitex e outros fios condutores*. Obtido 25 de Maio de 2021, de <https://www.imbut.de/de/spezialfaeden#leitfaehige-garne-elitex>
- Ionesi, D., Ciobanu, R., Vircan, A., Blaga, M., & Budulan, C. (2010). Three -Dimensional Knitted Fabric With Technical Destination. *Buletinul Institutului Politehnic Din Iași*, 30.
- Konrad, P. (2011). *The ABC of EMG*. Woodhead Publishing India Pvt Ltd.
- Lab, S. C. (sem data). *OMSignal Smart Clothing*. Obtido 14 de Março de 2021, de <https://smartclothinglab.com/brands/omsignal/>
- Leite, D. (2011). *Influência da Estrutura de Malha e do Elastômero na Compressão das Malhas Seamless*. Universidade da Beira Interior.
- Lopes, L. B., Lucas, M. G., Antunez, K. M., Souza Jr., A. A. de, Richter, C. M., & Tavares, M. C. (2019). Sistema simples com eletrodos capacitivos para monitoramento da frequência cardíaca através de contato indireto. *Revista Brasileira de Física Médica*, 13(2). <https://doi.org/10.29384/rbfm.2019.v13.n2.p47-52>
- López, G., Custodio, V., & Moreno, J. I. (2010). LOBIN: E-textile and Wireless-Sensor-Network-Based Platform for Healthcare Monitoring in future Hospital Environments. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(6). <https://doi.org/10.1109/TITB.2010.2058812>
- Magnus, E. B., Broega, A. C., & Catarino, A. P. (2010). *Tecnologia Seamless: Inovação em malhas*.
- Mirvin, D. M., & Goldberger, A. L. (2011). *Baunwald's Heart Disease- A Textboof of Cardiovascular Medicine* (9th ed.). Elsevier Saunders. <http://www.doctor33.it/cont/download-center-files/17519/cap-electrocardiography-x20968allp1.pdf>
- Moreira de Sousa, S. D. (2013). *Têxtil do Marco. Malha Trama e Estamparia Têxtil Industrial*. Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Nawab, Y., Hamdani, S. T. A., & Shaker, K. (2017). *Structural Textile Design - Interlacing and Interlooping*. CRC Press.
- Nayak, R., & Padhye, R. (2015). *Garment Manufacturing Technology* (Número 9). Woodhead Publishing.
- Oliveira, N. P. (2016). *Estudo e Aplicação do Design Paramétrico à Superfície da Malha de Trama*. Universidade do Minho.

- Paiva, A. L. B. (2015). *Vestuário Interactivo para Desporto e Reabilitação*. Universidade do Minho.
- Penciu, M., & Blaga, M. (2010). *Principle of creating 3d effects on knitted fabrics developed on electronic flat knitting machines*. January 2010.
- Peres, P. L. (2010). *Sistema para monitorização cardiovascular*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Ray, S. C. (2012). *Fundamentals and Advances in Knitting technology* (Vol. 5, Número 1). Woodhead Publishing India Pvt Ltd.
- Ribeiro, L. P. (2016). *Sistema De Monitoramento De Eletrocardiograma (ECG) Utilizando Eletrodos Secos Têxteis*.
- Richard Horrocks, A., & Anand, S. C. (2016). *Handbook of Technical Textiles* (Second). Woodhead Publishing.
- Sensoria. (sem data). *A Smarter Way to Run*. Obtido 14 de Março de 2021, de <https://www.sensoriafitness.com/smartsocks/>
- Souza, G. S. (2015). *A Eletromiografia de Superfície em Musculação para Diferentes Populações*. Biblioteca24horas. [https://books.google.pt/books?id=HltdCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pt/books?id=HltdCwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Spencer, D. (2001). *Knitting technology: a comprehensive handbook and practical guide* (3ª). Woodhead Publishing Limited.
- Statex. (sem data). *Shieldex*. Obtido 25 de Maio de 2021, de <https://www.shieldex.de/products/shieldex-235-36-hcb/>
- Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: A critical review. *Sensors (Switzerland)*, 7. <https://doi.org/10.3390/s140711957>
- Tao, X. (Ed.). (2005). *Wearable electronics and photonics* (Vol. 7, Número 2). Woodhead Publishing Limited.
- Van Langenhove, L., & Hertleer, C. (2004). Smart clothing: A new life. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16(1–2). <https://doi.org/10.1108/09556220410520360>
- Wijesiriwardana, R., Mitcham, K., & Dias, T. (2004). Fibre-Meshed Transducers Based Real Time Wearable Physiological Information Monitoring System. *Proceedings - International Symposium on*

*Wearable Computers, ISWC.* <https://doi.org/10.1109/iswc.2004.20>

Yip, J., & Ng, S. P. (2007). Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology*, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.073>

Zhang, Z., Liu, S., & Li, G. (2010). Usability Analysis of Textile Sensors in Control of Multifunction Myoelectric Prostheses. *i-CRETe 2010 - International Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology*.

## Anexos

Anexo I – Tabelas dos valores de corrente e tensão obtidos pra o cálculo da resistência e resistência linear dos fios Elitex, Bekintex e Shieldex.

Tabela 17. Valores obtidos de resistência e resistência linear no teste de condutividade para o fio Elitex

Elitex									
Amostra	Ensaio	Pré tensão (g)	Distância (m)	I (mA)	U (mV)	R ( $\Omega$ )	RL ( $\Omega$ /m)	Média R	Média RL
1	1	25.3	1	14.18	220	15.52	15.52	15.53	15.53
	2	25.3	1	14.17	220	15.53	15.53		
	3	25.3	1	14.16	220	15.53	15.53		
2	1	25.3	1	13.89	213	15.33	15.33	15.12	15.12
	2	25.3	1	13.88	210	15.13	15.13		
	3	25.3	1	14.15	211	14.91	14.91		
3	1	25.3	1	14.16	210	14.83	14.83	14.85	14.85
	2	25.3	1	14.14	210	14.85	14.85		
	3	25.3	1	14.12	210	14.87	14.87		
4	1	25.3	1	14.17	210	14.82	14.82	14.82	14.82
	2	25.3	1	14.16	210	14.83	14.83		
	3	25.3	1	14.17	210	14.82	14.82		
5	1	25.3	1	14.17	210	14.82	14.82	14.82	14.82
	2	25.3	1	14.17	210	14.82	14.82		
	3	25.3	1	14.17	210	14.82	14.82		

Tabela 18. Valores obtidos de resistência e resistência linear no teste de condutividade para o fio Bekintex

Bekintex									
Amostra	Ensaio	Pré tensão (g)	Distância (m)	I (mA)	U (mV)	R ( $\Omega$ )	RL ( $\Omega$ /m)	Média R	Média RL
1	1	21.6	1	1.31	4380	3333.33	3333.33	3445.09	3445.09
	2	21.6	1	1.36	4370	3215.60	3215.60		
	3	21.6	1	1.17	4430	3786.32	3786.32		
2	1	21.6	1	1.33	4370	3290.66	3290.66	3348.79	3348.79
	2	21.6	1	1.25	4400	3528.47	3528.47		
	3	21.6	1	1.35	4360	3227.24	3227.24		
3	1	21.6	1	1.21	4410	3635.61	3635.61	3614.61	3614.61
	2	21.6	1	1.16	4440	3837.51	3837.51		
	3	21.6	1	1.34	4510	3370.70	3370.70		
4	1	21.6	1	1.73	4370	2524.55	2524.55	3081.40	3081.40
	2	21.6	1	1.48	4460	3013.51	3013.51		
	3	21.6	1	1.23	4540	3706.12	3706.12		
5	1	21.6	1	1.31	4510	3432.27	3432.27	3175.48	3175.48
	2	21.6	1	1.52	4440	2930.69	2930.69		
	3	21.6	1	1.41	4470	3163.48	3163.48		

Tabela 19. Valores obtidos de resistência e resistência linear no teste de condutividade para o fio Shieldex

Shieldex									
Amostra	Ensaio	Pré tensão (g)	Distância (m)	I (mA)	U (mV)	R ( $\Omega$ )	RL ( $\Omega$ /m)	Média R	Média RL
1	1	15	1	6.32	2700	427.22	427.22	444.08	444.08
	2	15	1	6.14	2740	446.04	446.04		
	3	15	1	6.04	2770	458.99	458.99		
2	1	15	1	5.96	2780	466.76	466.76	454.09	454.09
	2	15	1	6.09	2730	448.35	448.35		
	3	15	1	6.11	2730	447.17	447.17		
3	1	15	1	5.87	2810	478.62	478.62	487.44	487.44
	2	15	1	5.86	2820	481.15	481.15		
	3	15	1	5.71	2870	502.54	502.54		
4	1	15	1	6.02	2760	458.40	458.40	461.08	461.08
	2	15	1	5.99	2780	464.26	464.26		
	3	15	1	6.01	2770	460.59	460.59		
5	1	15	1	6.18	2710	438.37	438.37	443.99	443.99
	2	15	1	6.19	2710	437.94	437.94		
	3	15	1	6.06	2760	455.67	455.67		