

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Desenvolvimento de um Equipamento Individual de Proteção
para a Prevenção de Lombalgia**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica

Ana Raquel Teixeira de Sousa

Orientadora: Professora Doutora Paula Luísa Nunes Braga da Silva

Coorientador: Professor Doutor José Manuel Cardoso Xavier



Vila Real, 2018

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**Desenvolvimento de um Equipamento Individual de Proteção
para a Prevenção de Lombalgia**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica

Ana Raquel Teixeira de Sousa

Orientadora: Professora Doutora Paula Luísa Nunes Braga da Silva

Coorientador: Professor Doutor José Manuel Cardoso Xavier

Composição do júri:

Presidente: Doutor José Manuel Alves Ribeiro, Professor Auxiliar da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Vogais: Doutora Paula Luísa Nunes Braga da Silva, Professora Auxiliar da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; Doutor Ronaldo Eugénio Calçada Dias Gabriel, Professor Associado com Agregação da Escola de Ciências da Vida e do Ambiente da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Vila Real, 2018

Atesto a originalidade do trabalho

Dissertação apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Professora Doutora Paula Luísa Nunes Braga da Silva e do Professor Doutor José Manuel Cardoso Xavier, ambos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Aos meus pais, Lucinda e Délio.

Agradecimentos

O autor deseja expressar o seu agradecimento a todas as pessoas ou instituições que possibilitaram a realização desta dissertação, nomeadamente:

Ao orientador científico, Professora Doutora Paula Luísa Nunes Braga da Silva da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, pelo indispensável apoio dado em toda a realização desta dissertação, pela partilha de conhecimentos, pela dedicação e carinho demonstrados, o meu sincero obrigada.

Ao coorientador científico, Professor Doutor José Manuel Cardoso Xavier, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, por todo o auxílio e esforços prestados bem como pelo encorajamento dado para a realização da presente dissertação.

À Doutora Sandra Cristina Correia Gonçalves Gagulic, por toda a ajuda dispensada, pela sua pronta disponibilidade e pela cedência de muitos recursos fundamentais nesta dissertação. Ainda, um maior obrigado, por me ter deixado participar neste incrível projeto.

À Doutora Mariana Fernandes, do Departamento de Química da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, por ter a amabilidade de disponibilizar o seu laboratório e inúmeros recursos, de modo a poder desenvolver o presente trabalho e por todo o apoio e atenção prestados. À colega Joana Pires, por toda a paciência para comigo, pela ajuda em tudo o que precisei durante o desenvolvimento de uma das fases desta dissertação, e pelos sempre bons conselhos relativos ao trabalho.

Ao CITEVE, pela disponibilização do material têxtil utilizado neste estudo e sobretudo ao Engenheiro José Morgado e ao Senhor Manuel Carvalho, pela paciência e disponibilidade que demonstraram sempre que me desloquei a Vila Nova de Famalicão.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica, especialmente ao Professor Doutor Fábio Pereira, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, CITAB, pela receptividade, bom humor e auxílio dado nos ensaios de caracterização.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, nomeadamente ao Engenheiro Délio Sousa, ao Professor Doutor José Luís Lousada e ao Senhor Armindo Teixeira, pela disponibilidade demonstrada, pelo interesse no meu trabalho, por tantas dúvidas que me tiraram e por me terem ajudado a obter tantos dados fundamentais a esta dissertação. Sem a vossa ajuda, teria sido muito mais difícil.

À Teresa Pinto Carvalho por toda a ajuda na elaboração da versão final da dissertação, pela sua pronta disponibilidade e pela sua simpatia.

A todos os meus amigos que, através do apoio e incentivo, contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente aos meus afilhados e padrinhos, que sempre demonstraram muito orgulho em mim e muito interesse no meu trabalho.

Às minhas meninas Catarina Pedrosa, Rita Sousa e Rita Silva e aos meus queridos amigos Eduardo Pereira e Bruno Oliveira, que mesmo com um ano muito complicado sempre tiveram disponibilidade para mim e sempre mostraram grande interesse e orgulho no meu trabalho.

Ao meu namorado, Nuno Gonçalves, por todo o carinho, positivismo, paciência e orgulho transmitidos que em muito contribuíram para a realização deste trabalho. Sem a sua companhia e ajuda, as viagens, os dias passados a estudar e os ensaios de longas horas, não teriam sido tão fáceis.

Aos meus pais, agradeço do fundo do coração, por me apoiarem em todos os momentos, inclusive na realização da minha dissertação. É a vocês que devo tudo. Agradeço, ainda, toda a compreensão, carinho e encorajamento que me deram para que finalizasse esta etapa académica. A vocês, o meu maior obrigado e desejos de felicidade, por nunca me ter faltado nada.

Resumo

A coluna lombar é uma estrutura anatômica de extrema importância pois suporta grande parte do peso corporal, em virtude da deslocação do ser humano. Desta forma, está sujeita a desgaste, forças e momentos excessivos que podem estar na origem de distintas patologias, como a lombalgia.

A lombalgia é uma disfunção frequente em trabalhadores que causa diminuição da qualidade de vida, produtividade, incapacidade funcional e absentismo. Dada a crescente dimensão que o problema tem assumido, vários grupos de investigação têm procurado identificar fatores predisponentes para o desenvolvimento e manutenção da cronicidade.

Esta dissertação tem como objetivo principal fazer uso de têxteis inteligentes no desenvolvimento de um equipamento de proteção individual para prevenção a lombalgias, substituindo as ortóteses lombares comuns.

Os têxteis inteligentes exibem várias vantagens, visíveis pela elevada versatilidade das roupas, tanto nos processos de produção como nos produtos finais. As fibras podem ser organizadas de várias formas, dando origem a produtos bidimensionais ou tridimensionais. Mas, mesmo depois das estruturas têxteis fabricadas, ainda é possível implementar características complementares através de processos de acabamento, como elasticidade ou rigidez.

Os polímeros naturais têm vindo a ser alvo de uma grande investigação com vista a obtenção de novos materiais sustentáveis. A nanocelulose, material muito abundante, tem sido estudada também para o desenvolvimento de novos materiais na indústria têxtil. Deste modo, sendo a nanocelulose um polímero natural com propriedades promissoras, procedeu-se à investigação da possibilidade da sua aplicação como revestimento do têxtil utilizado num equipamento de proteção individual.

Perante os resultados obtidos, a escolha para a faixa elástica de compressão do equipamento foi o tecido tafetá revestido com duas camadas de nanofibras de celulose em polpa na mesma face. Para as bandas de suporte com regulação térmica foi selecionada a malha *jersey* de algodão revestida com uma camada de nanofibras de celulose em polpa.

Palavras-chave: Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho, Lombalgia, Têxtil inteligente, Coluna lombar, Ortótese lombar, Nanocelulose.

Abstract

The lumbar spine is an anatomical structure of extreme importance because it supports a large part of the body weight, due to the displacement of the human being. In this way, it is subject to excessive wear, forces and moments that can be the origin of different pathologies, such as low back pain.

Low back pain is a frequent dysfunction in workers that causes decreased life quality, productivity, functional disability and absenteeism. Given the increasing concern that this problem has assumed, several research groups have sought to identify predisposing factors for the development and maintenance of its chronic character.

This study aims to make use of smart textiles in the development of an individual protective equipment to prevent low back pain, replacing the common lumbar orthotics.

Smart textiles have several advantages due to the high versatility of the clothes, both in the production process and in the final products. The fibers can be organized in several ways, giving rise to two-dimensional or three-dimensional products. But even after textile structures production, it is possible to implement complementary features through finishing processes such as elasticity or stiffness.

Natural polymers have been the subject of much research to obtain new sustainable materials. Nanocellulose, a very abundant material, has been intensely studied for the development of new materials, also in the textile industry. Thus, as nanocellulose is a natural polymer with promising properties, the possibility of its application as a coating for textile, used in the individual protection equipment, was investigated.

Considering the obtained results, the choice for the elastic compression range of the equipment was the taffeta fabric, coated with two layers of pulp cellulose nanofibers on the same face. For the thermally adjustable support bands, the cotton jersey mesh was coated with a layer of pulp cellulose nanofibers.

Keywords: Work-related musculoskeletal injuries, Low back pain, Smart textile, Lumbar spine, Lumbar orthotics, Nanocellulose.

Índice Geral

Agradecimentos.....	vii
Resumo.....	ix
Abstract	xi
Índice de Figuras	xvii
Índice de Tabelas.....	xxi
Índice de Equações.....	xxiii
Lista de Siglas	xxv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Motivação e objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. A COLUNA LOMBAR – ANATOMIA, BIOMECÂNICA E PATOLOGIAS ASSOCIADAS	5
2.1. A coluna vertebral.....	5
2.1.1. Anatomia da coluna vertebral.....	5
2.1.2. Cinesilogia da coluna vertebral	6
2.2. A coluna lombar	9
2.2.1. Vértabras.....	9
2.2.2. Discos intervertebrais	10
2.2.3. Ligamentos	11
2.2.4. Artrologia	12
2.2.5. Medula espinal.....	13
2.2.6. Músculos.....	14
2.3. Distorções posturais	15
2.4. Dor lombar.....	17
3. LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS RELACIONADAS COM O TRABALHO.....	19
3.1. Introdução.....	19
3.2. Conceito.....	19
3.3. Fatores de risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho no desenvolvimento de dor lombar	20
3.4. Incidência e prevalência de dor lombar associada ao trabalho	22
3.5. Estratégias de prevenção no trabalho	23
4. ORTÓTESES LOMBARES/CINTAS	25
4.1. Estado da arte	25

4.2. Definição.....	25
4.3. Função	26
4.4. Tipos de ortóteses lombares	26
4.5. Influência do uso de ortóteses para prevenir a dor lombar ocupacional	28
5. TÊXTEIS INTELIGENTES	31
5.1. Introdução.....	31
5.2. Definição.....	32
5.3. Têxteis como materiais inteligentes	32
5.4. Características de um têxtil inteligente	33
5.4.1. Usabilidade	34
5.4.2. Funcionalidade	35
5.4.3. Durabilidade	36
5.4.4. Segurança	36
5.4.5. Conforto.....	36
5.5. Tipos de têxteis inteligentes	37
5.5.1. Têxteis de mudança de fase	37
5.5.2. Têxteis com memória de forma	39
5.5.3. Têxteis crómicos.....	40
5.5.4. Têxteis luminescentes.....	40
5.5.5. Têxteis fotovoltaicos	41
5.5.6. Têxteis auxéticos	41
5.5.7. Têxteis eletrónicos.....	41
5.5.8. Têxteis piezoelétricos	42
5.6. Áreas de aplicação	42
5.7. Materiais têxteis utilizados no estudo	44
6. NANOCELULOSE	45
6.1. Introdução.....	45
6.2. Celulose	45
6.2.1. Estrutura hierárquica	47
6.2.2. Estrutura química.....	48
6.3. Fontes de nanocelulose.....	49
6.4. Propriedades da nanocelulose	50
6.4.1. Propriedades mecânicas e potencial de reforço	50
6.4.2. Propriedades térmicas.....	51
6.4.3. Absorção de água e solubilidade	52
6.5. Aplicação da nanocelulose aos materiais têxteis.....	52

6.6. Motivação para a escolha da nanocelulose.....	53
7. MATERIAIS E MÉTODOS	55
7.1. Materiais	55
7.2. Obtenção, otimização e caracterização dos têxteis revestidos com as NFC	57
7.2.1. Revestimento dos têxteis com as NFC em polpa.....	57
7.2.2. Desidratação por calor dos têxteis revestidos com as NFC em polpa	57
7.2.3. Caracterização dos têxteis revestidos com as NFC em polpa.....	58
7.2.3.1. <i>Análise por microscopia de fluorescência e ultravioleta</i>	<i>58</i>
7.2.3.2. <i>Análise por microscopia eletrônica de varrimento</i>	<i>59</i>
7.2.3.3. <i>Ensaio mecânicos de resistência à tração</i>	<i>60</i>
7.2.3.4. <i>Estimativa dos valores da densidade</i>	<i>61</i>
7.2.3.5. <i>Capacidade de absorção de água</i>	<i>61</i>
7.3. Planejamento do equipamento de proteção individual	62
8. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	65
8.1. Obtenção, otimização e caracterização dos têxteis revestidos com NFC em polpa	65
8.1.1. Desidratação por calor dos têxteis revestidos com NFC em polpa.....	65
8.1.2. Caracterização dos têxteis revestidos com NFC em polpa	66
8.1.2.1. <i>Análise por microscopia de fluorescência e ultravioleta</i>	<i>66</i>
8.1.2.2. <i>Análise por microscopia eletrônica de varrimento</i>	<i>68</i>
8.1.2.3. <i>Ensaio mecânicos quanto à resistência à tração.....</i>	<i>74</i>
8.1.2.4. <i>Estimativas dos valores da densidade.....</i>	<i>77</i>
8.1.2.5. <i>Capacidade de absorção de água</i>	<i>80</i>
8.1.3. Discussão final.....	84
9. CONCLUSÃO.....	89
9.1. Conclusões gerais	89
9.2. Trabalhos futuros	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

Índice de Figuras

Figura 2.1: Coluna vertebral completa.....	6
Figura 2.2: Curvaturas existentes na coluna vértebra.....	6
Figura 2.3: Movimentos intervertebrais: flexão lateral e rotações (esquerda); flexão posterior e anterior (direita).....	7
Figura 2.4: Movimentos entre duas vértebras	8
Figura 2.5: Vista superior do Atlas (C1).....	8
Figura 2.6: Vista póstero-superior do Áxis (C1).....	9
Figura 2.7: Vértebra lombar.....	10
Figura 2.8: Disco intervertebral	11
Figura 2.9: Medula espinal.....	13
Figura 2.10: Corte da medula espinal a nível da lombar.....	14
Figura 2.11: Músculos do tronco	15
Figura 3.1: Solicitações no local de trabalho e capacidades funcionais.....	20
Figura 4.1: a) Faixa de contenção elástica lombo-sagrada; b) Banda sacroilíaca; c) Faixa de contenção semirrígida dorso-lombar.....	27
Figura 5.1: Caracterização dos têxteis inteligentes	34
Figura 5.2: Imagem ilustrativa de PCMs em filamento	38
Figura 5.3: Têxtil médico com um curativo lubrificante	43
Figura 6.1: Estrutura de uma fibra lignocelulósica	47
Figura 6.2: Estrutura hierárquica da madeira: da árvore para a celulose	47
Figura 6.3: Unidade de repetição de uma cadeia de celulose, mostrando a direção da ligação 1 para 4, bem como as ligações de hidrogénio intracadeia	48
Figura 6.4: Representação da estrutura química e das ligações de hidrogénio intra e intermoleculares da celulose cristalina	49
Figura 6.5: TGA de a) fibra de celulose tratada, b) CNC após hidrólise ácida (dissolve as regiões amorfas) e c) membrana CNC self-assembled	51
Figura 6.6: Procura global de fibra, previsão para 2030	53
Figura 7.1: Nanocelulose sob a forma de polpa	57
Figura 7.2: a) Mistura da nanocelulose em polpa b) revestimento na máquina de recalque no CITEVE	57
Figura 7.3: Estufa elétrica do CITEVE	58
Figura 7.4: Microscópio Olympus BX.....	59
Figura 7.5: Microscópio TM4000PLUS	60
Figura 7.6: Ensaio de resistência à tração numa amostra de Tecido Tafetá.....	60
Figura 7.7: Ilustração da camisola (EPI) e seus constituintes	63

Figura 8.1: a) Malha de Teia revestida com NFC em polpa b) Malha Jersey de lã, revestida com NFC em polpa.....	65
Figura 8.2: Secagem da Malha de Teia revestida com as NFC em polpa.....	65
Figura 8.3: Malha de Teia revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.....	66
Figura 8.4: Malha Jersey de lã revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.....	66
Figura 8.5: Malha Jersey de algodão revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV	67
Figura 8.6: Malha Laminada revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.....	67
Figura 8.7: Tecido Tafetá revestido com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.....	67
Figura 8.8: a) SEM da Malha de Teia b) SEM da nanocelulose da Malha de Teia	68
Figura 8.9: a) SEM das partículas da Malha de Teia b) SEM das partículas e nanocelulose da Malha de Teia	68
Figura 8.10: Espectro EDS referente à Malha de Teia.....	69
Figura 8.11: a) SEM da partícula da Malha de Teia b) SEM da partícula da Malha de Teia e respetiva composição	69
Figura 8.12: a) SEM da Malha Jersey de lã b) SEM, a maior ampliação, da Malha Jersey de lã.....	69
Figura 8.13: a) SEM da nanocelulose envolvendo a fibra de lã b) SEM de uma fibra da Malha Jersey de lã	70
Figura 8.14: a) SEM da Malha Jersey de algodão b) SEM, a maior ampliação, da Malha Jersey de algodão	70
Figura 8.15: a) SEM da nanocelulose sobreposta às fibras de algodão b) SEM da nanocelulose envolvendo as fibras de algodão	70
Figura 8.16: Espectro EDS referente à Malha Jersey de algodão	71
Figura 8.17: a) SEM da Malha Laminada b) SEM, a maior ampliação, da Malha Laminada	71
Figura 8.18: a) SEM da partícula da Malha Laminada b) SEM da partícula da Malha Laminada e respetiva composição.....	72
Figura 8.19: Espectro EDS referente à Malha Laminada.....	72
Figura 8.20: a) SEM do Tecido Tafetá b) SEM, a maior ampliação do Tecido Tafetá	73
Figura 8.21: a) SEM da partícula do Tecido Tafetá b) SEM da partícula do Tecido Tafetá e respetiva composição	73
Figura 8.22: Espectro EDS referente ao Tecido Tafetá	73
Figura 8.23: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá sem revestimento	75

Figura 8.24: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá revestido com uma camada de NFC em polpa	75
Figura 8.25: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá revestido em cada um dos lados com uma camada de NFC em polpa	75
Figura 8.26: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá revestido com duas camadas de NFC em polpa no mesmo lado	75
Figura 8.27: Gráfico Tensão/Deformação comparativo dos quatro fragmentos do Tecido Tafetá...	75
Figura 8.28: Gráfico de barras com os valores médios do módulo de Young das amostras de Tecido Tafetá	76
Figura 8.29: Gráfico de barras com os valores médios de carga máxima das amostras de Tecido Tafetá.....	76
Figura 8.30: Gráfico de barras com os valores médios da energia específica de fratura das amostras de Tecido Tafetá.....	77
Figura 8.31: Valores de densidade (g/cm ³) das amostras da Malha Jersey com 100% de lã	78
Figura 8.32: Valores de densidade (g/cm ³) das amostras de Tecido Tafetá	80
Figura 8.33: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha de Teia.....	81
Figura 8.34: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha Jersey de lã	81
Figura 8.35: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha Jersey de algodão	81
Figura 8.36: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha Laminada.....	81
Figura 8.37: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras do Tecido Tafetá.....	81

Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Classificação da lombalgia segundo mecanismo etiopatogénico	18
Tabela 3.1: Fatores de risco inerentes ao trabalho causadores de lombalgia	21
Tabela 5.1: Tecnologias inteligentes, relacionando o estímulo com a resposta	37
Tabela 5.2: Denominação do material crómico em função do estímulo	40
Tabela 5.3: Materiais têxteis estudados.....	44
Tabela 6.1: Correlação entre as propriedades da nanocelulose e as necessidades de uma ortótese lombar	54
Tabela 8.1: Dimensões e massa das amostras da Malha de Teia, bem como volume e densidade calculados	77
Tabela 8.2: Dimensões e massa das amostras da Malha Jersey (100% lã), bem como volume e densidade calculados.....	78
Tabela 8.3: Dimensões e massa das amostras da Malha Jersey (100% algodão), bem como volume e densidade calculados.....	78
Tabela 8.4: Dimensões e massa das amostras da Malha Laminada, bem como volume e densidade calculados.....	79
Tabela 8.5: Dimensões e massa das amostras do Tecido Tafetá, bem como volume e densidade calculados	79
Tabela 8.6: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha de Teia.....	82
Tabela 8.7: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de lã	82
Tabela 8.8: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de algodão	83
Tabela 8.9: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha Laminada.....	83
Tabela 8.10: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras do Tecido Tafetá.....	83
Tabela 8.11: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha de Teia.....	84
Tabela 8.12: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de lã	85
Tabela 8.13: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de algodão	85
Tabela 8.14: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha Laminada.....	85

Tabela 8.15: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras do Tecido Tafetá	86
---	----

Índice de Equações

Equação 1	61
Equação 2	62
Equação 3	62
Equação 4	74
Equação 5	74
Equação 6	74

Lista de Siglas

BC – Celulose bacteriana

CNC – Nanocristais de celulose

CNF – Nanofibrilhas de celulose

CTE – Coeficiente de expansão térmico

E – Módulo de Young

EAP – *Electroactive polymers*

ECA – Ensaio clínico aleatório

EDS – Espectroscopia por energia dispersiva

EPI – Equipamento de proteção individual

ISO – International Organization for Standardization

IV – Intervertebrais

LME – Lesões músculo-esqueléticas

LMEMSRT – Lesões músculo-esqueléticas dos membros superiores relacionadas com o trabalho

LMERT – Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho

MCC – Nanocelulose microcristalina

NFC – Nanofibras de celulose

PCM – *Phase change material*

PET – Polietileno tereftalato

R_{máx} – Carga máxima

SEM – Microscopia eletrónica de varrimento

TGA – Análise termogravimétrica

UV – Ultravioleta

W_f – Energia específica de fratura

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

A coluna vertebral é uma estrutura complexa do nosso corpo, constituída por um conjunto articulado mono-axial, embora com algum movimento entre as vértebras. É anatómica e fisiologicamente edificada de maneira a suportar o peso do tronco, da cabeça e dos membros superiores, proteger a medula espinal, possibilitar aos nervos raquidianos abandonar a medula espinal, oferecer um local de inserção muscular e, ainda, permitir o movimento do tronco e da cabeça. A coluna está dividida em quatro componentes estruturais: coluna cervical, coluna torácica, coluna lombar e coluna sacral. Esses componentes são responsáveis pelo equilíbrio do corpo humano em pé, através das suas curvaturas específicas: lordoses e cifoses.

A ocorrência de patologias na coluna vertebral é frequente dado que é uma estrutura bio mecanicamente complexa, sujeita a cargas de diversas origens e dependente de multifatores. Visto que a lombar é o eixo principal do nosso corpo e tem todo o peso corporal em si aplicado, é frequente surgirem perturbações músculo-esqueléticas nesta região.

As lesões músculo-esqueléticas (LME) são uma das doenças mais comuns relacionadas com o trabalho. Afetam milhões de trabalhadores, com um custo de milhares de milhões de euros para as entidades patronais. (Lesões musculoesqueléticas - Segurança e saúde no trabalho, s.d.) Este tipo de lesão atinge maioritariamente a zona dorso-lombar, a região cervical, os ombros e os membros superiores. Os problemas de saúde variam entre dores fracas, intensas e situações clínicas graves, que exigem tratamento médico. Em casos crónicos, podem até mesmo levar à incapacidade (Lesões musculoesqueléticas - Segurança e saúde no trabalho, s.d.). Um dos principais grupos de LME é as lombalgias (comumente conhecidas como “lesões por esforços repetitivos”) (Lesões musculoesqueléticas - Segurança e saúde no trabalho, s.d.).

O negócio têxtil, em simultâneo com a pressão dos menores custos, provocou o desenvolvimento de novos produtos, com melhor desempenho, múltiplas funcionalidades, com menor impacto ambiental e aplicação em diferentes domínios. É neste contexto que os produtos têxteis têm evoluído na área da saúde e, se no passado se fazia referência aos têxteis técnicos, hoje a referência é aos têxteis inteligentes, que apresentam a capacidade de se adaptar ao meio envolvente e até melhorar o bem-estar do utilizador. Para tal, a indústria tem

criado tecidos e vestuários que possuem atributos mais significativos que simplesmente a beleza, têm também atributos funcionais. Assim, a indústria têxtil tem-se munido de tecnologias que até ao momento nunca tinham sido consideradas para agregação aos tecidos.

Cada vez mais são investigados polímeros naturais, bem como as suas propriedades, tendo em conta a sua sustentabilidade. Um desses materiais é a nanocelulose, extraída da celulose nativa (Lin & Dufresne, 2014). As celuloses são homopolímeros fibrosos, resistentes e lineares compostos por unidades de D-anidroglicopiranosose (Jorfi & Foster, 2015). Este polímero encontra-se em fontes bacterianas como algas e fungos, em plantas e tunicatos (animais marinhos) (Jorfi & Foster, 2015).

As fibras de nanocelulose podem ser sujeitas a tratamentos químicos ou mecânicos, para obter nanocristais e nanofibrilhas de celulose (CNF), ou serem produzidas por bactérias, obtendo-se celulose bacteriana (BC) (Lin & Dufresne, 2014). Este material tem vindo a ganhar notoriedade na indústria têxtil devido às suas propriedades físicas e químicas, bem como à sua disponibilidade, abundância e baixo custo. Deve destacar-se a sua baixa densidade, cristalinidade, o reforço mecânico, entre outras (Lin & Dufresne, 2014).

1.2. Motivação e objetivos

O objetivo essencial da presente dissertação centra-se na investigação da possibilidade do desenvolvimento de um protótipo de um equipamento de proteção individual (EPI) para a prevenção de lombalgia. Com este trabalho pretende-se obter o equipamento em questão, uma camisola com características específicas, criada a pensar nos processos inerentes à lesão, potenciando a sua prevenção ou promovendo o alívio da sintomatologia criada pela mesma.

Outros pontos de interesse neste estudo passam por, analisar a lombalgia relacionada com o trabalho; observar de que forma se podem prevenir lombalgias através de um EPI; revestir os têxteis termorreguladores com polpa de nanocelulose; caracterizar o têxtil revestido, conceber um protótipo de EPI que permita prevenir lombalgias e validar o protótipo na população em estudo.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em nove capítulos.

No capítulo 1 é apresentado o enquadramento, a motivação e os objetivos desta dissertação e uma descrição da sua estrutura.

Nos capítulos 2, 3, 4, 5 e 6 são abordadas as noções principais quanto aos diversos temas: a anatomia e biomecânica da coluna, as LME relacionadas com o trabalho, as ortóteses lombares, os têxteis inteligentes e as características e aplicações da nanocelulose.

No capítulo 7 são apresentados os materiais usados e os diversos métodos utilizados na execução da presente dissertação. Entre eles destaca-se o processo de revestimento dos materiais têxteis com a nanocelulose, a sua caracterização em diversos aspetos e o planeamento do protótipo.

No capítulo 8 são descritos os resultados obtidos no revestimento dos materiais têxteis, bem como na secagem destes. Apresenta-se também, neste capítulo, a discussão dos resultados obtidos quanto à caracterização dos têxteis revestidos.

No capítulo 9 são apresentadas as conclusões principais retiradas do desenvolvimento deste trabalho, assim como as limitações encontradas na sua execução e propostas de trabalho futuro.

2. A COLUNA LOMBAR – ANATOMIA, BIOMECÂNICA E PATOLOGIAS ASSOCIADAS

Neste capítulo são abordados aspetos relevantes quanto à anatomia da coluna vertebral, com maior destaque para a zona lombar, bem como as patologias inerentes à mesma.

2.1. A coluna vertebral

A coluna vertebral é uma estrutura especializada e de extrema importância no corpo humano, que assegura a sustentação corporal dos vertebrados.

Torna-se cada vez mais pertinente conhecer e estudar a anatomia e biomecânica da coluna vertebral para compreender como se pode atuar, de forma a evitar o aparecimento e desenvolvimento de patologias de modo a permitir que a sua função seja concretizada eficientemente.

2.1.1. Anatomia da coluna vertebral

A coluna vertebral é o pilar estrutural do corpo humano e é responsável por suportar o peso corporal, proteger a medula espinal no canal vertebral e por conceder o movimento humano. Esta é firme, mas flexível ao mesmo tempo. A sua flexibilidade e estabilidade são garantidas pelas vértebras e estas estão unidas por articulações, músculos, ligamentos e tendões.

A coluna vertebral estende-se desde a base do crânio até à extremidade caudal do tronco e é constituída por 33 vértebras (o número pode variar), sendo as primeiras 24 vértebras móveis (Coluna vertebral, 2001; Pinto, s.d.). As 24 vértebras individuais são as 7 vértebras cervicais, 12 vértebras torácicas e 5 vértebras lombares. As restantes vértebras fixas, como estão unidas, formam o sacro e o cóccix (Rodrigues, 2011).

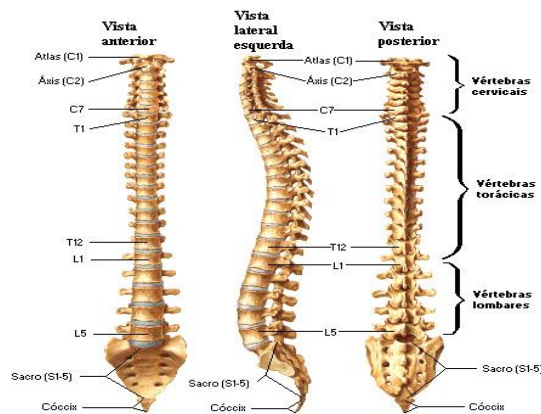


Figura 2.1: Coluna vertebral completa.
(Adaptado de Vertebral Column: The Spine, s.d.)

Da vista anterior e posterior a coluna vertebral aparenta ser reta, mas em termos de curvatura vertebral apresenta quatro curvaturas naturais, uma sequência de lordose cervical (concavidade posterior), cifose torácica (concavidade anterior), lordose lombar e cifose sacrococcigiana (Figura 2.2). (Coluna vertebral, 2001)

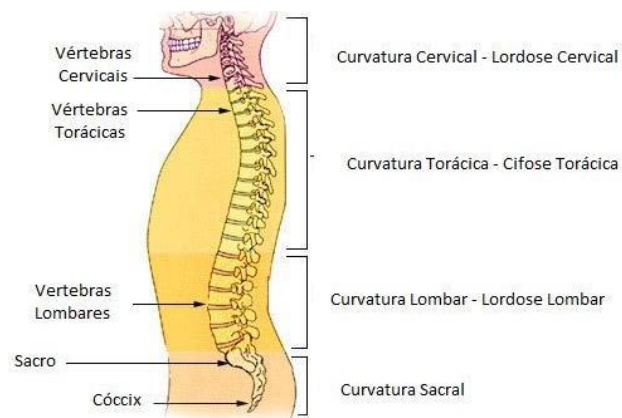


Figura 2.2: Curvaturas existentes na coluna vertebral.
(Hiper cifose torácica e postura, 2017)

2.1.2. Cinesiologia da coluna vertebral

A coluna vertebral é um órgão cinético, permitindo os movimentos combinados da cabeça, do pescoço e do tronco.

A mobilidade da coluna vertebral comporta seis tipos de movimentos. Quanto aos movimentos de flexão e extensão da coluna vertebral, estes são inversos e executam-se ao longo do plano sagital, onde a extensão corresponde à aproximação da posição anatômica de referência e a flexão corresponde ao seu afastamento (Teixeira, 2014). O movimento de

extensão é evidente ao nível das zonas cervical e lombar da coluna vertebral, acentuando as curvaturas sagitais normais. O movimento de flexão tende a reduzir a curvatura sagital cervical e lombar, aumentando um pouco a curvatura dorsal (Movimentos da coluna, 2017).

Os movimentos de flexão lateral e de rotação da coluna vertebral estão associados a esforços. Estes movimentos passam-se lateralmente, e distinguem-se pelo eixo de rotação que lhes está associado, ou seja, enquanto a rotação tem como eixo de rotação o eixo longitudinal do corpo, a flexão lateral apresenta um eixo de rotação na direção ântero-posterior (Fernandes, 2008). O movimento de rotação é pouco nítido nas zonas lombar e dorsal da coluna vertebral, mas muito ampliado na zona cervical. O movimento de inclinação lateral é reduzido ao nível da zona lombar, aumentando a amplitude nas zonas dorsal e cervical da coluna vertebral (Movimentos da coluna, 2017).

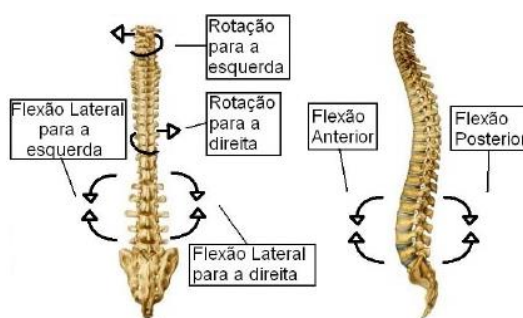


Figura 2.3: Movimentos intervertebrais: flexão lateral e rotações (esquerda); flexão posterior e anterior (direita).
(Adaptado de Campos, 2005)

Estes quatro movimentos ocorrem quase instintivamente em atividades frequentes no quotidiano, nomeadamente o movimento efetuado para colocar algo numa prateleira alta (extensão), o movimento para pousar algo no chão (flexão), o movimento para alcançar o braço na manga de uma camisola (flexão lateral) e o movimento para agarrar algo que se encontra no banco traseiro de uma viatura quando sentado num dos lugares dianteiros (rotação) (Teixeira, 2014).

Ao movimento de translação estão associadas forças de compressão, corte ou momentos, enquanto ao movimento de rotação estão associados momentos de flexão ou torção (Rodrigues, 2012).

A mobilidade da coluna vertebral está dependente de diversos fatores, como o estado dos discos intravertebrais, a sua geometria, hidratação, rigidez, degeneração e envelhecimento, o estado das articulações, ligamentos e os elementos ósseos posteriores. Os

movimentos da coluna vertebral também podem estar condicionados pelas propriedades viscoelásticas dos discos intervertebrais (IV) e dos ligamentos (Kurutz & Oroszváry, 2012; Rodrigues, 2012). A Figura 2.4 ilustra os movimentos acima apresentados, entre duas vértebras.

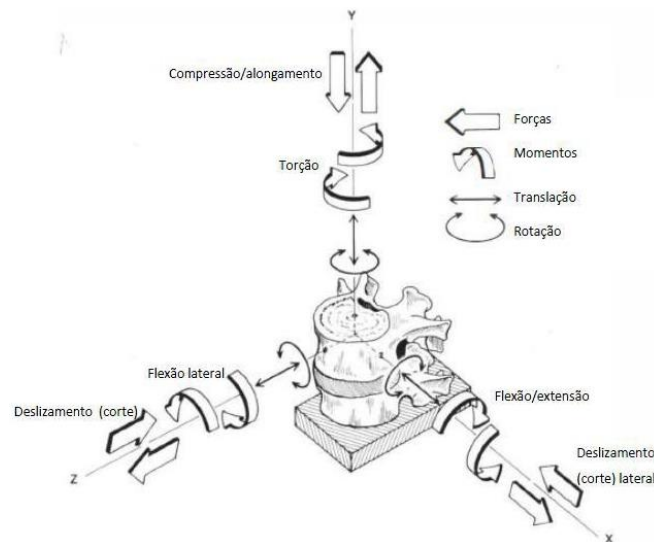


Figura 2.4: Movimentos entre duas vértebras.
(Rodrigues, 2012)

O atlas é a primeira vértebra cervical e possui esta designação por suportar a cabeça, tal como o titã da mitologia grega. A sua característica principal é não possuir corpo vertebral (Coluna vertebral, s.d.). Funciona como um apoio ao crânio e articula-se com o áxis, permitindo os movimentos da cabeça, que são de três tipos: flexão e extensão, inclinação lateral e rotação (Movimentos da coluna, 2017).



Figura 2.5: Vista superior do Atlas (C1).
(Anatomia - Esqueleto Axial e Apendicular, s.d.)

O áxis é a segunda vértebra cervical, assim designada por criar um eixo de rotação para a cabeça (crânio), através do atlas, ao redor do seu “dente” (processo odontóide) (Pinto,

s.d.). Este “dente” consiste numa estrutura cônica proeminente e é esta característica que a diferencia das restantes vértebras (Pinto, s.d.).

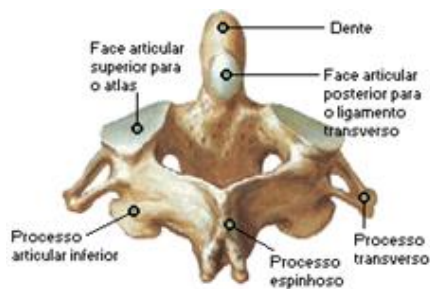


Figura 2.6: Vista pósterio-superior do Áxis (C1).
(Anatomia - Esqueleto Axial e Apendicular, s.d.)

2.2. A coluna lombar

A coluna lombar é um sistema fisiológico complexo constituído por vários elementos anatómicos: vértebras, músculos, tendões, discos IV, articulações, ligamentos, vasos sanguíneos e nervos. Estes elementos possuem diferentes funções, que vão desde a sustentação ao movimento.

Para a compreensão de um sistema é necessário saber quais os elementos que o constituem e como estes se relacionam entre si. Assim, neste capítulo será apresentada uma revisão dos elementos anatómicos que compõem a coluna lombar e também como interagem entre si, descrevendo os princípios biomecânicos presentes. Sendo esta a região que suporta o peso do corpo em virtude da deslocação do ser humano, está sujeita a desgaste, forças e momentos exagerados que podem estar na origem de distintas patologias como a lombalgia, estando esta também incluída no presente capítulo.

2.2.1. Vértebras

As vértebras são os elementos ósseos da coluna vertebral humana e têm um conjunto de características comuns - vértebras isólogas (Pina, 1999). As vértebras são compostas essencialmente por: o corpo vertebral, um arco vertebral e sete apófises (duas articulares superiores e duas inferiores, duas transversas e uma espinhosa) (Moore & Dalley, 2006).

As vértebras lombares são cinco e encontram-se na parte inferior do dorso, entre o tórax e o sacro (Teixeira, 2014). Estas vértebras apresentam corpos vertebrais largos e densos, buraco vertebral circular e apófises transversas e espinhosas robustas e quase retangulares

(Pinto, s.d.; Teixeira, 2014). As apófises articulares superiores estão voltadas para a linha mediana, e as apófises articulares inferiores viradas para fora (Teixeira, 2014). Quando a superfície articular superior de uma vértebra lombar se articula com a superfície articular inferior de outra vértebra lombar, aumenta a resistência mecânica da parte inferior da coluna vertebral e limita a rotação das vértebras lombares (Seeley, Stephens & Tate, 2003, 2005). Os seus pedículos são fortes, sendo visível que as facetas das apófises articulares inferiores são convexas e que as das apófises articulares superiores são côncavas. As incisuras vertebrais inferiores são mais vincadas que as superiores (Figura 2.7) (Pinto, s.d.).

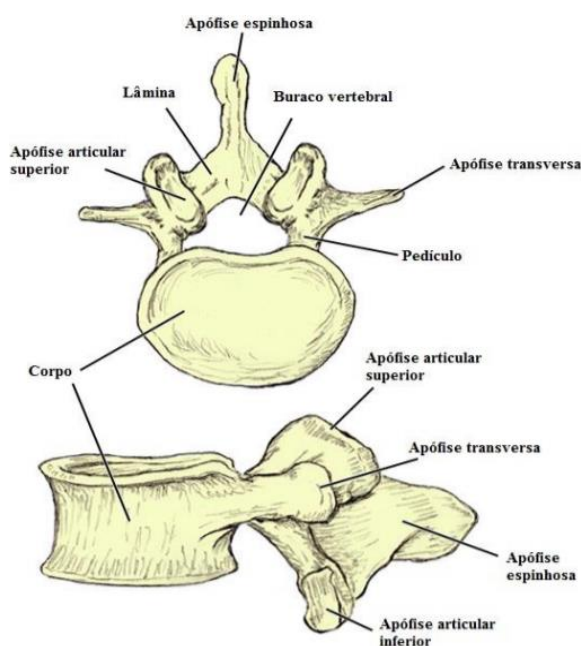


Figura 2.7: Vértebra lombar.
Adaptado de Anatomy, s.d.)

As vértebras lombares possuem corpos vertebrais maiores e mais resistentes porque sustentam grande parte do peso do corpo humano, que aumenta em direção à extremidade inferior da coluna vertebral. A maior de todas as vértebras móveis é a quinta vértebra lombar, L5, que suporta o peso da parte superior do corpo (Moore & Dalley, 2006).

2.2.2. Discos intervertebrais

Os discos IV encontram-se entre as cartilagens da coluna vertebral, exceto entre a primeira e a segunda vértebra cervical (Duarte, 2012).

A sua primeira função é oferecer suporte, impedir o atrito entre as vértebras e dissipar carga, mantendo a estabilidade e flexibilidade necessárias à execução das tarefas diárias

(Hérnia discal lombar, s.d.). Os discos IV ainda proporcionam amortecimento, absorvendo forças compressivas excessivas que poderiam danificar as vértebras (Jorge, 2014). Uma vez que os discos são avasculares, isto é, não possuem vasos sanguíneos, a regeneração de lesões é difícil (Ebraheim, Hassan, Lee & Xu, 2004; Raj, 2008). Os discos são compostos por duas estruturas: o anel fibroso e o núcleo pulposo, formando uma articulação cartilaginosa (Figura 2.8) (Ebraheim et al., 2004).



Figura 2.8: Disco intervertebral.
(Seeley et al., 2003)

O anel fibroso é a parte exterior do disco e é constituído por camadas de fibras de colagénio em forma de espiral, encapsulando o núcleo pulposo (Duarte, 2012). Este anel limita o núcleo pulposo no seu interior, mantendo as vértebras afastadas e limitando o movimento relativo entre duas vértebras adjacentes (Jorge, 2014). Por seu lado, o núcleo pulposo é formado por um gel de mucopolissacarídeos, proteoglicanos, colagénio tipo II e cerca de 80% a 90% de água (Raj, 2008). O núcleo é incompressível, sendo ideal para suportar forças de compressão e distribuí-las por toda a sua área (Jorge, 2014).

2.2.3. Ligamentos

Os ligamentos são estruturas uniaxiais que têm uma função essencial na estabilidade da coluna vertebral (Reis, 2015; Teixeira, 2014). Para além desta função, permitem o movimento adequado entre as vértebras, com um gasto mínimo de energia muscular delimitam os movimentos e protegem a coluna vertebral, a medula espinal e os discos IV em situações traumáticas (White & Panjabi, 1990). Conforme a região da coluna vertebral, os ligamentos apresentam distintas propriedades morfológicas e mecânicas, formas e dimensões (Reis, 2015). Tudo isto depende do braço de momento de cada ligamento, ou seja, da “distância perpendicular entre o vetor de força, coincidente com o ligamento, e o eixo de rotação da coluna” (Reis, 2015). Assim, quanto maior a distância, maior é a proporção da força exercida, logo maior é o momento aplicado (Reis, 2015). Isto significa que um

ligamento mais fraco com um braço de momento mais longo é, no mínimo, tão eficiente quanto um ligamento mais forte com um braço de momento mais curto, aumentando a eficiência mecânica sobre os movimentos da coluna vertebral (Reis, 2015).

Os ligamentos que atuam na região lombar são: o ligamento longitudinal anterior, o ligamento longitudinal posterior, os ligamentos intertransversos, os ligamentos amarelos, os ligamentos interespinhosos e os ligamentos supraespinhosos.

2.2.4. Artrologia

A coluna vertebral é composta por articulações entre os corpos vertebrais, articulações dos arcos vertebrais, articulações costovertebrais e costo-transversas, articulações sacroilíacas e ainda as articulações atlanto-occipital, atlanto-axial e unco-vertebrais (Natour, 2004; Seeley et al., 2005). Nesta subsecção será abordada a artrologia referente à coluna lombar.

As articulações IV (entre os corpos vertebrais) são articulações cartilaginosas secundárias que conectam dois ossos por meio de fibrocartilagem, denominando-se sínfises (Reis, 2015). As articulações entre as vértebras apresentam algum movimento, devido à flexibilidade da fibrocartilagem, designando-se anfiartroses (semimóveis) (Moore, Dalley & Agur, 2013; Seeley et al., 2005). Estas articulações são constituídas pelos corpos de duas vértebras vizinhas, os ligamentos longitudinais que os ligam e pelos discos IV (Natour, 2004). Estas articulações destinam-se a suportar cargas de peso-rotação e força (Moore et al., 2013).

Os arcos vertebrais são unidos por articulações sinoviais planas, ou seja, móveis designadas por zigoapofisárias (Reis, 2015). São compostas pelas apófises articulares inferiores e superiores de duas vértebras adjacentes e por ligamentos acessórios que se ligam com as lâminas e as apófises transversas e espinhosas (Reis, 2015). Estas articulações permitem o movimento característico dos vários segmentos da coluna vertebral (Moore et al., 2013; Natour, 2004).

As articulações de faceta, também designadas de zigapófises, situam-se entre as apófises articulares (Pinto, s.d.). São articulações sinoviais planas, sendo do tipo complexo apenas na região lombar (Pinto, s.d.).

A articulação entre a quinta vértebra lombar e o sacro, chamada de junção lombo-sagrada, é idêntica às existentes entre as outras vértebras (Pinto, s.d.).

Os corpos estão unidos por uma sínfise que inclui um grande disco intervertebral cujas superfícies articulares são curvas. Está associada ao ligamento iliolumbar (Pinto, s.d.).

2.2.5. Medula espinal

A medula espinal é uma massa alongada, de forma cilíndrica que faz parte do sistema nervoso central inserida no canal vertebral, mas sem ocupá-lo na sua totalidade, desde o orifício occipital até ao disco intervertebral entre a primeira e a segunda vértebra lombar, L2 (Medula espinal (ou espinhal), s.d.; Ribeiro, 2009).

A medula possui um diâmetro não-uniforme por ter duas dilatações, as intumescências cervical e lombar, de onde saem pares de nervos raquidianos através dos plexos braquial e lombo-sagrada, para fornecer nervos aos membros superiores e inferiores. Tem um comprimento médio de 45 cm no homem adulto e um comprimento ligeiramente menor na mulher. A medula termina num filamento que forma o cone medular até ao ligamento coccígeo (Ribeiro, 2009).

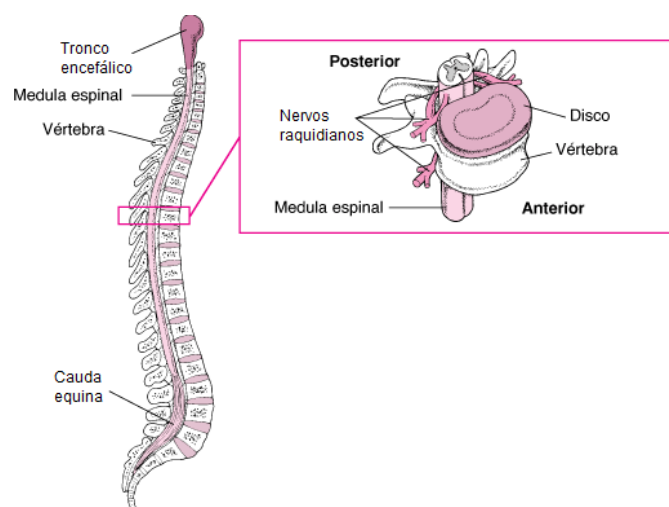


Figura 2.9: Medula espinal.
(Adaptado de Médula espinal, s.d.)

A medula espinal é ainda composta por substância branca periférica e substância cinzenta central. Esta última é constituída por duas massas laterais, os cornos anteriores ou motores e os cornos posteriores ou sensitivos, e no seu centro encontra-se o canal ependimário (Medula espinal [ou espinhal], s.d.).

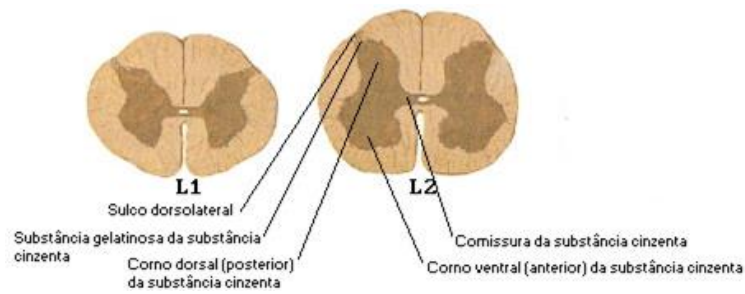


Figura 2.10: Corte da medula espinhal a nível da lombar.
(Adaptado de Netter, 2000)

2.2.6. Músculos

O sistema muscular desempenha um papel fundamental no suporte e estabilização da coluna vertebral.

Os músculos podem ser divididos em dois grupos: os músculos mais profundos e os mais superficiais. Os músculos mais profundos estendem-se de vértebra para vértebra, enquanto os músculos mais superficiais estendem-se das vértebras para as costelas (Ebraheim et al., 2004; Seeley et al., 2003).

Uma vez que a área de estudo é a lombar, apenas são referidos os músculos que têm origem ou terminação nesta região e que atuam apenas sobre esta. Os músculos mais profundos da coluna lombar são: massa comum (extensão da coluna), lombar (extensão, flexão lateral e rotação da coluna), longo dorsal do tórax (extensão da coluna), espinhais torácicos (extensão da coluna), interespinhosos (extensão do dorso), intertransversários (flexão lateral da coluna), complicado da espinha (extensão e rotação da coluna), psoas menor (flexão da coluna) e rotadores (extensão e rotação da coluna) (Jorge, 2014).

Na coluna lombar apenas atua um músculo superficial, o grande dorsal. Este músculo tem como função a adução, rotação interna e extensão do braço (Seeley et al., 2003).

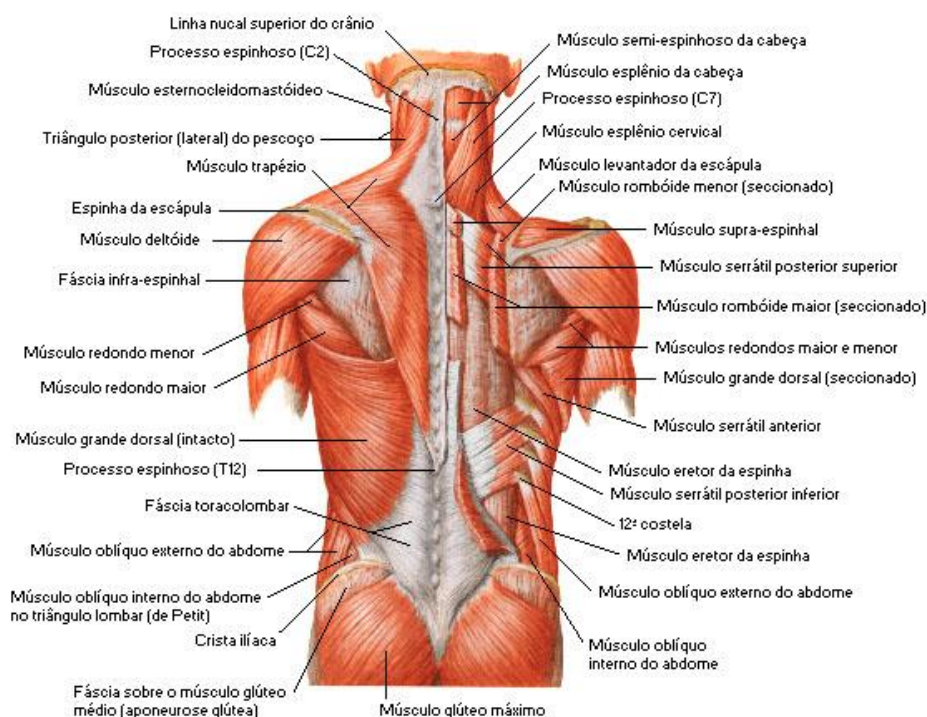


Figura 2.11: Músculos do tronco.
(Músculos do Tronco: Trapézio, Coluna e Dorso – Anatomia, s.d.)

2.3. Distorções posturais

Entre as alterações posturais lombares mais importantes, destacam-se a escoliose e a hiperlordose.

A escoliose é caracterizada por um desvio assimétrico lateral da coluna vertebral, acompanhado por uma rotação axial das vértebras, resultado da ação de um conjunto de forças que incidem sobre a coluna (Kendall, McCreary & Provance, 1995). Esta rotação é tal que os processos espinhosos das vértebras giram de acordo com o ao lado côncavo da curvatura lateral (van der Plaats, Veldhuizen & Verkerke, 2007). Mecanicamente, a escoliose é definida como uma torção da coluna lombar em torno do eixo vertical, podendo apresentar uma ou mais curvaturas à direita ou à esquerda e quando se manifestam curvas compensatórias, formam um “C” ou um “S invertido” (Verderi, 2003).

As causas da escoliose podem ser problemas neuromusculares na musculatura do tronco, mudanças na estrutura óssea, encurtamento de um membro, comprometimento da visão ou da audição, entre outras (Martins, 2009). Todavia, a escoliose está geralmente associada a incorretos hábitos posturais assimilados nas atividades diárias. A avaliação tardia desta patologia favorece a modificação estrutural na zona da curvatura, obrigando o doente a

adotar uma posição antifisiológica de compensação, originando assim curvas secundárias (Martins, 2009). Estas curvas exibem amplitudes menores, maior flexibilidade e são mais fáceis de serem reduzidas, contudo, possuem a mesma gravidade da curva primária (Martins, 2009).

Numa coluna escoliótica podem encontrar-se vários tipos de alterações, como saliência nas costelas, rotação vertebral, encurtamento vertebral e gibosidades (alteração no formato da superfície do tronco) (Gibosidade, 2009). A escoliose torácica de curvatura à direita, mais comum nas adolescentes, é a de pior prognóstico, com evolução muito rápida (Knoplich, 2003). A indicação para um programa de educação postural está associada ao grau da curvatura. Se a curva escoliótica se situar entre 0° e 20°, denominada de escoliose antálgica ou postural, o procedimento usual é realizar exercícios de alongamento visando a compensação da curva, mantendo contacto periódico com o ortopedista. Se a curva está entre 20° e 50°, denominada de escoliose verdadeira, o ortopedista deverá recomendar o colete de Milwaukee e os exercícios de correção deverão intervir nas curvaturas e manter o tónus muscular. Para curvas acima de 50°, denominada de escolioses graves, a cirurgia constitui o método mais adequado (Kendall et al., 1995).

Existem vários tipos de escoliose com diferentes causas: escoliose idiopática, escoliose congénita, escoliose neuromuscular e escoliose degenerativa.

A escoliose idiopática é a escoliose mais comum sem causas conhecidas. Esta é designada por infantil quando tem início em crianças menores de 3 anos de idade, juvenil a partir dos 3 anos de idade até aos 10 anos de idade e adolescente entre os 11 e os 18 anos de idade.

A escoliose congénita ocorre em crianças recém-nascidas e advém de malformações na coluna vertebral durante a gestação intrauterina, no entanto a sua causa é desconhecida, não existindo indícios de causas genéticas.

A escoliose neuromuscular resulta de distúrbios musculares do foco do sistema neurológico, onde se desenvolve uma coluna vertebral em forma de “C” (Scoliosis Research Society, 2017). O desenvolvimento da curva é mais severo e frequente, relativamente à escoliose idiopática (Reis, 2015). Ao contrário da maioria dos casos de escoliose idiopática, o uso de ortóteses não previne o desenvolvimento da curvatura da coluna vertebral. Dependendo da curvatura, existem pessoas que podem ficar sem andar. Este tipo de escoliose

causa problemas neurológicos, pulmonares, nutricionais, génito-urinários e gastrointestinais, o que requer uma vigilância multidisciplinar dos doentes (Reis, 2015).

A escoliose de adultos ou degenerativa provém normalmente de escolioses não diagnosticadas durante a infância, manifestando-se na idade adulta com maior vigor (Reis, 2015). Causas degenerativas podem estar na origem desta escoliose, tais como, artrite das articulações adjacentes, osteoporose, degeneração do disco intervertebral entre outras (Reis, 2015). A escoliose de adultos normalmente é acompanhada pela perda da lordose lombar, ficando a coluna mais direita vista de lado (Adolescent Idiopathic Scoliosis, s.d.). Os sintomas manifestados nesta, são: dor, rigidez, dormência e lombalgia, ao inverso do que sucede na escoliose idiopática do adolescente onde raramente se manifesta dor (Adolescent Idiopathic Scoliosis, s.d.) A escoliose de adultos leva à perda gradual da função (Scoliosis Research Society, 2017).

A hiperlordose consiste numa curvatura anormal com concavidade posterior, nas zonas cervical ou lombar da coluna vertebral (Kisner, 1998; Nieman, 1999; Oliver & Middleditch, 1998). A hiperlordose lombar é caracterizada por um aumento no ângulo lombo-sagrado provocada por uma acentuação da inclinação pélvica anterior e flexão do quadril (Hoppenfeld, 2002; Kapandji, 2000; Marques, 2000). Esta patologia na região lombar pode ser causada por posturas viciadas, má formação óssea, falta de exercício físico, mecanismo de compensação, desgaste do tecido osteoarticular, rigidez muscular, músculos extensores posteriores pouco desenvolvidos por ineficiência dos espinhais lombares, músculos abdominais pouco desenvolvidos ou anteversão da bacia (Muscolino & Cipriani, 2004).

2.4. Dor lombar

A lombalgia é documentada como sendo um importante problema de saúde pública.

A prevalência ao longo da vida da lombalgia é estimada em mais de 70% das pessoas, nos países industrializados (Guerreiro, 2016).

Nos Estados Unidos da América, a lombalgia é o segundo maior motivo de recurso aos cuidados de saúde, sendo a principal causa de incapacidade para o trabalho (Silva, 2005).

Em Portugal, os estudos de prevalência da lombalgia são escassos e realizados em meio hospitalar, sabendo-se muito pouco sobre os dados epidemiológicos desta patologia no nosso país (Ponte, 2005). Todavia, em 2005 foi apresentado um trabalho num Centro de Saúde

de Matosinhos, sendo um dos objetivos determinar a prevalência da lombalgia em utentes portugueses, com idades entre os 18 e 65 anos (Guerreiro, 2016). Os utentes foram inquiridos quanto à intensidade da lombalgia nos seis meses anteriores, concluindo-se que existe uma prevalência de lombalgia de 49%. (Guerreiro, 2016). Relativamente à idade, o estudo constatou predomínio na faixa etária entre os 49 e os 65 anos (Guerreiro, 2016).

Relativamente à classificação da lombalgia, esta pode ser classificada segundo o tipo de dor, como: aguda, subaguda e crónica. A dor lombar aguda é definida como dor ou desconforto localizado na região entre o rebordo costal inferior e as pregas nadegueiras, habitualmente após um esforço e que se agrava com a mobilização, com duração até 4 semanas (Casazza, 2012; Cardoso, Branco, Silva, Cruz & Costa, 2005; van Tulder et al., 2006).

Os indivíduos que continuam a ter lombalgia para além das 4 semanas têm dor lombar subaguda, com duração entre 4 e 12 semanas (Guerreiro, 2016). No caso de a dor persistir por mais tempo, a lombalgia passa a designar-se crónica (Guerreiro, 2016).

A dor lombar pode classificar-se em mecânica ou não mecânica, consoante o mecanismo etiopatogénico (Tabela 2.1) (Miguel, 2010). A dor lombar mecânica contribui para 97% dos casos, enquanto a não mecânica contribui apenas para 3% (Guerreiro, 2016).

A etiologia da lombalgia mecânica, ou comum, é conhecida em apenas 20% dos casos e geralmente resulta de uma hérnia discal com lesão de uma raiz nervosa (ciática) ou de uma fratura osteoporótica (Guerreiro, 2016). Os restantes 80% das lombalgias comuns integram nos estudos epidemiológicos de lesões degenerativas e músculo-ligamentares, isto é, não é possível identificar a verdadeira causa da dor (Matos, 2010).

A lombalgia não mecânica ou sistémica pode advir de patologias inflamatórias, infecciosas, neoplásicas ou metabólicas (Guerreiro, 2016).

Tabela 2.1: Classificação da lombalgia segundo mecanismo etiopatogénico. (Guerreiro, 2016).

Lombalgia mecânica (97%) (comum)	De causa específica – 20% • Síndrome do canal lombar estenótico – 15% • Traumatismos, escolioses e cifoses – 20% Sem causa específica (lesões degenerativas e musculoligamentares) – 80%
Lombalgia não mecânica (3%) (sistémica)	Patologia • Inflamatória • Infecciosa • Neoplásica • Metabólica

3. LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS RELACIONADAS COM O TRABALHO

3.1. Introdução

As LME podem afetar diferentes partes do corpo humano, tais como: o ombro, o pescoço, o cotovelo, a mão, o punho, o joelho e a coluna vertebral (Uva, Carnide, Serranheira, Miranda & Lopes, 2008). Estas são síndromes de dor crónica durante determinada atividade profissional e, por isso, se designam “relacionadas com o trabalho” (LMERT). As lesões músculo-esqueléticas dos membros superiores relacionadas com o trabalho (LMEMSRT) são as mais frequentes em determinadas condições como, por exemplo, as tarefas repetitivas, a aplicação de força ou um trabalho que requeira posições das articulações muito “severas” (Uva et al., 2008).

De acordo com o relatório IP/07/752, de 4 de junho de 2007, AESST, as LME são o problema de saúde relacionado com o trabalho, mais comum na Europa, afetando milhões de trabalhadores (Relatório IP/07/752, 2007).

Nalguns países da Europa os encargos com as LMEMSRT situam-se entre os 0,5% e os 2% do Produto Nacional Bruto, fazendo com que estas lesões devam ser encaradas como uma área prioritária na prevenção de riscos associados ao trabalho (Uva et al., 2008).

3.2. Conceito

Há diversos autores a caracterizar de forma diferente as LMERT. Segundo Ranney (2000), estas são estados patológicos do sistema músculo-esquelético, consequentes do efeito cumulativo do desequilíbrio entre as solicitações mecânicas repetidas do trabalho e as capacidades de adaptação da zona do corpo atingida (Ranney, 2000).

Buckle (2002), afirma que as LMERT são um conjunto de patologias do sistema músculo-esquelético adquiridas quando um indivíduo é sujeito a determinadas condições de trabalho.

Apesar da diversidade das patologias, os seus sintomas são geralmente os mesmos e podem encontrar-se associados ou individualizados (Relatório IP/07/752, 2007). Estes consistem em: dor (a maior parte das vezes localizada, mas que pode irradiar para áreas corporais), desconforto, fadiga e sensação de peso, rigidez, edema (inchaço), limitação articular, parestesia (por exemplo, frio, calor, formigueiro, etc.), sensação de diminuição de

força e alodinia (sensação dolorosa causada por uma estimulação que, em situação normal, não causaria dor).

3.3. Fatores de risco de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho no desenvolvimento de dor lombar

Um “fator de risco” designa de maneira geral, algo que pode provocar um efeito adverso no corpo humano (Uva et al., 2008). A identificação dos fatores de risco de LMERT e a compreensão da interação entre esses fatores não é fácil (Uva et al., 2008).

O que é determinante para o início da lesão é a existência de um desequilíbrio entre as solicitações do trabalho e as capacidades do trabalhador, quando não se respeitam os intervalos de recuperação do corpo (Figura 3.1):

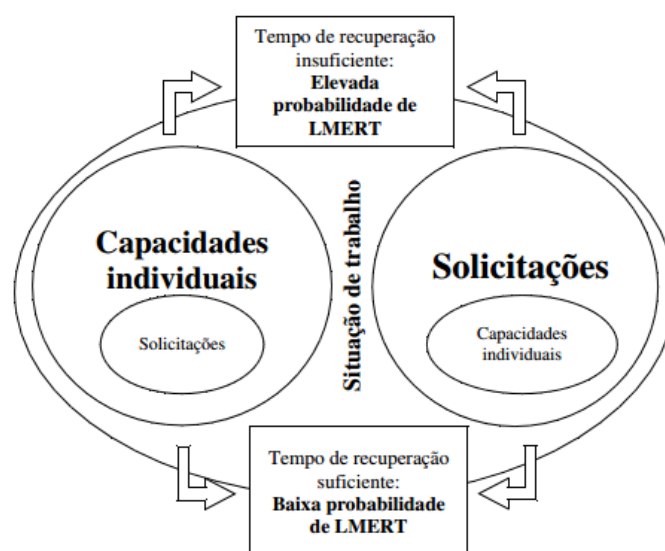


Figura 3.1: Solicitações no local de trabalho e capacidades funcionais.
(Uva et al., 2008)

Dentro dos fatores de risco inerentes ao trabalho, os seguintes (Tabela 3.1) são os que apresentam maior evidência epidemiológica da relação entre a presença do fator no local de trabalho e o desenvolvimento de lombalgia.

Tabela 3.1: Fatores de risco inerentes ao trabalho causadores de lombalgia. (Bernard, 1997).

Fator de Risco	Considerações
Trabalho pesado	Trabalho com elevado nível de gasto energético e que exige a aplicação de forças de elevada intensidade.
Levantamento	Consiste no movimento de transportar algo de um nível inferior para um nível superior. Movimento com aplicação de força para arrastar ou empurrar objetos.
Postura anormais	A postura é um fator de risco de LME quando ultrapassa, pelo menos, metade da amplitude de movimento da articulação envolvida na atividade e quando se verifica durante um período considerável do dia de trabalho.
Vibração	Energias mecânicas oscilantes, que são transferidas para o corpo como um todo, usualmente através de um sistema de suporte, como um assento ou uma plataforma.

Estes fatores de risco provocam alterações ao nível dos tecidos afetados, causando microtraumatismos tecidulares e processos de isquemia local (fluxo de sangue e oxigénio inadequado a uma parte específica do organismo). Estas alterações provocam processos inflamatórios e o aparecimento de quadros dolorosos, criando um elevado impacto ao nível da saúde, do rendimento e da produtividade.

Após uma revisão de vários estudos epidemiológicos, Bernard (1997) verificou a existência de uma relação entre as perturbações músculo-esqueléticas e alguns dos fatores físicos do local de trabalho. Tal sucedia, quando a exposição era intensa, prolongada e, especialmente, quando os trabalhadores eram expostos simultaneamente a vários fatores de risco (Bernard, 1997).

Como já foi referido, a lombalgia é uma patologia de etiologia multifatorial, podendo a sua origem estar relacionada com fatores inerentes ao trabalho ou fatores não relacionados com o trabalho. Neste segundo grupo destaca-se a idade do indivíduo, o género, o nível de atividade física, a presença de obesidade e a presença de elevados níveis de stress (Bernard, 1997; Malchaire et al., 2001; Ranney, 2000; Serranheira, Pereira, Santos & Cabrita, 2003).

Todavia, alguns distúrbios músculo-esqueléticos ligados ao trabalho, além da lombalgia, parecem atingir mais as mulheres. Isto é devido ao tipo de trabalho e às condições em que o executam, que as coloca em situação de maior risco e não devido ao facto de serem mulheres (Karqvist, 2001; Malchaire et al., 2001; Serranheira et al., 2003).

3.4. Incidência e prevalência de dor lombar associada ao trabalho

As perturbações músculo-esqueléticas já são, há muito tempo, uma causa significativa de sofrimento em muitos países industrializados. De facto, as LMERT são as lesões mais detetadas na Europa, no contexto dos problemas de saúde relacionados com o trabalho, constituindo mais de metade do total das lesões referidas (Dupré, 2001).

O inquérito europeu sobre as condições de trabalho revelou que, cerca de 30% dos trabalhadores europeus sofrem de dores lombares e que esta queixa se encontra no topo dos problemas de saúde, relacionados com o trabalho (European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, 1997). Ainda, num relatório elaborado pela Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho (2000), foi relatado um aumento de lesões lombares (Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho, 2000).

O sexo e a idade são fatores no desenvolvimento de queixas ao nível lombar, assim como os fatores psicológicos (Biering-Sorensen, Thomsen & Hilden, 1989; Marras, 2000). Os fatores etiológicos da lombalgia são vários, sendo esta frequentemente associada a traumas cumulativos que se desenvolvem em indivíduos cuja rotina se estende por todo o dia, sem pausas e sem conhecimento de correção postural (Silva, Fassa & Kriebel, 2006).

A estes fatores ainda está associado o facto de não serem utilizados métodos preventivos, como a rotação de postos de trabalho ou adaptações ergonómicas (Silva et al., 2006). Outra estratégia interessante, mas pouco usada pelos trabalhadores de forma a minimizar as limitações funcionais e sintomatologia relacionada com a lombalgia, é a utilização de equipamentos de proteção individual, nomeadamente as cintas lombares.

Ainda a agravar, muitos trabalhadores continuam a exercer as suas atividades, mesmo apresentando dor lombar. Vários estudos demonstraram que a lombalgia varia segundo o tipo de indústria e ocupação (Bigos et al., 1986).

De acordo com Goumoens e Fritsch (2006), a incidência de lombalgias ocupacionais causadas por sobrecarga na coluna lombar tem vindo a aumentar, provocando uma série de problemas físicos e financeiros, diminuição da produtividade e consequentemente diminuição dos lucros empresariais.

3.5. Estratégias de prevenção no trabalho

Existem diversos modelos de prevenção de LMERT, destacando-se a atividade física laboral, a rotação de postos de trabalho, o acompanhamento da saúde dos trabalhadores e a formação/sensibilização dos trabalhadores.

Define-se atividade física laboral como um conjunto de exercícios específicos de alongamento, fortalecimento muscular, coordenação motora e relaxamento, realizados em diferentes setores ou departamentos da empresa, tendo como objetivo principal prevenir e diminuir os casos de LMERT (Oliveira, 2007).

A atividade física laboral atua inicialmente na prevenção da patologia, mas após a instalação da lesão, esta poderá funcionar como estratégia de tratamento e na prevenção de reincidências, intervindo diretamente no sistema músculo-esquelético, fortalecendo-o ou compensando-o pelos movimentos que ocorrem durante o trabalho. Contribuindo para a prevenção e redução das LMERT, esta tipologia de exercício visa a promoção da saúde e a melhoria das condições de trabalho, além de estimular o relacionamento interpessoal, reduzir os acidentes de trabalho e, assim aumentar a produtividade, promovendo um maior retorno financeiro para a empresa. A atividade física laboral, para além de contribuir para a redução do absentismo, surge como um incentivo à mudança para estilos de vida mais saudáveis e contribui para o bem-estar mental, reduzindo o *stress* e a ansiedade (Oliveira, 2007; Silva & Salate, 2007).

A rotação de postos de trabalho passa pela reorganização da rotina de trabalho e é cada vez mais comum no setor empresarial, variando o tipo de tarefa desempenhado. Desta forma, consegue-se uma diminuição da monotonia, redução do absentismo, aumento da qualidade do produto fabricado, diminuição do stresse no trabalho e aumento, a longo prazo, da produtividade. Permite ainda diminuir a fadiga muscular e o aparecimento de LMERT (van Amelsvoort, Jansen, Swaen & Kant, 2004).

A vigilância da saúde pode ser explicada como o processo sistemático de obtenção, análise e interpretação de dados, que permitem a caracterização do estado de saúde individual ou de um grupo de indivíduos. Depois de identificado o estado de saúde do trabalhador, é possível estabelecer uma relação com a sua exposição a fatores de risco profissionais, permitindo programar a prevenção dos efeitos adversos do trabalho sobre o organismo humano exposto ou, pelo menos diminuir esse risco.

A falta de educação para a prevenção de riscos profissionais constitui uma das principais causas para a sinistralidade laboral. A integração de conteúdos sobre segurança, higiene e saúde no trabalho, nos programas de formação profissional, permite aos trabalhadores a aquisição de conhecimentos e hábitos de segurança para o desempenho adequado da profissão.

Apesar da efetividade destas tipologias de intervenção, todas elas apresentam limitações, passando pela necessidade de tempo de serviço dedicado à implementação das estratégias (período utilizado para a realização de atividade física laboral), a perda de qualidade inerente à especialização diminuída devido à rotatividade (embora a longo prazo tal ser colmatado), a possível baixa motivação dos funcionários a participarem nas ações, entre outras. Surge, assim, a necessidade de se encontrarem outros métodos de prevenção de LMERT que possam ser utilizados durante o ciclo de trabalho.

4. ORTÓTESES LOMBARES / CINTAS

Neste capítulo é feita uma abordagem às ortóteses em geral, e em mais pormenor, às ortóteses lombares. Primeiramente é realizada uma análise quanto ao estado da arte e posteriormente, é feita uma referência quanto às definições, funções, vantagens e desvantagens, bem como à classificação usada para os vários tipos de ortóteses. Finalmente, apresentam-se exemplos de estudos acerca da influência do seu uso em diversas patologias.

4.1. Estado da arte

As ortóteses surgiram há milhares de anos, no Antigo Egito, no tratamento de fraturas com aplicações à base de folhas, cascas de árvores, cana e bambu (Silva, 2014). Com o passar do tempo e conforme as necessidades de utilização, como por exemplo em guerras para proteção dos combatentes ou encobrimento de deformações, as ortóteses foram sendo melhoradas quanto técnicas de fabrico, funcionalidade e materiais: madeira, couro, tecido, metal, alumínio e nos últimos 60 anos, materiais termoplásticos e termoendurecíveis, plásticos espumados e polímeros viscoelásticos (Healy, Dunning & Chockalingam, 2010; Matos, 2009; Silva, 2014).

Atualmente, há uma preocupação em aliar o conforto e a estética à funcionalidade da ortótese, com a possibilidade do recurso a vários tipos de materiais (Silva, 2014).

4.2. Definição

A palavra ortótese tem origem na palavra grega *orthósis*, sendo a junção da palavra *orthós* com o sufixo *-sis*. *Orthós* refere-se a reto ou direito, enquanto o sufixo *-sis* significa ação, estado ou qualidade. Deste modo, *orthósis* refere-se à ação de endireitar, retificar (Silva, 2014).

Segundo a Organização Internacional para a Normalização (ISO – International Organization for Standardization) (ISO 8549-1:1989), uma ortótese é “um dispositivo externo usado para modificar as características estruturais e funcionais dos sistemas esquelético e neuromuscular” (Hsu, Michael & John, 2008). A mesma organização define também ortótese como sendo “um dispositivo aplicado externamente a uma zona/parte do corpo e que melhora a sua função” (Hsu et al., 2008).

4.3. Função

De acordo com a informação fornecida pela ISO, o principal objetivo do uso de uma ortótese é “suportar e estabilizar segmentos ou articulações que se encontram frágeis ou paralisados; limitar ou aumentar o movimento através das articulações; controlar movimentos anormais e suavizar ou aliviar da carga os segmentos distais” (Hsu et al., 2008).

Atualmente, existem várias ortóteses para o tronco, com diferentes características e objetivos terapêuticos: estabilização, limitação de movimentos, diminuição da carga axial, correção de deformidades e aumento da temperatura local com efeito analgésico (Branco, 2008).

As faixas lombares podem ser utilizadas no tratamento de lombalgias e lombociatalgias (estreitamento do canal vertebral na região lombar), e também com fim preventivo em desportos e atividades que impliquem elevada carga lombar, entre outros usos.

Relativamente às lombalgias, a ortótese é recomendada a pacientes com curvas da coluna lombar entre os 25 e 40°, durante a sua fase de crescimento (Reis, 2015). A utilização da ortótese evita o aumento da curvatura corrigindo-a, e evita a progressão da curva ao longo do tempo (Adolescent Idiopathic Scoliosis, s.d.).

A utilização de ortóteses com fim analgésico deve ser relativamente rápida, limitando-se ao período de maior intensidade das queixas, enquanto numa situação pós-traumática deve ser suficientemente prolongada de forma a possibilitar a reparação óssea e ligamentar (Branco, 2008).

4.4. Tipos de ortóteses lombares

As ortóteses podem ser agrupadas em ortóteses para o tronco, para o membro superior e para o membro inferior, podendo ser classificadas segundo a área ou áreas anatómicas envolvidas. Assim, para o tronco podem utilizar-se as seguintes ortóteses: cervical, cervico-torácica, cervico-toraco-lombo-sagrada, toraco-lombo-sagrada, lombo-sagrada e sacroilíaca (Branco, 2008).

A designação das ortóteses da região lombar deve-se às regiões anatómicas abrangidas em cada caso e podem classificar-se como ortóteses de contenção ou de imobilização (Branco, 2008).

As ortóteses de contenção atuam por compressão abdominal, diminuindo assim a carga exercida sobre as vértebras e discos IV (Branco, 2008). São compostas por materiais elásticos (neopreno, por exemplo) e compreendem as faixas de contenção lombar e as faixas de contenção dorso-lombar.

As faixas de contenção lombar incluem a faixa de contenção elástica lombo-sagrada [Figura 4.1 a)], a faixa lombo-sagrada com placa posterior rígida e a faixa lombo-sagrada semirrígida (Branco, 2008).

As ortóteses de imobilização lombo-sagrada são prescritas para: espondilartrose lombar, espondilite infecciosa, espondilolistese, alguns tipos de fraturas vertebrais, entre outros (Branco, 2008).

Ainda a nível da lombar, existem também a ortótese e as bandas sacroilíacas [Figura 4.1 b)], que começam na crista ilíaca do osso pélvico e na sínfise púbica (articulação no centro da bacia) e terminam na prega glútea, estabilizando a articulação sacroilíaca (Branco, 2008).

Também são de referir as faixas dorso-lombares, dispositivos que incluem a faixa de contenção semirrígida [Figura 4.1 c)] e a faixa reforçada de contenção, estendendo-se desde a região dorsal até à região glútea. Estas faixas são geralmente utilizadas nas dorsalgias de origem muscular e nos processos reumáticos espondilartrósicos (Branco, 2008).

As ortóteses de imobilização dorso-lombar são utilizadas no tratamento de espondilartroses das regiões dorsal e dorso-lombar, de escolioses dolorosas do adulto, e alguns tipos de fraturas vertebrais dorsais (Branco, 2008).

As ortóteses cervico-toraco-lombo-sagradas permitem maior imobilização (Branco, 2008).

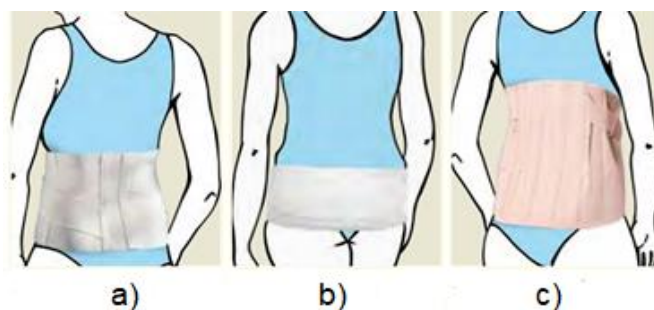


Figura 4.1: a) Faixa de contenção elástica lombo-sagrada; b) Banda sacroilíaca; c) Faixa de contenção semirrígida dorso-lombar.
(Branco, 2008)

4.5. Influência do uso de ortóteses para prevenir a dor lombar ocupacional

Pacientes com fraturas toracolombares foram avaliados, retrospectivamente, sob tratamento conservador com deambulação precoce, divididos em dois grupos: com ou sem ortóteses lombares (Ohana, Sheinis, Rath, Sasson & Atar, s.d.). Os grupos eram idênticos quanto ao tipo de lesão e características demográficas. Foi concluído que, neste tipo de fraturas com mecanismo de compressão menor do que 30% do corpo vertebral, o uso de ortóteses toraco-lombo-sagradas não influenciou o resultado do tratamento conservador (Ohana et al., s.d.).

Cholewicki, Alvi, Silfies e Bartolomei (2003), compararam três ortóteses toraco-lombo-sagradas (“Aspen TLSO”, “Boston Body Jacket” e “CAMP TLSO”) quanto à restrição dos movimentos torácicos e lombar e não foi detectada diferença significativa relativamente à eficácia da restrição desses movimentos. Porém, a ortótese de *Aspen* foi considerada a mais confortável (Cholewicki et al., 2003).

Van Leeuwen, Bos, Derksen e de Vries (2000), avaliaram duas ortóteses toraco-lombo-sagradas (“Jewet” e “Voigt-Bahler”) quanto à restrição dos movimentos desde a 10ª vértebra torácica (T10) à 4ª vértebra lombar (L4). Concluíram que ambas foram eficientes quanto à redução dos movimentos da área abrangida pela ortótese (van Leeuwen et al., 2000). Contudo, não referiram se a restrição do movimento causada pelas ortóteses era clinicamente significativa (van Leeuwen et al., 2000).

Relativamente às ortóteses lombo-sagradas, verificou-se que são menos eficientes do que as ortóteses toraco-lombo-sagradas no restringimento do movimento da coluna vertebral (Lantz & Schultz, 1986).

Resnick et al. (2005), verificaram que não há certezas para o uso preventivo de ortóteses lombares para a diminuição da incidência de dor lombar. Todavia, as ortóteses podem ser benéficas no tratamento de lombalgias agudas sendo as ortóteses rígidas mais eficazes do que as macias (Resnick et al., 2005).

Numa revisão sistemática de estudos referentes ao uso de ortóteses lombares no tratamento de lombalgias, Jellema, van Tulder, van Poppel, Nachemson e Bouter (2001) apresentaram as seguintes conclusões: estas ortóteses não são eficazes na prevenção primária da dor lombar, não há evidências para recomendar o uso das ortóteses como prevenção secundária da lombalgia (dores lombares recorrentes) e existem provas moderadas que o uso

das ortóteses é mais eficiente no tratamento da dor lombar do que se não forem utilizadas. (Jellema et al., 2001).

Krag, Fox e Haugh (2003), compararam três ortóteses lombares diferentes: “Boston”, “Aspen” e “Cybertech”. Ao contrário da “Cybertech”, as ortóteses “Aspen” e “Boston” foram eficazes na restrição do movimento lombar total, da flexão lombar, da flexão do tronco e do movimento total do tronco (Krag et al., 2003).

A eficácia das ortóteses lombares na imobilização da coluna lombo-sagrada parece estar mais relacionada ao desconforto por elas provocado, do que à sua capacidade de restringir o movimento da coluna (Sypert, 1987).

O uso de uma ortótese de tronco pode implicar diversos efeitos indesejáveis, físicos e psicológicos, potencialmente resultantes de uma má adesão ao tratamento. Esses efeitos podem ser: dor, lesões cutâneas, aumento do consumo energético da marcha, compressão nervosa, diminuição da taxa de filtração glomerular (ultrafiltração do plasma sanguíneo dos capilares glomerulares até ao interior da cápsula de Bowman), atrofia muscular, diminuição da capacidade pulmonar, aumento da mobilidade em segmentos da coluna vertebral próximos do limite da ortótese, esofagite de refluxo (inflamação do esófago, causada pelo refluxo gástrico), osteopenia (perda precoce de densidade óssea), entre outros (Branco, 2008; Prates et al., 2007; Sociedade Portuguesa de Gastreenterologia, 2015).

De acordo com o Centro Canadense de Saúde e Segurança no Trabalho (2003), três de cinco ensaios clínicos aleatórios (ECAs), não demonstraram resultados positivos com o uso da cinta lombar (Alexander, Woolley, Bisesi & Schaub, 1995; Canadian Task Force on Preventive Health Care, 2003; Reddell, Congleton, Huchingson & Montgomery, 1992; van Poppel, van der Ploeg, Smid & Bouter, 1998). O quarto ECA mostrou diminuição do tempo perdido por trabalhadores que utilizaram cinta lombar, mas possivelmente já possuíam histórico de dor lombar (Walsh & Schwartz, 1990). O último ECA encontrou uma taxa marginalmente menor de lesões nas costas entre os funcionários designados com uma cinta lombar (Kraus, Schaffer, Rice, Maroon & Harper, 2002).

Indivíduos com uma história anterior de lombalgia podem experimentar algum benefício do uso de uma ortótese lombar (Canadian Task Force on Preventive Health Care, 2003). No entanto, antes da prescrição da ortótese, os pacientes devem ser avaliados quanto ao risco cardiovascular e receber treino para levantamento de objetos e outros (McGill, 1999).

Os estudos revistos usaram diversos estilos de ortóteses lombares (Canadian Task Force on Preventive Health Care, 2003). Como nenhum estilo produziu resultados mais benéficos, é improvável que as diferenças de *design* sejam um fator relevante.

O Centro Canadense de Saúde e Segurança no Trabalho e o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos não apoiam o uso de cinta lombar como medida preventiva (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 1995; Canadian Task Force on Preventive Health Care, 2003; Woodhouse, McCoy, Redondo & Shall, 1995). Em contrapartida, a regulamentação ergonômica da Administração de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos classificou as ortóteses lombares como EPI e sugeriu que podem prevenir lesões nas costas em determinados ambientes industriais (Canadian Task Force on Preventive Health Care, 2003).

Por fim, pode concluir-se que ainda faltam trabalhos com bons níveis de evidência para avaliar a eficácia das ortóteses lombares.

5. TÊXTEIS INTELIGENTES

Neste capítulo é feita uma abordagem geral aos têxteis inteligentes e em maior pormenor, aos têxteis de mudança de fase. Primeiramente é feita uma introdução sobre estes materiais e posteriormente, é feita uma referência quanto às definições, características, tipos de têxteis inteligentes e áreas de aplicação. Por último, apresentam-se os têxteis inteligentes utilizados neste estudo.

5.1. Introdução

Através da História, a tecnologia está sempre relacionada com o desenvolvimento de materiais diferentes, que marcaram as eras definidas por alguma invenção ou utilização de materiais: a pedra e o metal, por exemplo. Recentemente, os materiais inteligentes podem ser identificados como o estímulo de uma nova era. Basicamente, os materiais inteligentes possuem um acoplamento entre grandezas mecânicas e não mecânicas, que confere ao material um tipo especial de comportamento. Neste sentido, é possível imaginar inúmeras aplicações devido à junção de campos que, geralmente, não estão ligados (Savi & Oliveira, 2013).

A utilização dos materiais inteligentes na área tecnológica tenta explorar a ideia de construir sistemas e estruturas com comportamento adaptativo que tenham a capacidade de melhorar propriedades e serem reparados quando necessário.

Tradicionalmente a utilização de têxteis é associada ao vestuário e têxteis para o lar. O aumento da qualidade de vida da população leva à procura, inovação e maximização das potencialidades dos diferentes materiais, atribuindo-lhes novas particularidades que complementam as suas características comuns (Ferreira, Ferreira & Oliveira, 2014).

Esta procura de novas soluções tem acrescentado valor aos substratos têxteis tradicionais, garantindo-lhes novas funcionalidades, quer seja pelo uso de novas fibras, pelo desenvolvimento de novas estruturas, pela aplicação de novos acabamentos ou pela inclusão de sistemas eletrónicos (Post & Orth, 1997).

A aposta na inovação de produtos ocorrida na indústria têxtil tradicional, permitiu a consolidação de uma área emergente de estudo: a dos têxteis inteligentes. Este tipo de têxtil introduz um sentido de mudança, através da incorporação em novos produtos. Desta forma, os

tecidos passam a ter um comportamento ativo ao invés de possuírem uma funcionalidade passiva (Berglin, Ellwanger, Hallnäs, Worbin & Zetterblom, 2005).

Este capítulo apresenta uma revisão sobre têxteis inteligentes. A ideia é fornecer uma revisão abrangente, discutindo aplicações relatadas na literatura.

5.2. Definição

O termo “têxteis inteligentes” deriva do conceito de “materiais inteligentes”. Este termo surgiu no ano de 1989, no Japão e o primeiro material processado como têxtil inteligente foi a seda ligada a um *Shape Memory Alloy* (liga metálica com memória de forma) (Otsuka & Wayman, 1999). Esse material respondia a estímulos térmicos (Mustafa, Mehmet & Banu, 2015).

Cronologicamente falando, as descobertas de materiais com memória de forma datam da década de 60 e a de géis poliméricos dos anos 70, correspondendo ao nascimento dos verdadeiros materiais inteligentes. Este novo tipo de produtos torna-se uma possibilidade para aplicações de maior exigência, muitas vezes de natureza técnica (Post & Orth, 1997).

Por definição, um material inteligente pode alterar as suas propriedades mecânicas (forma, dureza, viscosidade) ou propriedades térmicas, óticas ou eletromagnéticas, de maneira previsível e controlada, para gerar uma resposta ao ambiente ou estímulos em seu redor. Esses estímulos podem ter origem numa deformação mecânica, variação temperatura, vapor, pH, estímulo elétrico magnético (Wen, 1992).

Neste conceito, estão incluídos materiais que detetam e atuam como: materiais piezoelétricos, elétricos, magnéticos ou com memória de forma, entre outros (Mondal, 2008).

Nenhum material pode ser inteligente sozinho, carecendo de um sistema. Para um material inteligente operar, são indispensáveis dois elementos: um sensor e um atuador. Sendo possível ser complementado por uma unidade de processamento que estabelece a ligação entre o atuador e o sensor (Post & Orth, 1997).

5.3. Têxteis como materiais inteligentes

Os têxteis apresentam muitas vantagens, visíveis pela elevada versatilidade das roupas, tanto nos processos de produção como nos produtos finais (Ferreira et al., 2014).

As fibras, ou filamentos, são uma parte vital do processo de construção de têxteis: podendo ser organizadas de várias formas (fios ou estruturas têxteis) e que dão origem a produtos bidimensionais ou tridimensionais (Tao, 2001). Ainda assim, depois das estruturas têxteis fabricadas, é possível implementar características complementares através de processos de acabamento, como por exemplo hidrofília ou hidrofobia, antimicrobianos ou permeabilidade seletiva, entre outras (van Langenhove et al., 2003).

A aplicação de têxteis inteligentes permite juntar têxteis com características usuais a multifuncionalidades avançadas (Tao, 2005).

A incorporação da característica “inteligente” no têxtil pode ser realizada a vários níveis, nomeadamente a nível da fibra, a nível do revestimento ou adaptada a uma unidade independente (Tao, 2001).

O têxtil inteligente terá tendência a evoluir para que todo o sistema seja composto por materiais têxteis, ou seja: os sensores, os atuadores e os restantes materiais sejam materiais têxteis (De Rossi, 1999). A maior dificuldade será conseguir obter um produto final maleável, flexível, lavável (resistente à água), com boa resistência mecânica e condutividade elétrica (Ferreira et al., 2014).

5.4. Características de um têxtil inteligente

Os têxteis inteligentes estão inseridos nos materiais inteligentes, pois sentem e reagem às condições ou estímulos do meio ambiente (Colchester, 2007; Tao, 2001; Schwartz, 2002; van Langenhove & Hertleer, 2004). Tal como sucede com os materiais inteligentes, as respostas diretas a estes estímulos, incluem: mudanças na forma, cor, geometria, volume e outras propriedades físicas visíveis. Quanto às respostas indiretas, estas podem incluir mudanças a nível molecular, elétrico ou magnético que não são necessariamente visíveis pelo olho humano, mas que lhes proporciona a capacidade de desencadear reações ou funções programadas (Tang & Stylios, 2006).

Todavia, há restrições: têxteis avançados como os respiráveis e resistentes ao fogo, não são considerados têxteis inteligentes (van Langenhove & Hertleer, 2004).

A divisão dos têxteis inteligentes pode ser realizada em vários grupos: têxteis inteligentes passivos, têxteis inteligentes ativos e têxteis adaptativos ou ultra inteligentes.

Têxteis inteligentes passivos - apresentam o nível de complexidade mais baixo, funcionando apenas como sensores (Tao, 2001). Estes possuem características adicionais de um modo passivo, ou seja, independentemente das mudanças ambientais (Kandi, Tehran & Rahmati, 2007). Por exemplo, um casaco altamente isolante permaneceria isolante no mesmo grau, apesar da temperatura externa (Syduzzaman, Patwary, Farhana & Ahmed, 2015).

Têxteis inteligentes ativos - sentem os estímulos ou condições ambientais, pois além de sensores têm a função de atuadores, produzindo uma reação ao estímulo (Tao, 2001).

Os têxteis inteligentes ativos englobam: os têxteis com memória de forma, crômicos, com armazenamento de calor, resistentes à água (hidrofóbicos), entre outros.

Os têxteis adaptativos ou ultra inteligentes - são o grupo mais complexo, pois possuem a capacidade de sentir estímulos e reagir-lhes, adaptando o seu comportamento às circunstâncias, trabalhando como cérebro, cognição, raciocínio e ativação de capacidades (Tao, 2001). Alguns exemplos desses têxteis são: fatos espaciais, casacos musicais e e-têxteis (eletrônica + têxteis).

Os têxteis inteligentes devem possuir características como usabilidade, funcionalidade, durabilidade, segurança e conforto (Cho, 2009). Na Figura 5.1 é apresentada a origem das diferentes características e a associação destas à respetiva área.

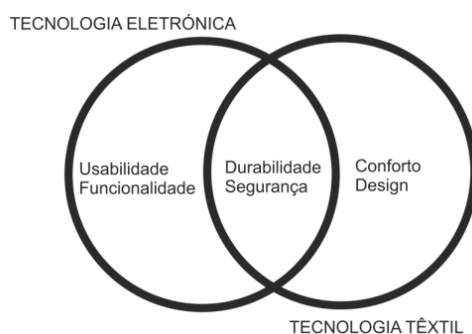


Figura 5.1: Caracterização dos têxteis inteligentes.
(Adaptado de Cho, 2009)

5.4.1. Usabilidade

A usabilidade é um fator importante para uma implementação eficaz dos materiais têxteis e para uma rápida e fácil disseminação entre os consumidores finais. Este fato, que não é mais do que a simplificação do uso com a necessária satisfação das necessidades do utilizador, está associado com a capacidade de aprendizagem, eficácia, memorização, baixa

taxa de erro e satisfação (Nielsen, 1994). A usabilidade depende assim de vários fatores: simplicidade de aprendizagem para o utilizador, eficiência levando a que o utilizador tenha alta produtividade, facilidade de memorização do sistema, o uso do sistema deve ser agradável ao utilizador e o sistema deve ser pouco suscetível a erros para que, no caso de estes acontecerem, os utilizadores tenham facilidade em corrigi-los.

As variações do conceito de usabilidade têm sido várias vezes abordadas quando associadas aos têxteis inteligentes. Gorlenko e Merrick (2003) incrementaram a importância da variável “utilizador”, até então menorizado no ato de conceção. Neste contexto, o utilizador passa a fazer parte do processo de construção e *design*.

O objetivo desta etapa da prototipagem é reduzir a produção de protótipos funcionais caros e com elevada carga de trabalho. Existe já alguma normalização neste campo, ainda muito específica e não tão abrangente quanto necessária, nomeadamente a norma ISO 9241-11 (ISO 1988) (Cho, 2009). Esta norma diz que a usabilidade deve basear-se em conceitos de objetivos, eficiência e satisfação, contudo nos tecidos inteligentes a usabilidade pode, ou deve ser, função de requisitos cognitivos (Cho, 2009).

5.4.2. Funcionalidade

A funcionalidade de um têxtil inteligente é também um aspeto importante. São várias as funções que se podem encontrar num têxtil inteligente: sensibilidade, processamento de dados, atuação, armazenamento e comunicação (van Langenhove & Hertleer, 2004).

Devido à sensorização, o material captura um estímulo que teve origem no meio ambiente envolvente. Assim, o substrato têxtil, fibra ou fio, possui a capacidade de recolher e transmitir a informação detetada (Ferreira et al., 2014).

O processamento de dados é uma função facultativa e apenas requerida se o material for ativo, sendo necessário a integração de componentes eletrónicos. Esta função ainda não é possível apenas com materiais têxteis. No entanto, a miniaturização de componentes eletrónicos é uma grande aliada para a sua integração, sendo a resistência à água dos componentes o grande obstáculo a ultrapassar (Ferreira et al., 2014).

Relativamente à atuação, a principal função de um atuador é responder ao impulso captado pelo sensor. Um atuador realiza uma função, provoca uma resposta, move elementos, liberta substâncias, produz um impulso sonoro, etc. (Ferreira et al., 2014).

O armazenamento de energia é uma função que pode ser essencial para as funções anteriores, se realizadas com energia elétrica. A investigação tem aumentado neste campo, existindo já soluções que produzem energia a partir do calor corporal, pela ação mecânica das roupas ou ainda por radiações solares (Ferreira et al., 2014).

A comunicação entre as várias funções de um têxtil inteligente pode ocorrer a vários níveis, nomeadamente entre o utilizador e o produto têxtil e também no sentido inverso (Ferreira et al., 2014).

5.4.3. Durabilidade

A durabilidade deve ser classificada em função das condições de uso, das condições de lavagem e da utilização diária.

A criação de têxteis inteligentes, em especial e-têxteis, inclui o uso de componentes eletrónicos. Para uma maior durabilidade, estes componentes deverão ser protegidos, visto não serem resistentes à água e nem à humidade. Outra solução possível será o desmembramento da parte eletrónica quando sujeita a humidade.

Nos dias de hoje, os tecidos condutores já se encontram recobertos com poliuretano, em diversos materiais têxteis, podendo ser lavados sem perder qualquer propriedade (Cho, Jang & Cho, 2007).

5.4.4. Segurança

A produção em massa de têxteis inteligentes deverá ser antecedida por diversos estudos focados na segurança. Todavia, será estabelecido um padrão, de forma a normalizar este índice em prol dos fabricantes e dos consumidores.

5.4.5. Conforto

Existe uma divisão natural de conforto em vários parâmetros: termofisiológico, sensorial ou neurofisiológico e movimento corporal (Hatch, 2000).

O conforto termofisiológico é resultante das transferências de calor, humidade e ar (Hatch, 2000). Por outro lado, o conforto sensorial ou neurofisiológico refere-se ao contacto direto entre a pele e o têxtil (Hatch, 2000).

Por último, o conforto no movimento corporal encontra-se relacionado com o grau com que uma peça de vestuário limita os movimentos naturais do corpo humano (Hatch, 2000).

5.5. Tipos de têxteis inteligentes

Todas as tecnologias descritas a seguir apresentam um ótimo potencial comercial. Tal como outras, necessitam de atingir um estágio de evolução que apenas será possível com uma abordagem multidisciplinar, sendo necessária a sua maturação para uma integração efetiva. A Tabela 5.1 mostra a relação entre o efeito físico e o princípio teórico do dispositivo sensorial aplicado (Ferreira et al., 2014).

Tabela 5.1: Tecnologias inteligentes, relacionando o estímulo com a resposta. (Ferreira et al., 2014).

		Resposta				
		Elétrica	Magnética	Ótica	Térmica	Mecânica
Estímulo	Elétrico			Eletrocromicos/ Eletro-luminescente Eletro-ótico	Termoeletrico	Piezoelétrico Fluido dielétrico Eletro reológico
	Magnético			Magneto-ótico		Fluido magneto reológico Magnetostritivo
	Ótico	Fotocondutor		Fotocromico		
	Térmico			Termocromico Termoluminescente	PCM	Memória de forma
	Mecânico	Piezoelétrico/ Eletro-resistivos	Magnetorestitivo	Mecanico-cromico		Auxéticos

5.5.1. Têxteis de mudança de fase

Os *Phase Change Materials* (PCMs) são materiais capazes de mudar o seu estado físico num determinado intervalo de temperatura, absorvendo energia durante o processo de aquecimento e libertando-a durante o arrefecimento. Um efeito de conforto térmico pode ser alcançado com este tipo de material aplicado em materiais têxteis (Sánchez, Sánchez-Fernandez, Romero, Rodríguez & Sánchez-Silva, 2010).

Os PCMs, na indústria têxtil costumam ser parafinas, mantendo assim uma temperatura quase constante, durante uma alteração abrupta das condições ambientais (aquecimento ou arrefecimento). E como existem PCMs, cujas temperaturas de fusão são próximas da temperatura normal do corpo humano (37° C), são muito úteis quando integrados em roupa, por exemplo, numa camisola.

A tecnologia para a incorporação de PCMs em estruturas têxteis foi desenvolvida a partir de um programa espacial da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no início da década de 80. O programa procurava aplicar este material em tecidos para fatos de astronautas, com o objetivo de melhorar a sua proteção térmica contra as temperaturas extremas do espaço (Nelson, 2002).

As aplicações têxteis desenvolvidas com PCMs são normalmente aliadas às microcápsulas, que possuem diâmetros de poucos micrómetros e são aplicadas como revestimentos de uma estrutura têxtil, como se verifica na Figura 5.2.

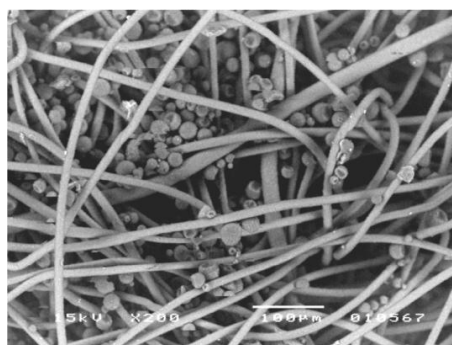


Figura 5.2: Imagem ilustrativa de PCMs em filamento.
(Sánchez et al., 2010)

Os PCMs podem fazer parte de alguns materiais, atribuindo-lhes algumas propriedades. Os materiais fibrosos que possuem estas microcápsulas podem conseguir os seguintes efeitos: efeito de arrefecimento (causado pela absorção de calor do PCM), efeito térmico (provocado pela emissão de calor do PCM) e efeito de termorregulação (resultante da absorção de calor ou da emissão de calor do PCM) (Fibras Funcionais, 2018). Ainda existe outro tipo de fibras que ajudam no controlo de temperatura, as fibras ocas. Este tipo de fibras permite um melhor isolamento térmico devido ao ar que existe no espaço “oco” (Fibras Funcionais, 2018). Como é de conhecimento geral, o ar é um mau condutor do calor, permitindo criar um ambiente que mantém o calor do corpo.

A nível industrial, as membranas compostas por fibras ocas, geralmente de poliéster, são bastante utilizadas devido às características deste tipo de fibra: menor densidade para um

mesmo diâmetro, maior área superficial, maior rigidez específica, propriedades de isolamento térmico e aparência menos brilhante (Monteiro, 2014).

5.5.2. Têxteis com memória de forma

De acordo com Lendlein e Kelch (2002), os materiais com memória de forma podem ser classificados em dois grupos, nomeadamente, materiais com formas estáveis a duas ou mais temperaturas ou materiais em que a sua forma se pode alterar em função de um estímulo elétrico.

Apesar do primeiro grupo englobar materiais com formas estáveis, nestas diferentes temperaturas, estes materiais podem assumir diferentes formatos. Neste grupo estão incluídos polímeros, como o polinorboreno, o trans-isopolipreno e o copolímero de estireno-butadieno, entre outros.

O outro grupo, denominado por polímeros eletroativos (EAP – *Electroactive Polymers*), refere-se a materiais cuja forma pode ser alterada em função de um estímulo elétrico. Baseados normalmente em ligas metálicas, por exemplo, a liga níquel-titânio, estes materiais foram desenvolvidos para proporcionar um mecanismo de proteção a variação de temperatura (Yoo et al., 2008).

Os polímeros com memória de forma, mecanicamente, têm o mesmo funcionamento das ligas de níquel e titânio, possuindo a vantagem de terem uma melhor compatibilidade com os têxteis (Ferreira et al., 2014). Exemplo dessa compatibilidade, é o polímero polietileno tereftalato, mais conhecido por poliéster.

A temperatura de ativação destes materiais, quando aplicados num têxtil, deve ser próxima da temperatura corporal. A ativação destes materiais desencadeia um mecanismo semelhante ao de uma mola. Esta mola encontra-se tracionada, abaixo da temperatura de ativação e quando a temperatura sobe, ocorre o aumento do comprimento da mesma. Este efeito pode ser aplicado entre camadas de uma peça de vestuário e terá como resultado o aumento de distância entre estas camadas, resultando por exemplo, num maior conforto térmico para o utente (Ferreira et al., 2014).

5.5.3. Têxteis crómicos

Os têxteis crómicos, ou cromoativos, são conhecidos por poderem mudar a sua cor consoante diferentes estímulos externos. Por definição, materiais crómicos são aqueles que irradiam, anulam ou mudam de cor em função de um determinado estímulo (Ferreira et al., 2014). A origem do estímulo será importante para classificar o tipo de material crómico, conforme se verifica na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Denominação do material crómico em função do estímulo.
(Adaptado de Gregory, Samuel & Hanks, 2001)

Material	Estímulo necessário
Fotocrómico	Luz
Termocrómico	Calor
Eletrocrómico	Eletricidade
Piezocrómico	Pressão
Solvatocrómico	Função da polaridade do solvente
Hidrocrómico	Água ou Humidade
Gasocrómico	Gás
Quimiocrómico	Alterações químicas
Biocrómicos	Patogénicos

5.5.4. Têxteis luminescentes

Os têxteis luminescentes são aqueles que quando estimulados, produzem luz (Lakowicz, 2006). Estes materiais podem ser divididos em vários subgrupos:

1. Oticoluminescentes - conduzem a luz
2. Eletroluminescentes - são estimulados pela eletricidade
3. Quimiluminescentes - são estimulados por uma reação química
4. Triboluminescentes - são estimulados por uma reação mecânica
5. Fotoluminescentes - são estimulados pela luz
6. Radioluminescentes - são estimulados por radiação iónica

5.5.5. Têxteis fotovoltaicos

Os materiais fotovoltaicos possuem a capacidade de gerar uma corrente elétrica, quando excitados com luz. Contudo, trata-se de uma tecnologia em desenvolvimento e que necessita ainda de muita investigação.

Para aplicações têxteis, as células solares orgânicas, embora vantajosas, apresentam ainda uma eficiência próxima de 5%, valor bastante reduzido. Os têxteis inteligentes, atualmente comercializados com esta tecnologia, utilizam células solares convencionais integradas nos substratos têxteis, onde a luz é o gerador de corrente elétrica (Ferreira et al., 2014).

5.5.6. Têxteis auxéticos

Estes materiais são definidos pela expansão transversal, assim que tracionados longitudinalmente, apresentando coeficiente de Poisson negativo. Assim, quando uma força de tração é aplicada numa direção, a estrutura expande-se horizontalmente na direção perpendicular à força aplicada (Alderson, 2005; Liu, 2006; Sloan, Wright & Evans, 2011; Steffens & Fanguero, 2012). O comportamento auxético nos têxteis e outros materiais pode ser explicado através da sua geometria e dos mecanismos de deformação (Grima, 2011).

Os têxteis auxéticos podem ser produzidos intrinsecamente através dos polímeros (fibras desenvolvidas a partir da extrusão e espumas auxéticas) ou através do entrelaçamento de fios, formando diferentes estruturas (tecidos ou malhas).

O efeito auxético melhora as propriedades mecânicas dos têxteis, nomeadamente, resistência à fratura, variação da porosidade, módulo de cisalhamento, dureza e permeabilidade (quando submetidos a pressão) (Sloan et al., 2011).

5.5.7. Têxteis eletrónicos

Os e-têxteis englobam conhecimentos em áreas científicas distintas e com um vasto potencial de aplicações. Para se fabricar um tecido eletrónico é necessário utilizar: sensores, fios condutores, fontes de armazenamento de energia, entre outros. Este tipo de têxteis pode ser utilizado em diferentes situações, por exemplo, de emergência, monitoramento de funções vitais, segurança, qualidade de vida, etc. (Lind et al., 1997; Rossi & Paradiso, 2011).

5.5.8. Têxteis piezoelétricos

Os materiais piezoelétricos produzem um diferencial de potencial elétrico quando sujeitos a *stress* mecânico. Normalmente possuem também a capacidade de emitir um sinal

elétrico quando sujeitos a forças mecânicas. Desta forma, são materiais com potencial para serem aplicados em sensores e em atuadores (Ferreira et al., 2014).

Estes materiais têm limitações físicas quando aplicados em produtos têxteis. Todavia, já foram testadas aplicações de filmes poliméricos piezoelétricos com o objetivo de conseguir monitorizar sinais vitais e movimentos (Edmison, Jones, Nakad & Martin, 2002).

5.6. Áreas de aplicação

As aplicações de têxteis inteligentes são ainda algo restritas, devido ao seu desenvolvimento precoce, e não devido ao seu potencial. Este tipo de têxtil é atualmente utilizado em vários sectores, com relevância na área do *design* e da moda.

Existem algumas áreas, como a da saúde e militar, em que os têxteis inteligentes se tornam bastante atrativos. É também nestas áreas que se encontra maior investimento para o desenvolvimento de roupas inteligentes (Post & Orth, 1997).

Relativamente às aplicações militares existem, por exemplo, a camuflagem interativa ou os nano-robôs, que curam soldados feridos.

No outro extremo do espectro, relativamente ao *design*, já se encontra disponível roupa interativa que se adapta ao meio ambiente. Este tipo de roupa permite a expressão de aspetos da personalidade, nomeadamente, os tecidos que reagem de forma diferente, ou seja, mudam de cor quando expostos a vários comprimentos de onda da luz. Esta roupa permite também transmitir informação adicional como, por exemplo, a roupa interativa de Comunicação por Campo de Proximidade (*Near Field Communication*) que possui uma tecnologia que permite a troca de informações sem fio, e de forma segura, entre dispositivos compatíveis que estejam próximos um do outro. Isto é, desde que os dispositivos estejam suficientemente próximos, a comunicação é estabelecida automaticamente.

De seguida, de forma resumida, encontram-se apresentadas algumas aplicações em segmentos de mercados diferenciados por recentes desenvolvimentos.

No mercado do lazer, a “Infineon Technologies”, empresa alemã fabricante de produtos de semicondutores, foi parceira num estudo que consistia na integração de um leitor de MP3 num casaco lavável. As roupas possuem cartões amovíveis para armazenamento de dados e música, auscultadores concebidos com cordões e um teclado flexível nas mangas. As

funções eletrônicas são mantidas por um gerador térmico quase oculto, entrançado nos fios do tecido (Ferreira, 2015).

Quanto ao mercado da segurança, o “US Army Natick Soldier Systems”, em Massachusetts investiga tecidos que podem transportar energia e informação. Neste momento, estão a estudar uma forma de estabelecer comunicação entre seguranças, militares, polícias, etc., por pressão de uma costura, ou bordado, que funcionará como um teclado inserido no vestuário (Ferreira, 2015).

Relativamente ao mercado da localização, a aplicação “Know where Jacket” permite a navegação e opções de encaminhamento para o utilizador. Esta aplicação provém da evolução dos mapas em papel para sistemas eletrônicos. A segurança seria garantida, aliás facilitaria operações de salvamento (Ferreira, 2015).

Por último, no mercado de cuidados de saúde temos como exemplo, o sistema de libertação de fármacos utilizando têxteis (Figura 5.3) (Gerhardt, Lottenbach, Rossi & Derler, 2013; van Langenhove, 2007). Em alguns casos, a administração transdérmica (aplicação na pele) de fármacos pode ser uma boa alternativa aos comprimidos, nomeadamente quando é necessário reduzir o efeito no estômago e no trato intestinal, ou quando a medicação deixa de fazer efeito (Mečņika, Hoerr, Krieviņš & Schwarz, 2014). Além disso, a aplicação transdérmica é uma solução, quando a administração oral não é possível ou é difícil (van Langenhove, 2007).

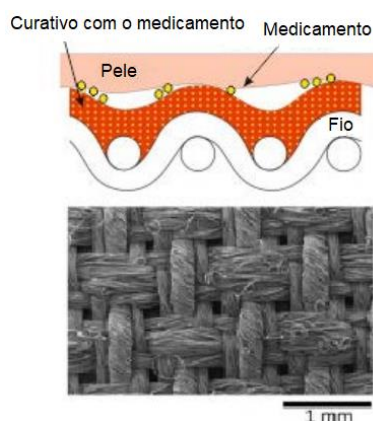
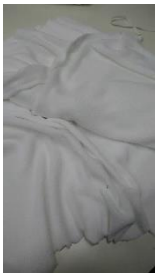


Figura 5.3: Têxtil médico com um curativo lubrificante.
(Adaptado de Gerhardt et al., 2013)

5.7. Materiais têxteis utilizados no estudo

Os têxteis descritos na tabela seguinte, foram os têxteis de mudança de fase fornecidos pelo CITEVE e por isso testados neste estudo, para posterior utilização no EPI.

Tabela 5.3: Materiais têxteis estudados.

	Estrutura	Composição	Características
	Malha de teia	100% Poliéster	Malha produzida no sentido longitudinal a partir de um conjunto de fios de teia (Araújo, Fangueiro & Hong, 2000). As suas propriedades mecânicas são, geralmente, parecidas com as dos tecidos (Araújo et al., 2000) A tecelagem desta malha é um sistema de produção têxtil bastante flexível, podendo produzir estruturas elásticas ou estáveis, abertas ou fechadas, tubulares ou planas (Araújo et al, 2000).
	Malha jersey	100% Lã	Malha leve com elasticidade em duas direções (Pais, 2016). O lado direito tem a aparência de uma malha tricotada, enquanto o avesso apresenta laçadas (Pais, 2016). Tem tendência a enrolar para o lado direito, quando cortada perpendicular ao correr do fio (Pais, 2016). As malhas com maior percentagem de fibras naturais, como é o caso, permitem que a pele respire e podem ser usadas ao longo de todo o ano (Pais, 2016).
		100% Algodão	
	Malha laminada	Algodão/Poliéster	Uma malha laminada é uma construção formada por uma estrutura têxtil aberta que é fechada entre duas camadas de um elastômero natural ou sintético (Araújo et al., 2000). O tecido aberto permite a colagem das camadas exteriores nos seus interstícios (Araújo et al., 2000). Utilizando o processo de laminagem é possível combinar várias camadas de malhas e de outros substratos (Araújo et al., 2000). São utilizados em variadas aplicações técnicas (arquitetura, construção civil, etc) (Araújo et al., 2000).
	Tecido tafetá	100% Poliéster	O tafetá de poliéster é feito para imitar o tafetá de seda, que é um dos mais antigos tecidos de luxo (Kellenberg, 2017). É fino, com um fio apertado, e feito de uma tecelagem lisa e plana, com aproximadamente o mesmo número de fios nas duas direções (Kellenberg, 2017). A sua superfície é lustrosa e é naturalmente resistente aos raios ultravioleta (UV). Retém pouca água, secando rapidamente depois de lavado (Kellenberg, 2017).

6. NANOCELULOSE

O presente capítulo diz respeito ao material de reforço utilizado na presente dissertação, a nanocelulose. Deste modo, apresentar-se-ão as razões pelas quais este polímero natural foi escolhido para este trabalho, as principais fontes de obtenção, as suas propriedades, bem como a sua aplicação na indústria têxtil.

6.1. Introdução

Há uma procura crescente de produtos renováveis não produzidos por recursos petrolíferos, tornando a celulose um material apelativo, visto ser o polímero natural mais abundante na Terra, renovável, biodegradável e não-tóxico. Na natureza, a celulose é um polímero estrutural que confere boas propriedades mecânicas às células de maior dimensão das plantas e da madeira, sobretudo a sua resistência mecânica, uma boa relação resistência/peso e simultaneamente, que permite contrariar grandes variações dimensionais provocadas por fenómenos de dilatação e contração, devido à sua flexibilidade.

A nanocelulose é um material inovador, quer na área dos materiais quer na área da nanotecnologia. Pode ser bacteriana, vegetal ou de origem animal. A polpa é transparente, a sua matéria-prima é fácil de obter e tem oito vezes mais resistência à tração do que o aço inoxidável (com a vantagem de ser mais leve) (Nanotecnologia da madeira promete superar plásticos, 2012). Os materiais feitos de nanocelulose podem apresentar diferentes formas e tamanhos.

6.2. Celulose

A celulose é um material natural, abundante, renovável e biodegradável que pode ser obtido a partir de numerosos recursos, estimando-se uma produção na natureza de 1011 toneladas por ano (Dufrense, 2007; Chirayil, Joy, Mathew, Koetz & Thomas, 2014). É o polímero e o constituinte maioritário das células vegetais, podendo também ser sintetizada por bactérias sob condições de cultura específicas, produzida por tunicatos ou obtida através de plantas (Eichhorn et al., 2010; Reddy, Vivekanandhan, Misra, Bhatia & Mohanty, 2013). A celulose é uma fonte infinita de matéria-prima para produtos amigos do ambiente e biocompatíveis (Jabbar et al., 2017).

As paredes celulares das árvores e das plantas são formadas por matrizes amorfas reforçadas de microfibrilhas de celulose semicristalina à base de hemicelulose, lignina, ceras, elementos extrativos e oligoelementos que originam as fibras lignocelulósicas (Figura 6.1) (Moon, Nairn, Simonsen & Youngblood, 2011). Alguns exemplos de fibras lignocelulósicas ricas em celulose, abundantemente disponíveis e fáceis de manusear e processar são: a juta, o cânhamo e o linho (Jabbar et al., 2017). O facto de a hemicelulose e da lignina rodearem a estrutura de celulose, desde as fibrilhas elementares até às superiores, permite um reforço da mesma (Álvarez, Reyes-Sosa & Díez, 2016).

A hemicelulose consiste num polissacarídeo não celulósico de baixo peso molecular, que possui um grau de polimerização de cerca de 100-200 açúcares, consoante o tipo de madeira (Figueiredo, 2008). É formada por pentoses e hexoses, sendo a D-glucose, a D-manose, a D-xilose, a L-arabinose e a L-ramnose exemplos de unidades presentes na sua estrutura (Álvarez et al., 2016; Figueiredo, 2008). Cada polímero de hemicelulose é classificado segundo o açúcar presente na cadeia principal.

A lignina é um biopolímero amorfo, constituído por álcoois aromáticos e sem estrutura primária definida (Álvarez et al., 2016). Encontra-se maioritariamente na zona periférica (lamela média) da parede celular (Figueiredo, 2008). Desempenha funções ao nível de aglutinação das fibras e serve de barreira de defesa contra a degradação enzimática da biomassa da madeira (Álvarez et al., 2016; Figueiredo, 2008).

As características das fibras são diferentes consoante a sua origem, ou seja, dependem das dimensões, da estrutura da parede celular e da percentagem de hemicelulose, lignina e celulose (Isogai, Saito & Fukuzumi, 2011; Nunes, 2014). Por sua vez, a percentagem destes três componentes difere de planta para planta (Isogai et al., 2011; Nunes, 2014). A madeira, em base seca, possui a celulose em maior quantidade, 40% a 50%, seguida da lignina e da hemicelulose, estando ambas entre os 20% e os 30%, ocupando os outros componentes cerca de 1% a 5% e as cinzas menos de 1% (Figueiredo, 2008).

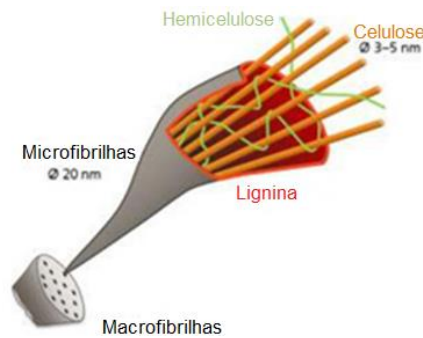


Figura 6.1: Estrutura de uma fibra lignocelulósica.
(Adaptado de Álvarez et al., 2016)

6.2.1. Estrutura hierárquica

A estrutura hierárquica das plantas abrange uma grande escala de comprimentos, desde a escala nanométrica à macroscópica (Figura 6.2) (Dufrense, 2007; Moon, 2008; Moon et al., 2011). Os materiais naturais utilizam essa vantagem, que lhes permite evoluir a nível de funcionalidade, flexibilidade e alto desempenho na relação resistência mecânica/peso (Moon et al., 2011). No caso da madeira, enquanto toda a árvore se encontra na escala de metros (m), a secção transversal descreve-se em centímetros (cm), os anéis de crescimento em milímetros (mm), a anatomia celular em dezenas de micrómetros (μm), a estrutura de camadas dentro da parede celular em micrómetros, a configuração das fibrilhas celulósicas numa matriz formada por hemicelulose e lignina em dezenas de nanómetros (nm) e por fim, as estruturas moleculares da celulose, hemicelulose e lignina, e as suas interações químicas, são descritas na escala dos nanómetros (Dufrense, 2007).

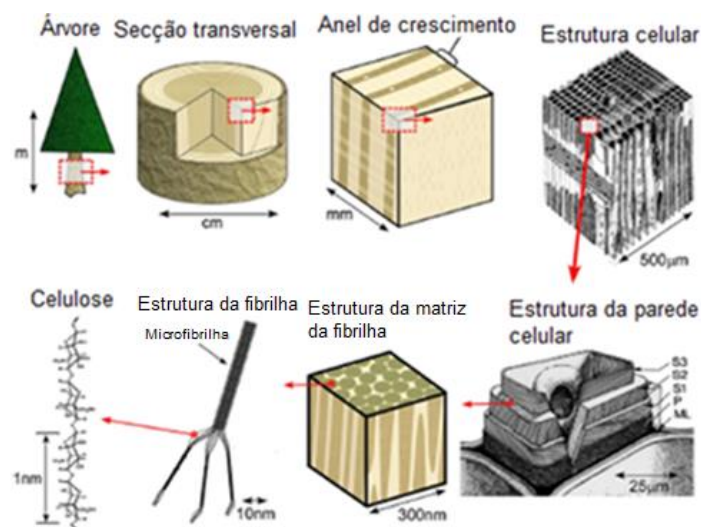


Figura 6.2: Estrutura hierárquica da madeira: da árvore para a celulose.
(Adaptado de Dufrense, 2007)

6.2.2. Estrutura química

A celulose é um polissacarídeo natural, homogêneo e de elevado peso molecular que possui uma cadeia linear, constituída por moléculas de glicose sob uma forma anelar (Moon et al., 2011; Peng et al., 2013; Reddy et al., 2013). A fórmula empírica é $(C_6H_{10}O_5)_n$, onde n é o grau de polimerização (Nunes, 2014).

Tal como demonstrado na Figura 6.3, a estrutura unitária de repetição é constituída por dois anéis de anidroglicopirranose (AGU), ligados de forma covalente através de um oxigénio e denomina-se por celobiose (Moon et al., 2011; Nunes, 2014). O grau de polimerização, pode assumir valores entre os 10 000 e os 15 000 ou 3 000 e os 1 500, uma vez que depende da fonte do material celulósico (Moon et al., 2011; Reddy et al., 2013). A ligação entre os dois anéis denomina-se por ligação glicosídica β 1 – 4, devido ao facto de o oxigénio se encontrar ligado ao carbono 1 (C1) de um anel de glicose e ao carbono 4 (C4) do anel adjacente (Figura 6.3) (Moon et al., 2011).

A composição das CNF organiza-se em duas regiões bastante distintas entre si, a cristalina e a amorfa. Na primeira, as cadeias encontram-se dispostas numa estrutura altamente organizada e na segunda, na região desordenada, a estrutura e distribuição nas microfibrilas não é clara (Figura 6.3) (Chinga-Carraco, 2011; Eichhorn et al., 2010). Quando as microfibrilas sofrem um processamento no qual as zonas amorfas são retiradas, obtêm-se as porções cristalinas, às quais se dá o nome de nanocristais de celulose (CNC).

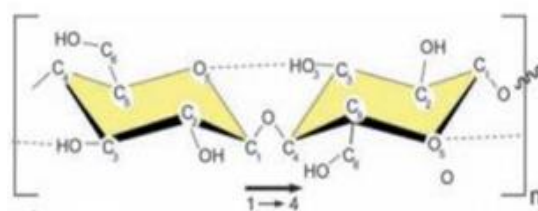


Figura 6.3: Unidade de repetição de uma cadeia de celulose, mostrando a direção da ligação 1 para 4, bem como as ligações de hidrogénio intracadeia (linha pontilhada).
(Moon et al., 2011)

Cada anel de glicose contém três grupos hidroxilo, nos carbonos 2, 3 e 6 (C-2, C-3 e C-6), disponíveis para formar ligações de hidrogénio (Figura 6.4) (Peng et al., 2013). A ligação de hidrogénio intracadeias, que ocorre entre grupos hidroxilo de um anel de uma molécula e oxigénios do anel da molécula adjacente, promove a estabilização da ligação, resultando na configuração linear da cadeia de celulose. As ligações de hidrogénio intra e intercadeias, ao auxiliarem na organização das moléculas de glicose em fibrilas, possuem

uma importância considerável, uma vez que fornecem uma elevada rigidez axial às mesmas, tornando a celulose um polímero relativamente estável (Moon et al., 2011).

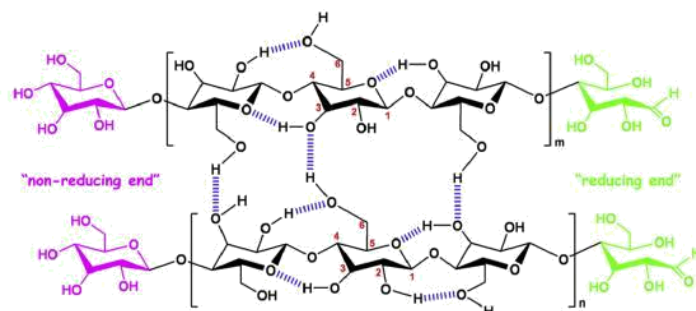


Figura 6.4: Representação da estrutura química e das ligações de hidrogênio intra e intermoleculares da celulose cristalina.
(Lin & Dufresne, 2014)

6.3. Fontes de nanocelulose

A nanocelulose pode ser obtida de diversas fontes, como madeira, tunicatos, plantas (algodão, palha de trigo, etc.) e fontes bacterianas, tais como algas, fungos e até mesmo ameba (protozoários) (Jorfi & Foster, 2015; Moon et al., 2011).

Por outro lado, a polpa de nanocelulose pode ser obtida através de subprodutos do setor agrícola (bagaço, talos e colheitas de palha), assim como a partir de produtos de papel reciclado e outras fontes residuais de biomassa (polpa de cenoura e cascas de coco, por exemplo) (Moon, Schueneman & Simonsen, 2016; Reddy et al., 2013).

Durante o processo de biossíntese, as moléculas individuais de celulose, são agrupadas em feixes ordenados, fibrilhas elementares ou nanofibrilhas, que constituem nanomateriais de celulose, exibindo diversas formas, tamanhos e propriedades (Moon et al., 2016). A estrutura da nanocelulose depende da fonte de proveniência, devido ao respetivo processo de biossíntese, podendo haver algumas diferenças entre elas (Moon et al., 2011).

As fontes de nanocelulose baseada em plantas ou madeira são as mais utilizadas para produção em grande escala, uma vez que são recursos abundantes e possuem a vantagem de as indústrias de papel, farmacêutica e têxtil possuírem infraestruturas necessárias para a sua obtenção e processamento (Moon et al., 2016). Quanto à BC, esta apresenta taxas de produção mais baixas e custos mais elevados, devido ao processo de obtenção mais complexo em comparação com os de origem vegetal, sendo utilizada para aplicações na área biomédica. (Moon et al., 2016). Relativamente aos nanomateriais extraídos de tunicatos e algas, estes são

igualmente dispendiosos quanto à sua obtenção e extração, sendo requisitados extensivamente na área da investigação (Moon et al., 2016)

6.4. Propriedades da nanocelulose

A nanocelulose apresenta características promissoras e díspares. Pode destacar-se a sua morfologia e dimensões, cristalinidade, elevada área de superfície, propriedades reológicas, o comportamento líquido/cristalino, o alinhamento e orientação das fibras, as propriedades de barreira, a reatividade química de superfície, biocompatibilidade, biodegradabilidade e baixa toxicidade, entre outras (Lin & Dufresne, 2014).

6.4.1. Propriedades mecânicas e potencial de reforço

As propriedades mecânicas da nanocelulose devem-se muito à possibilidade de formação de redes bastante complexas de ligações de hidrogénio, entre cada cadeia de celulose (Peng et al., 2013). Quando se pretende caracterizar as propriedades mecânicas da nanocelulose é essencial ter em conta, tanto as propriedades nas zonas cristalinas (regiões ordenadas) como nas zonas amorfas (regiões desordenadas) e a percentagem de cristalinidade. As cadeias de celulose da zona cristalina fornecem flexibilidade e plasticidade, enquanto as cadeias da zona amorfa contribuem para a rigidez e elasticidade do material (Lin & Dufresne, 2014).

Num material celulósico cristalino, encontra-se um valor elevado do módulo de Young (módulo de elasticidade), isto é, valores médios relatados na ordem dos 81 ± 12 GPa e dos 100 GPa para nanofibras de celulose (NFC) (Lin & Dufresne, 2014). Resultando, assim, em melhores propriedades mecânicas nas zonas cristalinas do que nas amorfas, razão suficiente para reforçar a investigação nesta área (Peng et al., 2013).

Comparativamente com outros materiais de reforço mecânico, admite-se que a nanocelulose cristalina apresenta um valor de módulo elástico axial (110-220 GPa) mais elevado do que o Kevlar (60-130 GPa) e potencialmente mais resistente que o aço (210 GPa) (Lin & Dufresne, 2014; Moon et al., 2011; Peng et al., 2013). É ainda de salientar que o valor de resistência à tração da nanocelulose cristalina (7,5-7,7 GPa) é superior ao do cabo de aço (4,1 GPa), e a sua densidade apresenta valores baixos ($1,6 \text{ g/cm}^3$) (Moon et al., 2011). Parâmetros como a resistência à tração, módulo elástico transversal e densidade possuem

valores na ordem dos restantes materiais de reforço (Lin & Dufresne, 2014; Moon et al., 2011; Peng et al., 2013).

6.4.2. Propriedades térmicas

Relativamente às propriedades térmicas da nanocelulose, deve considerar-se a degradação química pela variação de temperatura e o coeficiente de expansão térmico (CTE). O primeiro fator é usualmente medido através de análise termogravimétrica (TGA), que fornece dados sobre a perda de peso em função da temperatura, para determinada taxa de aquecimento. Análises de TGA, revelaram que a degradação química ocorre a aproximadamente 300 °C para a nanocelulose microcristalina (MCC) e a aproximadamente 260 °C para CNC. A degradação química das nanopartículas de celulose ocorre entre 200 °C e 300 °C, e é dependente de vários fatores: da partícula, da taxa de aquecimento e do tipo de modificação de superfície (Petersson, Kvien & Oksman, 2007). A decomposição térmica tem início a temperaturas da ordem dos 260 °C (Gardner, Oporto, Mills & Samir, 2008). Quanto ao CTE da nanocelulose cristalina na direção axial, este encontra-se por volta dos 0,1 ppm K⁻¹, valor próximo de outras fibras (carbono, por exemplo) (Moon et al., 2011). A estabilidade térmica da nanocelulose comparativamente com as fibras de celulose, é dependente das condições de processamento e da sua elevada relação superfície/volume. Esta propriedade diminui devido à homogeneização, à secagem (CNC seco), à presença de grupos de sulfato na superfície da celulose e ainda sofre a influência do congelamento e da secagem (CNC) (Peng et al., 2013 ; Quiévy et al., 2009; Rämänen, Penttilä, Svedström, Maunu & Serimaa, 2012; Roman & Winter, 2004).

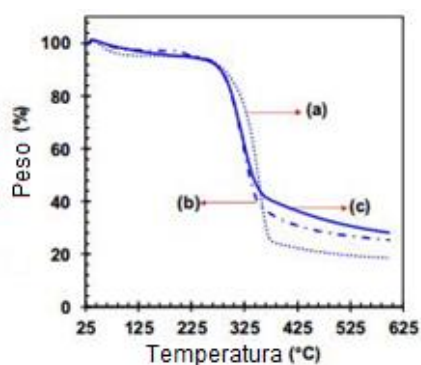


Figura 6.5: TGA de a) fibra de celulose tratada, b) CNC após hidrólise ácida (dissolve as regiões amorfas) e c) membrana CNC self-assembled.
(Adaptado de Mohamed et al., 2017)

6.4.3. Absorção de água e solubilidade

Há bastante controvérsia quanto à capacidade de solubilidade que a nanocelulose apresenta. Em condições normais, é extremamente insolúvel em água e solúvel em compostos com propriedades intermédias, porém pode reter grande quantidade de água em condições de solução aquosa ou sob valores de pH extremos (Hatakeyama, 2004; Medronho, Romano, Miguel, Stigsson & Lindman, 2012). No entanto, assume-se que a celulose é anfipática, significando que apresenta a característica de possuir uma região com afinidade à água e outra parte incapaz de se dissolver. A insolubilidade encontra-se relacionada com as ligações de hidrogénio intramoleculares e intermoleculares e a capacidade que a celulose tem de se formar. Contudo, é necessário ter em consideração a cristalinidade da celulose (Medronho et al., 2012). De acordo com Nakamura, Hatakeyama e Hatakeyama (1981), a quantidade limite de água ligada por congelamento diminui com o aumento da cristalinidade. Segundo Peng et al. (2013), quando as fibrilhas de nanocelulose integram compósitos, a absorção de água provoca a degradação das propriedades dos mesmos.

6.5. Aplicação da nanocelulose aos materiais têxteis

A produção de têxteis continua a crescer com o aumento do poder de compra coletiva global e, há uma expectativa de substituir têxteis de algodão ou derivados do petróleo por alternativas mais sustentáveis, de forma a alcançar as metas climáticas (Alkhagen et al., 2015). O consumo anual mundial de materiais têxteis é de aproximadamente 100 milhões de toneladas (Alkhagen et al., 2015). A procura global de fibra mostra que o poliéster é dominante e sê-lo-á até 2030, como exemplificado na Figura 6.6. As fibras sintéticas de celulose também deverão aumentar a sua produção, e se o desenvolvimento de novas fibras celulósicas for bem-sucedido, a taxa de crescimento pode até superar a previsão (Alkhagen et al., 2015).

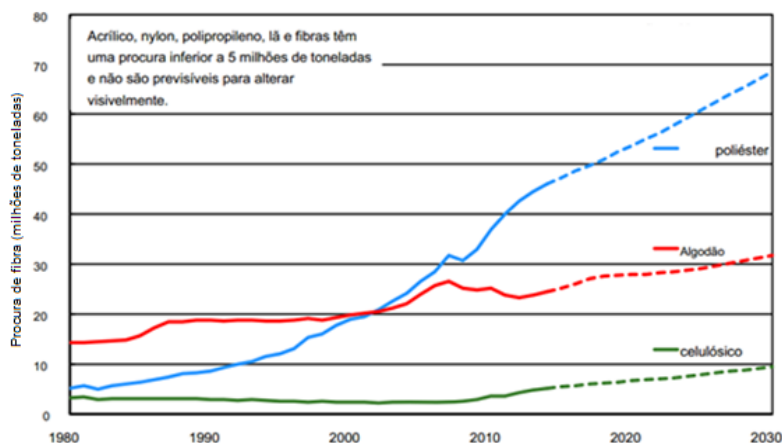


Figura 6.6: Procura global de fibra, previsão para 2030.
(Adaptado de Man-Made Fibers Continue To Grow, 2015)

O uso da nanotecnologia por parte da indústria têxtil ainda é pequeno em relação ao que se estuda e ao que se discute em relação a esta ciência. A nanotecnologia proporciona à área têxtil, novas características às fibras, fios e tecidos, bem como novos horizontes aos têxteis inteligentes. No acabamento de têxteis técnicos confere novas e mais complexas funções em substratos têxteis, além de melhorias nas suas funções, como a durabilidade, sem perder a sensação e textura do tecido, com o mínimo de produtos químicos (Gulrajani, 2013).

Materiais têxteis feitos a partir de fibras naturais, têm desempenhado um papel importante na vida dos seres humanos desde sempre, e atualmente, ainda são amplamente utilizados na indústria moderna devido à sua alta qualidade (Chattopadhyay & Patel, 2016). Um exemplo é a nanocelulose, que combina baixo custo, leveza, condutividade elétrica, recursos ecologicamente corretos e alta resistência, podendo assim ter várias aplicações (Salah, 2013).

Certos nanotecidos inteligentes podem ser bloqueadores de raios UV, retardadores de chama ou nunca se desgastarem (Salah, 2013).

Com a ajuda da nanotecnologia, os materiais têxteis podem ser adaptados e melhorados para qualquer tipo de utilizador, quer os materiais de engenharia nanométrica sejam integrados na matriz polimérica ou revestidos na superfície das fibras (Salah, 2013).

6.6. Motivação para a escolha da nanocelulose

A nanocelulose foi escolhida para o desenvolvimento de um EPI para a prevenção de lombalgia, por diversas razões, sendo necessário averiguar quais os aspetos mais importantes

a ter em conta. A Tabela 6.1 correlaciona as principais propriedades da nanocelulose com as necessidades que um equipamento, semelhante a uma ortótese lombar acarreta, para uma utilização eficaz. Traduz, assim, as razões que levaram à escolha deste material. Além disso, outra motivação foi a possibilidade de aplicação de um polímero natural a uma ortótese, onde habitualmente se recorre apenas a materiais sintéticos. O facto de não existir investigação relativamente a este tipo de aplicação, tornou-se um desafio para o seu desenvolvimento.

Tabela 6.1: Correlação entre as propriedades da nanocelulose e as necessidades de uma ortótese lombar.

Propriedades da nanocelulose	Necessidades da ortótese
• Antibacteriana • Biocompatibilidade • Biodegradabilidade • Baixa toxicidade	• Não causar reação adversa/alérgica durante o contacto com a lombar
• Baixa densidade (1,6 g/cm³)	• Material leve
• Valores de resistência à compressão na ordem dos 7.5-7.7GPa (Moon et al., 2011) • Valores médios de módulo de Young relatados na ordem dos 81±12GPa e dos 100GPa, para NFC (Lin & Dufresne, 2014).	• Material confortável e flexível • Precisa de apresentar valores de resistência à tração reduzidos • Precisa de evidenciar valores de módulo de Young reduzidos

No presente estudo recorreu-se a nanocelulose de origem vegetal, uma vez que é um recurso abundante, de fácil aquisição e baixo custo, comparativamente às outras fontes de obtenção. O tipo de partícula foi a NFC, que apresenta regiões cristalinas e amorfas e uma percentagem de aproximadamente 100% de celulose (Moon et al., 2011). Possui entre 0,5µm e 2µm de comprimento, entre 4nm e 20nm de largura e de altura (Moon et al., 2011). Encontra-se sob forma de polpa, de forma a facilitar o revestimento dos têxteis.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito o procedimento experimental executado no presente estudo. Em primeiro lugar serão apresentados os materiais utilizados, os têxteis de mudança de fase e a NFC em polpa. De seguida, proceder-se-á à apresentação do planeamento e construção do EPI. Posteriormente, apresentar-se-á o método de revestimento dos têxteis com as NFC em polpa e depois a sua secagem, que ocorre recorrendo a uma estufa elétrica, bem como todas as técnicas envolvidas no manuseamento do material para a obtenção de uma amostra válida para futuros ensaios químicos e morfológicos. Serão apresentados também os métodos realizados para caracterização do têxtil revestido com nanocelulose, entre eles, a avaliação da densidade e ensaios mecânicos quanto à resistência à tração.

7.1. Materiais

O material selecionado para o desenvolvimento do equipamento individual de proteção a lombalgias foi um têxtil de mudança de fase. No entanto, foram caracterizados 5 têxteis e só após os resultados obtidos foi feita a seleção do têxtil ou têxteis ideais para o EPI. Todos os têxteis foram lavados, de forma a eliminar todas as substâncias estranhas antes de serem revestidos.

Atualmente, é integrado diretamente o PCM líquido no centro da fibra têxtil, pois o facto de se misturar diretamente o PCM com o polímero da fibra, aumenta a eficiência termorreguladora ao aumentar substancialmente a quantidade de PCM presente nesta (Gerschenfeld, 2015). O mecanismo de funcionamento sucede através do ingrediente termorregulador, uma microcápsula, que é um material com mudança de fase. Quando esta entra em contacto com ambientes frios, solidifica libertando calor, e quando entra em contacto com uma temperatura corporal elevada, as cápsulas transformam-se em líquido absorvendo calor (Gerschenfeld, 2015).

O primeiro material têxtil a ser caracterizado foi uma malha de teia constituída 100% por polietileno tereftalato (PET), um dos polímeros termoplásticos mais utilizados, mais conhecido pelo nome comercial de “poliéster”. Também o único tecido (tafetá) a ser estudado tem a mesma constituição.

O PET consiste em unidades polimerizadas do monómero etileno tereftalato, com repetidas unidades de $(C_{10}H_8O_4)$. Para o fabrico de PET, a principal matéria-prima é o etileno.

É oxidado para produzir um álcool dihidrico de monômero de glicol que é ainda combinado com outro monômero, o ácido tereftálico, a uma temperatura elevada, no vácuo, de forma a polimerizar. O polímero resultante é arrefecido e cortado em pequenos pedaços, que são fundidos e depois extrudidos através de uma fiação e os filamentos são, subsequentemente introduzidos na fibra de poliéster desejada. Depois da fibra de poliéster criada, é transformada num fio, que consiste em linhas ininterruptas de fibras têxteis, prontas para serem transformadas em tecidos. Estes fios de poliéster têm uma ampla gama de diâmetros e comprimentos de fibras e podem ser feitos basicamente como linha de monofilamento ou multifilamento (Polyester Manufacturing, s.d.).

Embora seja bastante utilizado na indústria têxtil em diversas aplicações, sendo mundialmente a segunda fibra mais produzida, perdendo apenas para o algodão, o poliéster é bastante popular entre os materiais inteligentes (Giordano & Campos, 2005).

O algodão, único constituinte de uma das malhas de jersey caracterizadas e um dos constituintes da malha laminada, é uma fibra natural de origem vegetal procedente do algodoeiro (*Gossypium*). Os têxteis de base de algodão detêm uma melhor capacidade de absorção de humidade (hidrofílico), havendo uma maior absorção da transpiração do corpo quando se usam malhas de algodão. O algodão é facilmente atacado por fungos, sendo 94% composto por celulose (Pereira, 2009).

A lã é uma fibra natural de origem animal, macia e ondulada, obtida sobretudo do pelo das ovelhas. Devido à ondulação que a caracteriza, a lã tem uma elasticidade e uma resistência longitudinal superiores às outras fibras naturais (Pereira, 2009). Esta é quimicamente composta por 50% de carbono e possui características, como: boa absorção de água (humidade), baixa resistência ao atrito, suscetibilidade a fungos, bom isolante térmico, etc. (Pereira, 2009).

Para revestimento do têxtil, utilizou-se NFC em forma de polpa (Figura 7.1). O material foi adquirido na Universidade de Maine (Maine, EUA) e apresenta 3% de nanofibras de nanocelulose, sendo os restantes 97% de teor de água. As especificações principais das nanofibras utilizadas, são: aparência branca e sem cheiro, largura da fibra nominal de 50nm, hidrofílica e possui uma densidade de 1,6 g/cm³ para polpa.



Figura 7.1: Nanocelulose sob a forma de polpa.

7.2. Obtenção, otimização e caracterização dos têxteis revestidos com as NFC

7.2.1. Revestimento dos têxteis com as NFC em polpa

Para obter uma amostra válida para posteriores ensaios experimentais, para além da mistura da polpa de nanocelulose, foi necessário revestir de forma o mais uniforme possível, os têxteis com as NFC, antes de serem colocados na estufa de secagem. Esse revestimento foi realizado no CITEVE, utilizando a máquina de *coating* (recalque) W. Mathis AG do tipo SV, de modo a obter uma superfície contínua, regular.



Figura 7.2: a) Mistura da nanocelulose em polpa b) revestimento na máquina de recalque no CITEVE.

7.2.2. Desidratação por calor dos têxteis revestidos com as NFC em polpa

Para a secagem do material foi utilizada uma estufa elétrica W. Mathis AG, na qual os materiais: um tecido e quatro malhas, revestidos com NFC em forma de polpa, foram colocados à temperatura de 60°C. Todo o processo decorreu no CITEVE.



Figura 7.3: Estufa elétrica do CITEVE.

7.2.3. Caracterização dos têxteis revestidos com as NFC em polpa

Finalizado o processo de secagem dos têxteis, prosseguiu-se para a sua caracterização, utilizando: observação em microscopia ótica de fluorescência e UV, observação em microscopia eletrónica de varrimento (SEM), ensaios mecânicos de resistência à tração, estimativa do valor de densidade e da capacidade de absorção de água. De seguida, descrevem-se cada uma das técnicas mais detalhadamente.

7.2.3.1. Análise por microscopia de fluorescência e ultravioleta

Utilizando a microscopia de fluorescência e UV, foi possível observar e analisar a superfície e a secção transversal dos fragmentos e as características morfológicas de fibras com uma ampliação de 400x. Para esta análise utilizou-se o Microscópio Olympus BX50 com câmara Sony CCD-IRIS, do Laboratório dos Produtos Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da UTAD com o auxílio do Professor Doutor José Lousada e do Senhor Armindo Teixeira.

A transmissão UV melhorada próxima do sistema ótico, incluindo as objetivas e o iluminador vertical, garantem excelente brilho, nitidez e contraste para imagens de fluorescência e UV (McHone, 2010). O iluminador Universal do Microscópio Olympus BX50 (Figura 7.4) aceita quatro cubos de filtro de fluorescência que combinam espelhos dicroicos com filtros de barreira e excitação, para troca rápida entre quatro comprimentos de onda de fluorescência. Observação simultânea de fluorescência e contraste de fase é facilmente realizada (McHone, 2010).



Figura 7.4: Microscópio Olympus BX50.

7.2.3.2. Análise por microscopia eletrônica de varrimento

O SEM (*Scanning Electronic Microscopy*) é utilizado para o estudo de estruturas superficiais. O microscópio eletrônico de varrimento utiliza elétrons para a formação de imagem. As imagens têm alta profundidade de foco, o que significa que obtêm diferentes relevos da superfície da amostra, adquirindo imagens que se assemelham a imagens tridimensionais, o que facilita a sua interpretação. O SEM também produz imagens de alta resolução, o que garante obter alta ampliação de detalhes próximos, sem perda de nitidez. (Canevarolo & Sebastião, 2004). Um aspecto atrativo do SEM é a facilidade de preparação da amostra. Materiais não condutores, como as fibras naturais e a maioria dos polímeros, requerem apenas, em geral, revestimentos condutivos, ou o uso de baixa voltagem de aceleração do feixe (Li, Mai & Ye, 2005).

Através do SEM foi possível observar e analisar a superfície e a secção transversal dos fragmentos e as características morfológicas das fibras com uma ampliação muito superior ao processo anterior. Para esta análise utilizou-se o Microscópio TM4000PLUS, comercializado pela empresa HITACHI (Figura 7.5).



Figura 7.5: Microscópio TM4000PLUS.

7.2.3.3. Ensaios mecânicos de resistência à tração

Os ensaios mecânicos de resistência à tração foram realizados na máquina Instron 5848 Microtester do Laboratório de Ensaios Mecânicos com a ajuda do Professor Doutor Fábio Pereira. Para tal, procedeu-se à avaliação de 48 amostras, todas com as mesmas dimensões, 140 x 15 mm (comprimento e largura). O primeiro passo consistiu no tratamento de cada amostra, para que fosse o mais uniforme possível. As primeiras 12 amostras não sofreram qualquer tratamento, sendo apenas o têxtil virgem. As amostras numeradas de 13 a 24 foram revestidas com uma camada de NFC em polpa, na frente do têxtil. As amostras de 25 a 36 foram revestidas com uma camada de nanocelulose em cada um dos lados do material têxtil. As últimas 12 amostras foram revestidas com duas camadas de NFC em polpa, na frente do material. Isto tudo, para depois se observarem/compararem as diferenças entre os diferentes tratamentos. Seguidamente, realizaram-se os testes de resistência à tração à velocidade de deslocamento de 2,5mm/min. (Figura 7.6).



Figura 7.6: Ensaio de resistência à tração numa amostra de Tecido Tafetá.

7.2.3.4. Estimativa dos valores da densidade

A densidade (d , também massa volúmica ou massa volumétrica) de um corpo pode ser determinada através da divisão da massa (m) do material pelo volume (V) do mesmo (Equação 1). Para o cálculo da densidade, em forma de estimativa, utilizaram-se 3 provetes de cada tratamento: revestimento do têxtil com uma camada de nanocelulose à frente, revestimento nas duas faces e revestimento com duas camadas de nanocelulose na frente do têxtil e 3 provetes sem qualquer tratamento (sem revestimento). Os provetes foram pesados numa balança analítica com precisão de 0,001g e medidos (comprimento, largura e espessura). O volume foi calculado considerando um paralelepípedo, cujas dimensões foram 7,5 cm de comprimento 2,5 cm de largura, as dimensões de espessura foram obtidas utilizando um micrómetro digital Nikon com precisão 0,001mm e seguidamente, à avaliação da densidade.

$$d = \frac{m}{V} \text{ (Equação 1)}$$

7.2.3.5. Capacidade de absorção de água

O ensaio para avaliar a capacidade de absorção de água fornece uma medida da quantidade de líquido mantido dentro de um provete, após tempos específicos de imersão e drenagem. Este método mede o líquido armazenado dentro da amostra de têxtil após a drenagem ter ocorrido verticalmente.

Para cada tratamento: revestimento com uma camada de nanocelulose, revestimento à frente e verso e revestimento com duas camadas de nanocelulose na frente do têxtil e para amostras sem revestimento, foram consideradas 3 amostras de cada, que medem 75 mm de comprimento e 25 mm de largura. Foi utilizada uma balança analítica capaz de ler 0,001g. Foram pesadas as amostras secas (m_0), e depois foram colocadas em recipientes de água destilada mantidos a temperatura ambiente, inteiramente imersas. As amostras foram novamente pesadas após 15min, 30min, 1H, 2H, 4H, 8H, 24H e 48H de imersão (m). Finalmente, as amostras foram secas e pesadas de novo (m_f). A percentagem de aumento de peso durante a imersão (Equação 2) e a percentagem de matéria solúvel perdida durante a imersão (Equação 3) foram calculadas. O protocolo deste teste foi baseado na “International Standard D570-98, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics”. Alterações a nível de aparência dos provetes foram registadas.

$$\text{Aumento de peso, \%} = \frac{m-m_0}{m_0} \times 100 \quad (\text{ISO 9073-6:2000}) \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Perda de matéria solúvel, \%} = \frac{m-m_f}{m_f} \times 100 \quad (\text{ISO 9073-6:2000}) \quad (\text{Equação 3})$$

7.3. Planeamento do equipamento de proteção individual

Finalizadas as etapas da obtenção dos têxteis revestidos com as NFC em polpa, procedeu-se à elaboração do planeamento do protótipo EPI (camisola).

A camisola deverá ser feita de um tecido respirável, potenciando a eliminação de partículas tóxicas que se depositam ao nível da pele. Na região lombar terá uma banda contínua num tecido semirrígido, apresentando, no entanto, capacidades elásticas.

Esta banda será elaborada na UTAD, mas foi pensada e estudada no Piaget de Viseu, utilizando têxteis fornecidos pelo CITEVE. O objetivo é contribuir para a diminuição dos movimentos em amplitudes articulares extremas, uma vez que, pelo facto de a banda ser num tecido semirrígido provocará resistência a movimentos de grandes amplitudes, fornecendo *feedback* tátil (Jellema et al., 2001). O facto de haver resistência ao movimento nessas amplitudes poderá melhor consciencializar o trabalhador do movimento que se encontra a realizar (*reminder-function*), fazendo-o adaptar uma nova estratégia de movimento. Jonai, Villanueva, Sotoyama, Hisanagai e Saito (1997) verificaram que, recorrendo ao uso de uma banda semirrígida, havia uma diminuição ao nível das amplitudes articulares, sendo que tal alteração poderá diminuir o stresse aplicado às estruturas articulares, quando estas se encontram em posições extremas, e diminuir o esforço muscular.

O facto de a estrutura ser feita num tecido elástico semirrígido tem como objetivo prevenir a excessiva estabilização por parte do equipamento, o que poderia provocar, em caso de sobre uso, uma diminuição da força e atividade dos músculos posturais. Tal foi verificado aquando do uso de coletes rígidos para tratamento de dor lombar, no entanto as faixas elásticas parecem surtir efeito através da estimulação sensorial, em detrimento da contenção corporal (Fayolle-Minon & Calmels, 2008).

As bandas longitudinais colocadas na região lombar devem servir como suporte dos músculos, tentando provocar distração dos tecidos adjacentes, promovendo o alongamento das fibras. Estas bandas devem ainda ser termorreguláveis, aumentando a temperatura em, aproximadamente 2°C, promovendo o relaxamento muscular e provocando vasodilatação nos tecidos, potenciando uma melhor irrigação da zona, permitindo a eliminação de anabólicos e prevenindo pequenos processos isquémicos. Segundo Nadler, Weingand e Kruse (2004), um

aumento de temperatura de 2°C representa um aumento de 29% do aporte sanguíneo. Este aumento de temperatura e as diferenças dos tecidos usados poderão, ainda, surtir um efeito benéfico ao nível da diminuição da dor. Isto porque, segundo a Teoria do Portão ou *Gate Control Theory*, que afirma que a dor é um fenómeno neurofisiológico, baseado na transmissão de um estímulo produtor de sensação dolorosa, estímulos sensoriais podem provocar uma diminuição da intensidade da dor (Campos, 2012).

As características principais da camisola são:

- cada banda deverá ter largura de 5 cm e ser colocada sensivelmente a 3cm das apófises espinhosas, devido ao posicionamento dos músculos paravertebrais e à sua dimensão;
- o comprimento das bandas deve variar entre os 25; 30; 35 cm caso o tamanho seja S; M; L/XL, respetivamente, também pelo posicionamento dos músculos paravertebrais e pela sua dimensão;
- a temperatura máxima a atingir nas bandas deverá ser 40°C, idealmente durante 8 horas, sendo a temperatura descrita para produzir vasodilatação;
- as bandas devem ser revestidas por nanocelulose em polpa.

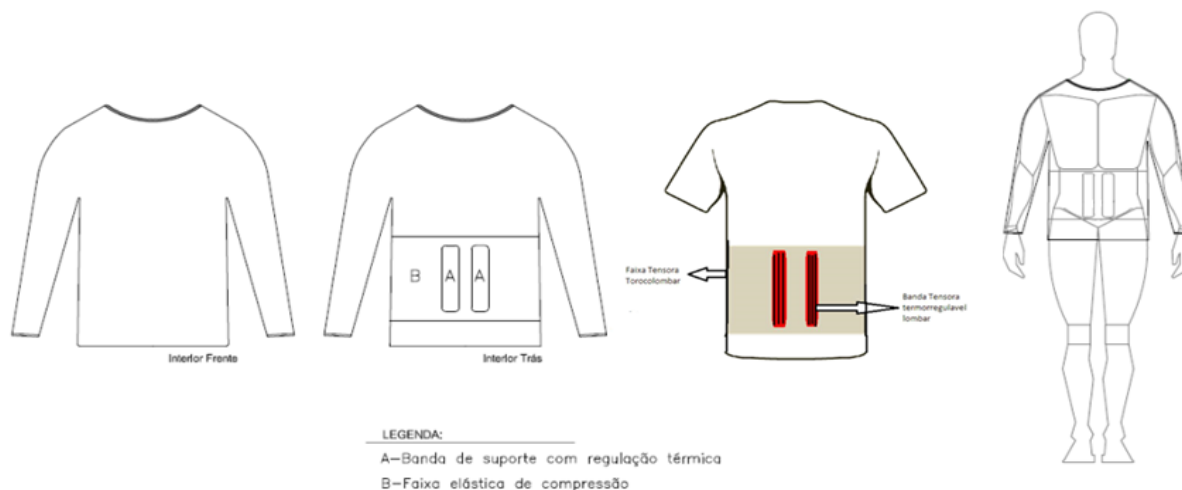


Figura 7.7: Ilustração da camisola (EPI) e seus constituintes.

8. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos.

8.1. Obtenção, otimização e caracterização dos têxteis revestidos com NFC em polpa

Todas as amostras têxteis revestidas, assemelham-se à figura abaixo. Como se pode observar, as superfícies (camadas) de revestimento obtidas não aparentam ser regulares.

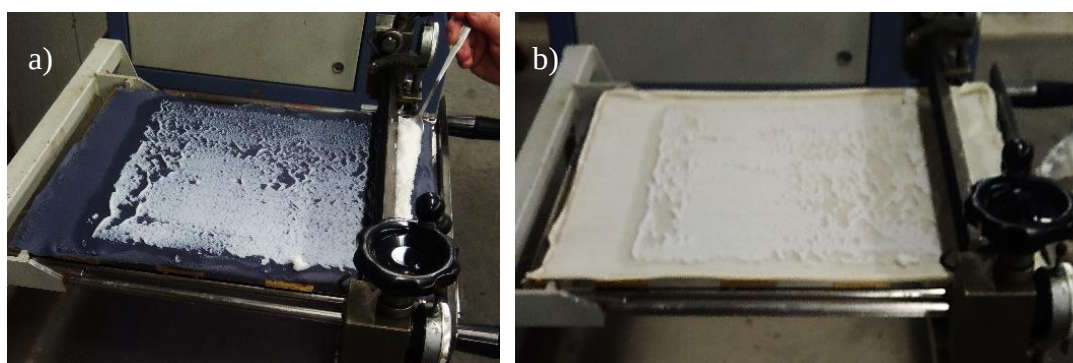


Figura 8.1: a) Malha de Teia revestida com NFC em polpa b) Malha *Jersey* de lã, revestida com NFC em polpa.

8.1.1. Desidratação por calor dos têxteis revestidos com NFC em polpa

A secagem elaborada pelo CITEVE das amostras têxteis revestidas com NFC em forma de polpa, durou cerca de 4 horas.



Figura 8.2: Secagem da Malha de Teia revestida com as NFC em polpa.

8.1.2. Caracterização dos têxteis revestidos com NFC em polpa

8.1.2.1. Análise por microscopia de fluorescência e ultravioleta

As amostras têxteis sem revestimento e com revestimento das NFC em polpa, foram observadas no microscópio com ampliação de 400x. As imagens em locais selecionados da amostra foram capturadas pela câmara digital acoplada ao microscópio. Estas imagens foram transferidas para o analisador de imagens no computador.

As imagens seguintes são referentes aos materiais têxteis com revestimento das NFC em polpa, contudo as imagens capturadas da Malha *Jersey* de algodão e da Malha Laminada não apresentaram a qualidade desejada, pois as fibras têxteis e a nanocelulose estão em diferentes planos (Figura 8.5 e 8.6).

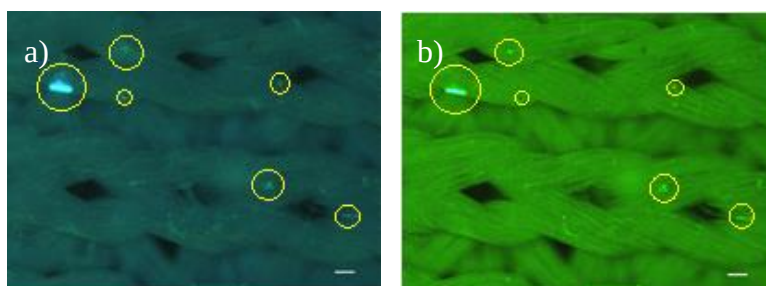


Figura 8.3: Malha de Teia revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.

Na Figura 8.3 consegue-se observar as fibras “entrelaçadas”, características das malhas de teia. Ainda é possível notar-se que a nanocelulose não está repartida uniformemente, vendo-se zonas de aglomeração na figura.

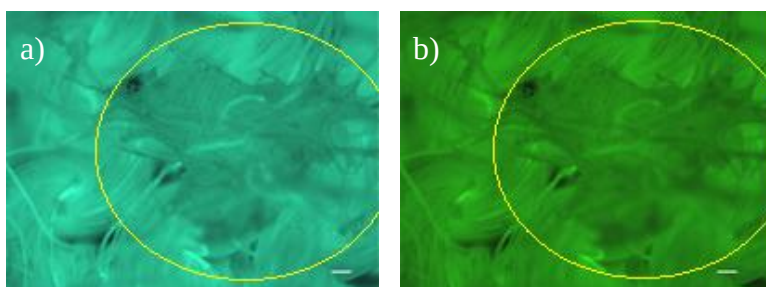


Figura 8.4: Malha *Jersey* de lã revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.

Na Figura 8.4 é possível ver as fibras “entrançadas”, característico das malhas de lã. Nesta malha, a nanocelulose encontra-se mais repartida pelas fibras do que na malha anterior. No entanto, observam-se zonas de aglomeração. É também visível na figura que a nanocelulose aparenta envolver as fibras.

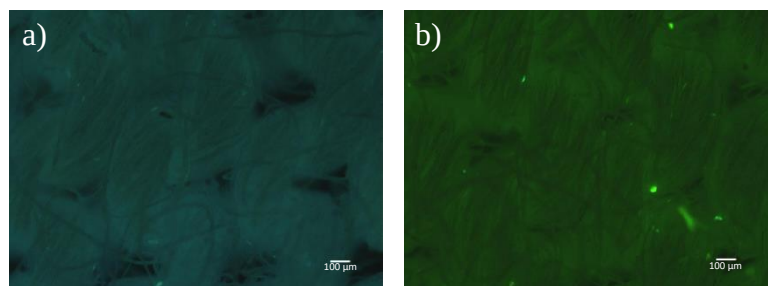


Figura 8.5: Malha *Jersey* de algodão revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.

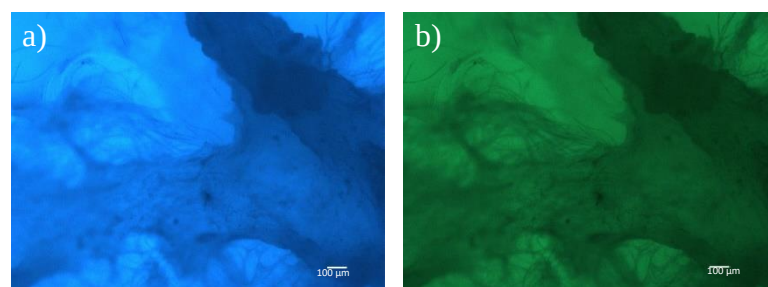


Figura 8.6: Malha Laminada revestida com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.

Conforme já foi acima referido, nas Figuras 8.5 e 8.6, as fibras têxteis e a nanocelulose estão em diferentes planos, não tendo sido possível obter uma imagem que captasse, em simultâneo, os diferentes planos. Na Figura 8.5 é possível apenas observar-se as fibras de algodão, enquanto na Figura 8.6 apenas se visualiza um grande aglomerado de nanocelulose. Desta forma, é difícil perceber a interação entre as fibras têxteis e as fibras de nanocelulose.

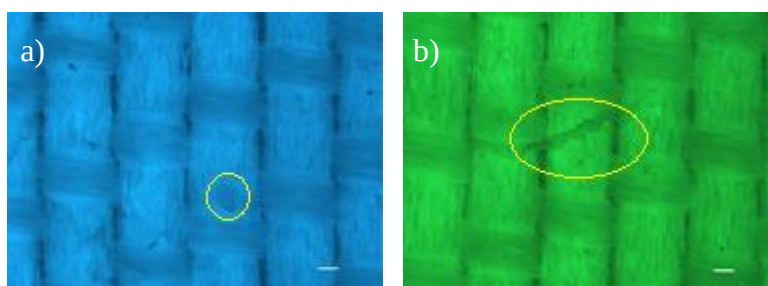


Figura 8.7: Tecido Tafetá revestido com NFC em polpa, a) utilizando fluorescência b) utilizando UV.

Na Figura 8.7 é observável a tecelagem lisa e plana, com aproximadamente o mesmo número de fios nas duas direções, característica do tecido tafetá, tal como mencionado na bibliografia. É ainda possível ver algumas zonas com nanocelulose, que se espalha através da “rede” fibrosa do tecido.

8.1.2.2. Análise por microscopia eletrônica de varrimento

As amostras têxteis sem revestimento e com revestimento das NFC em polpa, foram observadas no SEM. As imagens foram capturadas pela câmara digital acoplada ao microscópio e posteriormente transferidas para o analisador de imagens no computador.

As imagens seguintes são relativas aos materiais têxteis com revestimento das NFC em polpa. Diferenças significativas são observadas entre os diferentes materiais têxteis.

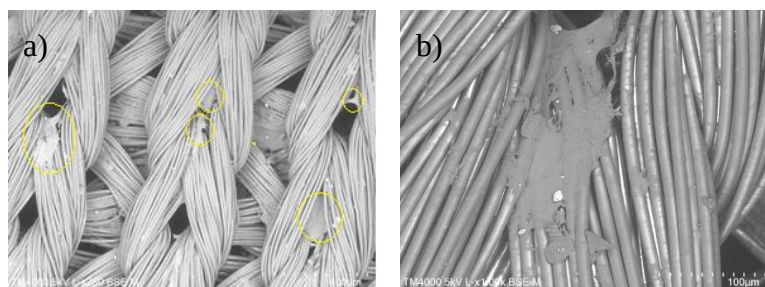


Figura 8.8: a) SEM da Malha de Teia b) SEM da nanocelulose da Malha de Teia.

Na Figura 8.8 conseguem observar-se as fibras “entrelaçadas”, características das malhas de teia e distinguir facilmente as fibras têxteis das fibras de nanocelulose, tal como na Figura 8.3. A nanocelulose aparenta alojar-se nas zonas dos nós, ou seja, nas nos poros da teia.

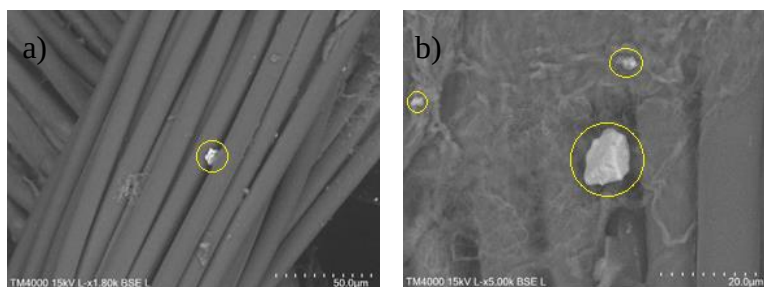


Figura 8.9: a) SEM das partículas da Malha de Teia b) SEM das partículas e nanocelulose da Malha de Teia.

Na Figura 8.9 é possível visualizar a existência de várias partículas junto à nanocelulose alojada nas fibras têxteis. A partícula de maior dimensão, com cerca de 8µm de diâmetro, foi identificada como sendo de cálcio de acordo com o espectro de espectroscopia por energia dispersiva (EDS) representado na Figura 8.10 e de acordo com a Figura 8.11 b).

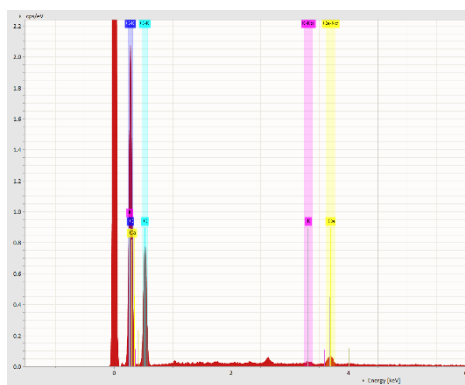


Figura 8.10: Espectro EDS referente à Malha de Teia.

No espectro EDS da Malha de Teia (Figura 8.10), é possível observar que esta é constituída por carbono, oxigénio e azoto. O carbono e o oxigénio são componentes químicos tanto da nanocelulose, como das fibras têxteis. O azoto pode ter surgido devido à combustão das parafinas, características dos têxteis de mudança de fase, que forma subprodutos como os óxidos de azoto (Silva, 2009).

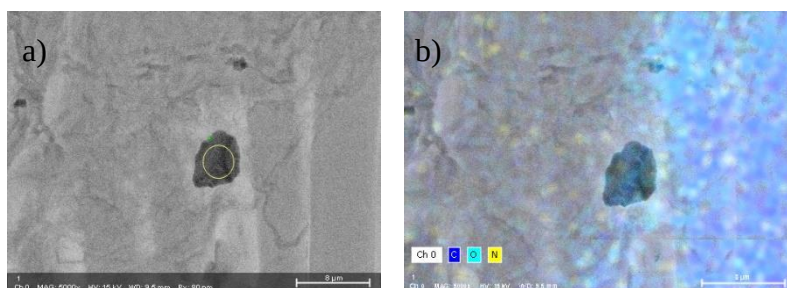


Figura 8.11: a) SEM da partícula da Malha de Teia b) SEM da partícula da Malha de Teia e respetiva composição.

A existência de partículas de cálcio, pode ser justificada, pois de acordo com Kürklü (1998), o cloreto de cálcio é um sal hidratado utilizado nos materiais de mudança de fase (Costa, 2014). E segundo estudos prévios, as fibras de celulose absorvem partículas de carbonato de cálcio (Costa, 2014).

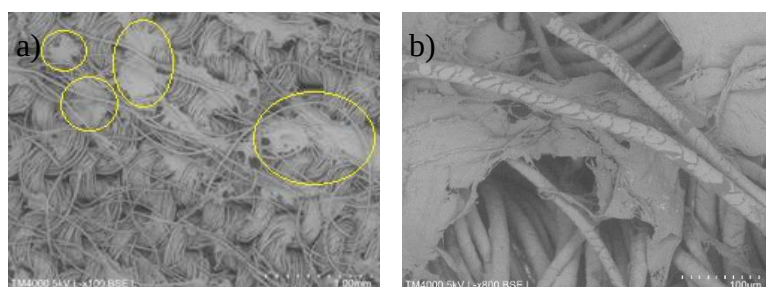


Figura 8.12: a) SEM da Malha Jersey de lã b) SEM, a maior ampliação, da Malha Jersey de lã.

Na Figura 8.12 é possível observar as fibras “entrançadas”, características da lã e distinguir facilmente as fibras têxteis das fibras de nanocelulose, tal como na Figura 8.4. A nanocelulose aparenta encontrar-se mais repartida pelas fibras têxteis, para além de as envolver de uma forma muito natural [Figura 8.13 a)].

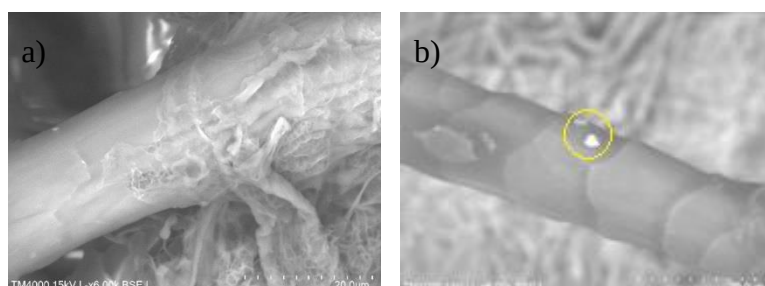


Figura 8.13: a) SEM da nanocelulose envolvendo a fibra de lã b) SEM de uma fibra da Malha *Jersey* de lã.

Na Malha *Jersey* de lã, pode-se detetar um número muito menor de partículas de cálcio [Figura 8.13 b)], isto sucederá possivelmente por ser uma fibra natural. Na Figura 8.13 b) pode ainda visualizar-se a cutícula (conjunto de células) da fibra de lã, que possui um aspeto escamoso quando observada ao microscópio. Estas células são responsáveis pela capacidade única da lã de feltrar (Amalia, 2011).

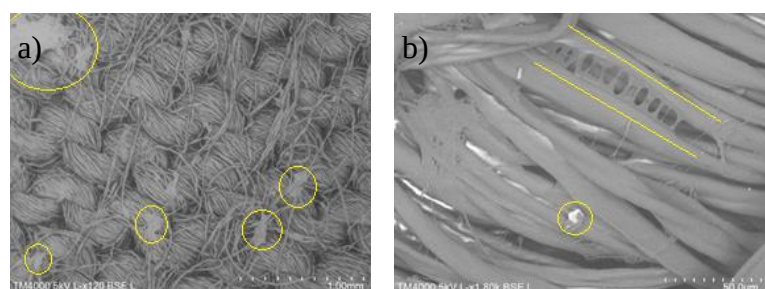


Figura 8.14: a) SEM da Malha *Jersey* de algodão b) SEM, a maior ampliação, da Malha *Jersey* de algodão.

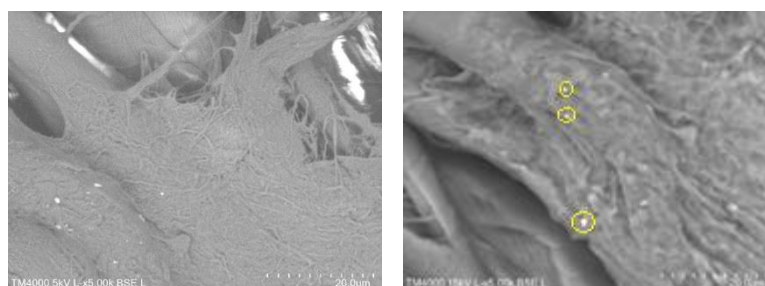


Figura 8.15: a) SEM da nanocelulose sobreposta às fibras de algodão b) SEM da nanocelulose envolvendo as fibras de algodão.

Na Figura 8.14 a) é possível observar o aspeto característico das fibras de algodão, que não foi possível observar-se na Figura 8.5. Na Figura 8.14 b) aparentemente surge uma compactação entre as fibras de lã por introdução das NFC em polpa.

Tal como sucedeu na malha anterior [Figura 8.13 a)], a nanocelulose envolveu visivelmente as fibras têxteis [Figura 8.15 b)]. Na Figura 8.15 b) é ainda perceptível que as fibras de nanocelulose têm a mesma orientação das fibras de algodão.

Na Malha *Jersey* de algodão, pode-se detetar um número menor de partículas de cálcio e mais dispersas [Figura 8.15 b)], comparativamente à Malha de Teia. Este fator assemelha-se ao da malha anterior, visto serem ambas fibras naturais e processadas da mesma forma (malha *jersey*).

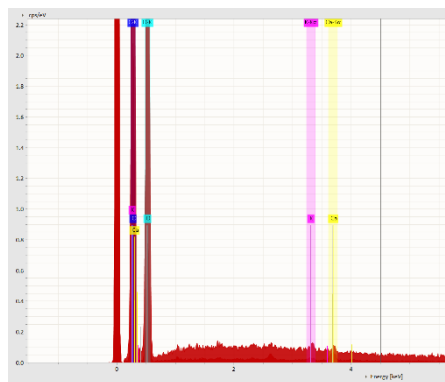


Figura 8.16: Espectro EDS referente à Malha *Jersey* de algodão.

No espectro EDS da Malha *Jersey* de algodão (Figura 8.16), detetou-se carbono, oxigénio e cálcio. O carbono e o oxigénio são componentes químicos tanto da nanocelulose, como das fibras têxteis. O cálcio é relativo às partículas dos materiais de mudança de fase, mas aparecendo em baixa quantidade devido ao facto de estarmos na presença de um material natural (algodão).

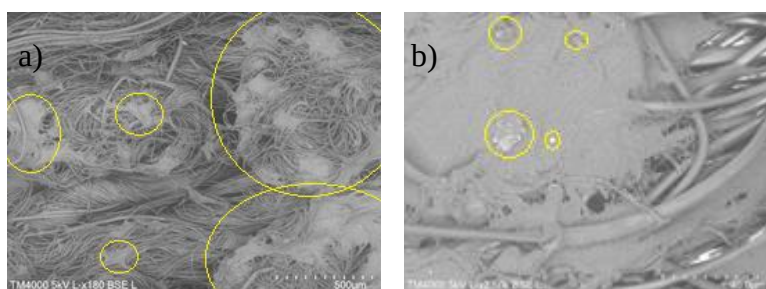


Figura 8.17: a) SEM da Malha Laminada b) SEM, a maior ampliação, da Malha Laminada.

Na Figura 8.17 a) é possível observar o aspeto “emaranhado” da Malha Laminada, que não foi possível analisar na Figura 8.6. Tal como na Malha de Teia [Figura 8.8 a)], a nanocelulose aparenta alojar-se nas zonas ocas [Figura 8.17 a)].

Na Figura 8.17 b) a nanocelulose parece só envolver-se na camada superior da malha (fibras de algodão), não conseguindo penetrar para a camada inferior (fibras de poliéster).

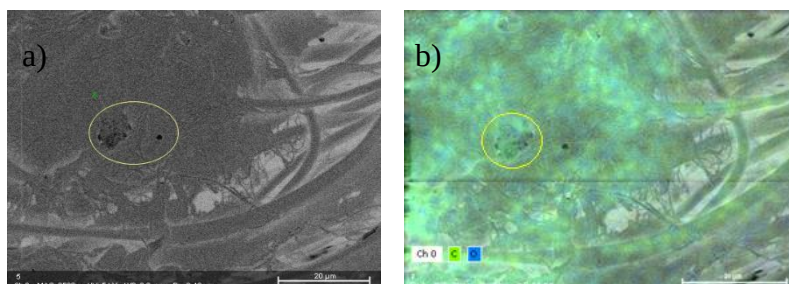


Figura 8.18: a) SEM da partícula da Malha Laminada b) SEM da partícula da Malha Laminada e respetiva composição.

Na Figura 8.18 é possível visualizar a existência de várias partículas junto à nanocelulose alojada nas fibras têxteis. Para além de haver um maior número de partículas de cálcio [Figura 8.17 b)], relativamente às malhas de origem natural, estas também apresentam maiores dimensões (Figura 8.18).

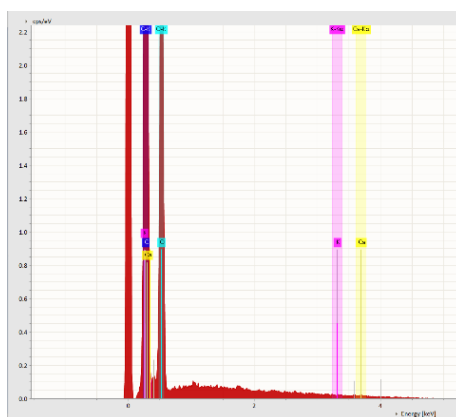


Figura 8.19: Espectro EDS referente à Malha Laminada.

No espectro EDS da Malha Laminada (Figura 8.19), deteta-se carbono, oxigénio e cálcio. O carbono e o oxigénio são componentes químicos tanto da nanocelulose, como das fibras têxteis. O cálcio é relativo às partículas dos materiais de mudança de fase, mas agora aparecendo em maior quantidade devido ao facto da malha ser constituída por um material sintético (poliéster).

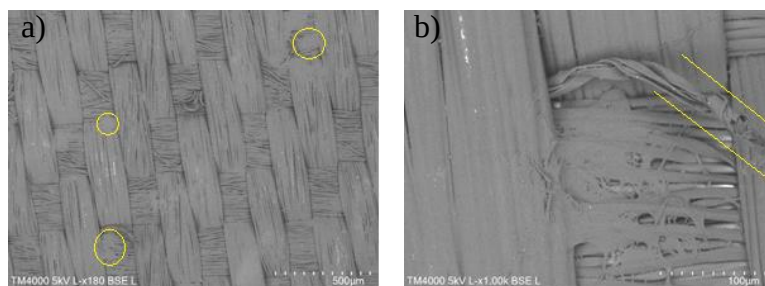


Figura 8.20: a) SEM do Tecido Tafetá b) SEM, a maior ampliação do Tecido Tafetá.

Tal como na Malha de Teia [Figura 8.8 a)] e na Malha Laminada [Figura 8.17 a)], a nanocelulose aparenta alojar-se nas zonas ocas [Figura 8.20 a)], sugerindo ser um comportamento comum da nanocelulose em contacto com fibras de poliéster.

Na Figura 8.20 b) é possível verificar-se a rotura de uma fibra do Tecido Tafetá.

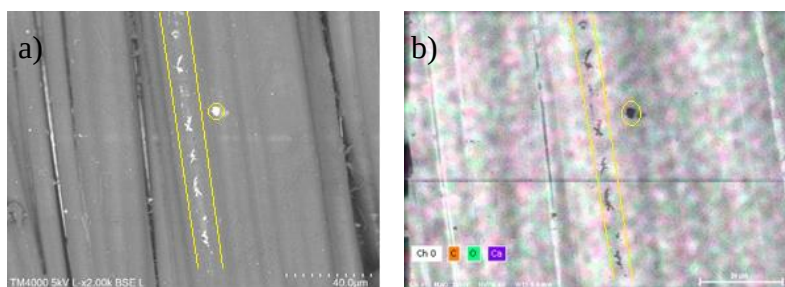


Figura 8.21: a) SEM da partícula do Tecido Tafetá b) SEM da partícula do Tecido Tafetá e respetiva composição.

Na Figura 8.21 consegue-se ver a existência de várias partículas de cálcio com a mesma orientação da fibra de poliéster. Apesar de haver um elevado número de partículas de cálcio, estas apresentam menores dimensões comparativamente às partículas dos outros têxteis sintéticos (Figuras 8.11 e 8.18).

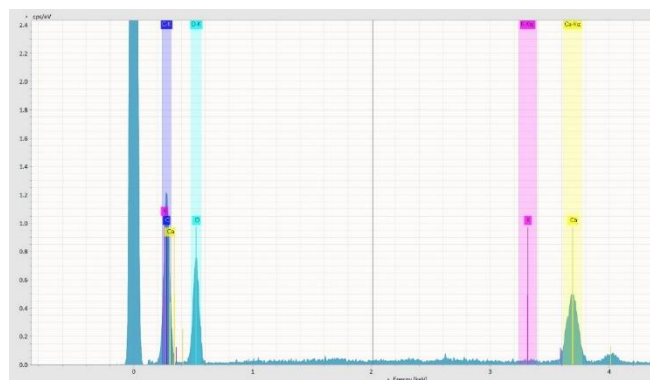


Figura 8.22: Espectro EDS referente ao Tecido Tafetá.

No espectro EDS do Tecido Tafetá (Figura 8.22), deteta-se carbono, oxigénio e cálcio, novamente. O carbono e o oxigénio são componentes químicos tanto da nanocelulose, como das fibras têxteis. O cálcio provém das partículas dos materiais de mudança de fase, aparecendo em elevada quantidade, visto ser um tecido sintético (poliéster).

8.1.2.3. Ensaio mecânicos quanto à resistência à tração

Quando uma carga é aplicada a um sólido, resulta uma deformação neste. A deformação é elástica se é completamente eliminada, quando a carga é removida. Se a deformação é permanente denomina-se plástica.

A tensão é a força/unidade de área ($\sigma = \frac{F}{A}$ Equação 4) e a extensão é o alongamento/unidade de comprimento ($\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ Equação 5). As tensões e as deformações elásticas são proporcionais e estão relacionadas com o módulo de elasticidade ou módulo de Young (E) pela Lei de Hooke ($\sigma = E\varepsilon$ Equação 6). Está implícito nesta equação que as tensões e as extensões são axiais. Note-se que na lei de Hooke, uma relação linear entre as tensões e as deformações, o módulo de Young representa o declive dessa reta.

Relativamente às malhas em estudo, não foi possível realizar os ensaios mecânicos quanto à resistência à tração, na UTAD, pois não possuíam o equipamento adequado para o amarramento das malhas. Por parte do CITEVE não foi possível efetuá-los, devido ao revestimento das NFC em polpa.

As figuras seguintes são relativas ao Tecido Tafetá com revestimento das NFC em polpa. Em todos os gráficos Tensão/Deformação é visível não existir dispersão significativa dos resultados. O andamento das curvas também se apresenta semelhante em todos os ensaios.

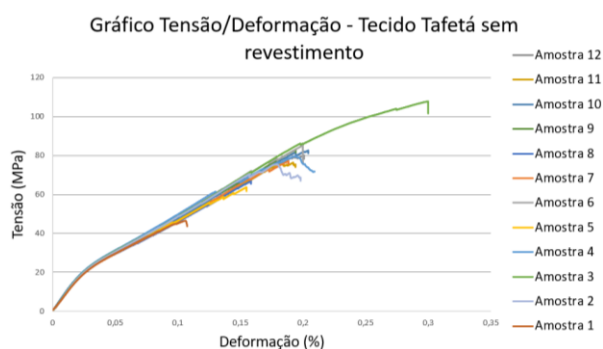


Figura 8.23: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá sem revestimento.

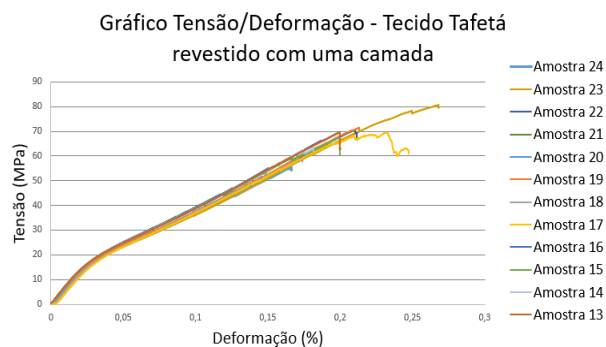


Figura 8.24: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá revestido com uma camada de NFC em polpa.

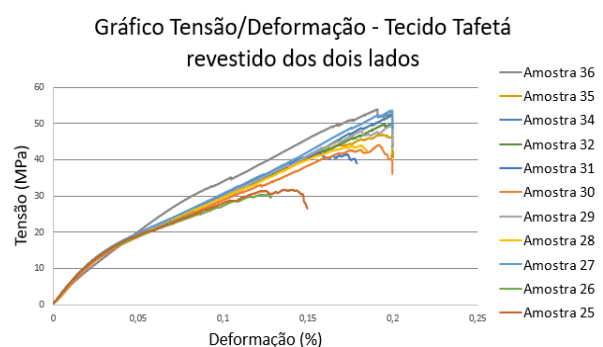


Figura 8.25: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá revestido em cada um dos lados com uma camada de NFC em polpa.

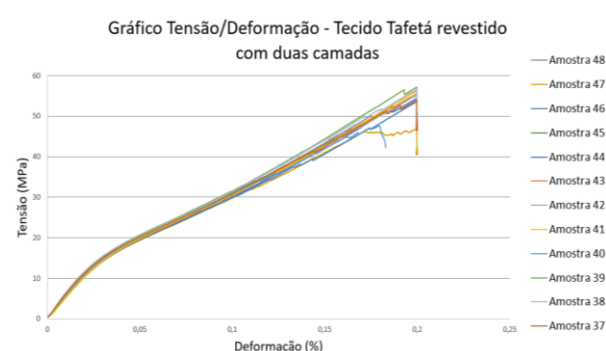


Figura 8.26: Gráfico Tensão/Deformação das amostras obtidas do Tecido Tafetá revestido com duas camadas de NFC em polpa no mesmo lado.

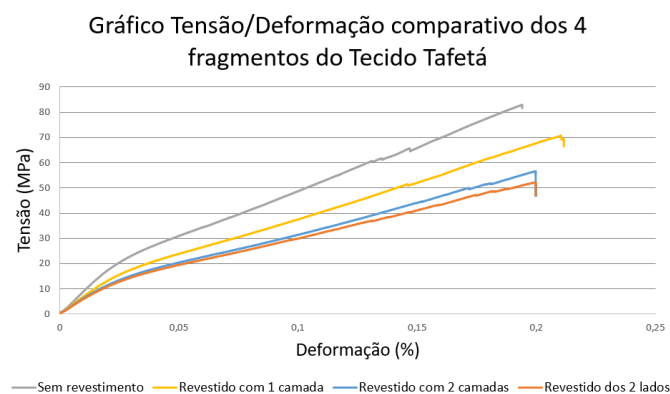


Figura 8.27: Gráfico Tensão/Deformação comparativo dos quatro fragmentos do Tecido Tafetá.

Como se pode observar na Figura 8.27, o comportamento é elástico em todas as amostras analisadas do Tecido Tafetá, não chegando à zona plástica. Comparando as amostras, não existem diferenças muito significativas, apesar da amostra sem revestimento das NFC em polpa apresentar valores de tensão superiores às outras ($\approx 81,50$ MPa), para o

mesmo valor de deformação elástica ($\approx 0,19\%$). Seguida das amostras revestidas com uma camada ($\approx 64,61$ MPa) e das amostras revestidas com duas camadas ($\approx 53,98$ MPa), todas revestidas do mesmo lado. Por último, com o menor valor de tensão ($\approx 49,97$ MPa), para o mesmo valor de deformação ($\approx 0,19\%$), encontram-se as amostras revestidas de ambos os lados.

As figuras seguintes são também referentes ao Tecido Tafetá com revestimento das NFC em polpa. Em todos os gráficos de barras podem-se observar os valores médios para cada tipo de amostra, juntamente com as barras de erro que indicam o erro estimado numa medição, isto é, indicam a incerteza de um valor.

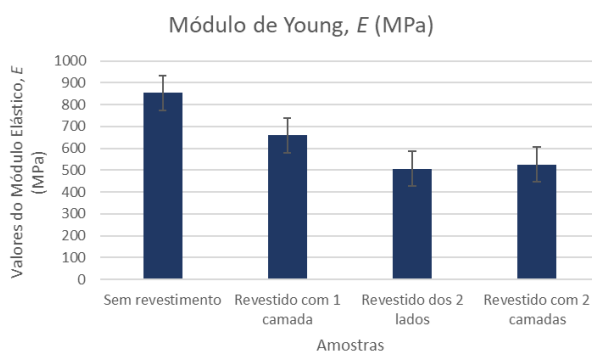


Figura 8.28: Gráfico de barras com os valores médios do módulo de Young das amostras de Tecido Tafetá.

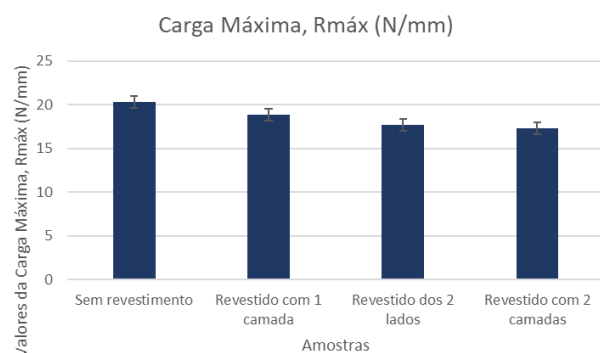


Figura 8.29: Gráfico de barras com os valores médios de carga máxima das amostras de Tecido Tafetá

Na Figura 8.28, referente aos valores médios do módulo de Young das amostras de Tecido Tafetá, verificou-se que as amostras revestidas com as NFC em polpa têm um valor médio de E inferior ao das amostras sem revestimento ($\approx 853,51$ MPa). Seguida das amostras revestidas com uma camada ($\approx 659,88$ MPa) e das amostras revestidas com duas camadas ($\approx 525,26$ MPa), todas revestidas do mesmo lado. Sendo o valor mais baixo ($\approx 506,32$ MPa) das amostras revestidas de ambos os lados. A ordem destes valores segue a ordem dos valores do gráfico da Figura 8.27, visto o módulo de Young ser diretamente proporcional à tensão e à deformação elástica pela Lei de Hooke.

Na Figura 8.29, relativa aos valores médios de carga máxima das amostras de Tecido Tafetá, verificou-se que as amostras revestidas com as NFC em polpa têm um valor médio de $R_{máx}$ inferior ao das amostras sem revestimento ($\approx 20,30$ N/mm). Seguida das amostras revestidas com uma camada ($\approx 18,83$ N/mm) e das amostras revestidas de ambos os lados ($\approx 17,65$ N/mm). Sendo o valor mais baixo ($\approx 17,30$ N/mm) da amostra revestida com duas camadas de NFC em polpa, do mesmo lado.

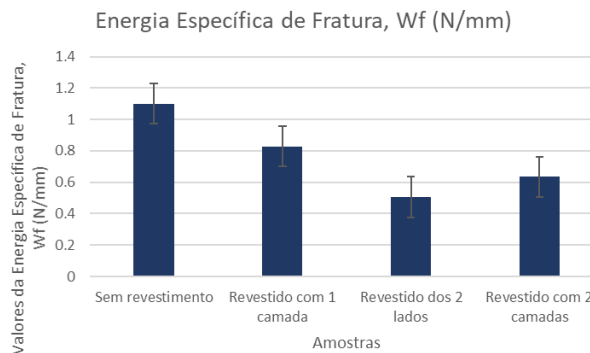


Figura 8.30: Gráfico de barras com os valores médios da energia específica de fratura das amostras de Tecido Tafetá.

Os valores de energia específica de fratura, W_f (N/mm) utilizados para cálculo da média da Figura 8.30, correspondem à carga máxima, $R_{máx}$, de cada amostra. A ordem destes valores segue a ordem dos valores do gráfico da Figura 8.28.

Na Figura 8.30, referente aos valores médios de W_f das amostras de Tecido Tafetá, verificou-se que as amostras revestidas com as NFC em polpa têm um valor médio inferior ao das amostras sem revestimento ($\approx 1,10$ N/mm). Seguida das amostras revestidas com uma camada ($\approx 0,83$ N/mm) e das amostras revestidas com duas camadas ($\approx 0,63$ N/mm), todas revestidas do mesmo lado. Sendo o valor mais baixo ($\approx 0,51$ N/mm) da amostra revestida em ambos os lados.

8.1.2.4. Estimativas dos valores da densidade

Para o cálculo dos valores da densidade, em forma de estimativa, utilizaram-se os dados relativos à média das massas das amostras, bem como as suas dimensões. Os resultados obtidos para a densidade, bem como dados referidos são apresentados nas seguintes tabelas.

Tabela 8.1: Dimensões e massa das amostras da Malha de Teia, bem como volume e densidade calculados.

Amostra	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura média (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Sem revestimento	7,5	2,5	0,365	6,844	0,217	0,032
Revestido com 1 camada	7,5	2,5	0,383	7,173	0,222	0,031
Revestidos dos 2 lados	7,5	2,5	0,402	7,538	0,218	0,029
Revestido com 2 camadas	7,5	2,5	0,439	8,227	0,216	0,026

Na Malha de Teia verificou-se que a introdução da nanocelulose no material têxtil em qualquer das formas, não fez alterar significativamente o valor da densidade (Tabela 8.1). Isto

terá sucedido, por não haver ligação das NFC às fibras de poliéster da malha, tal como observado no SEM [Figura 8.8 a)].

Tabela 8.2: Dimensões e massa das amostras da Malha *Jersey* (100% lã), bem como volume e densidade calculados.

Amostra	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura média (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Sem revestimento	7,5	2,5	0,412	7,719	0,217	0,028
Revestido com 1 camada	7,5	2,5	0,460	8,633	0,222	0,026
Revestidos dos 2 lados	7,5	2,5	0,535	10,029	0,218	0,022
Revestido com 2 camadas	7,5	2,5	0,620	11,619	0,216	0,019

Na Malha *Jersey* de lã averiguou-se que o valor da densidade obtido para as amostras sem revestimento de NFC em polpa é o mais elevado (0,028 g/cm³), em comparação aos restantes. A seguir, as amostras da Malha *Jersey* de lã que apresentaram maior densidade foram as amostras revestidas com apenas uma camada de NFC em polpa (0,026 g/cm³), seguidas das amostras revestidas de ambos os lados (0,022 g/cm³). As amostras revestidas com duas camadas de NFC na frente da malha, evidenciam o menor valor de densidade (0,019 g/cm³) (Figura 8.31).

Estes valores poderão ser devido à envolvimento das fibras de lã, pela nanocelulose. Visto no SEM que há ligação entre estas fibras têxteis e a nanocelulose [Figura 8.13 a)], causando a diminuição da sua densidade.

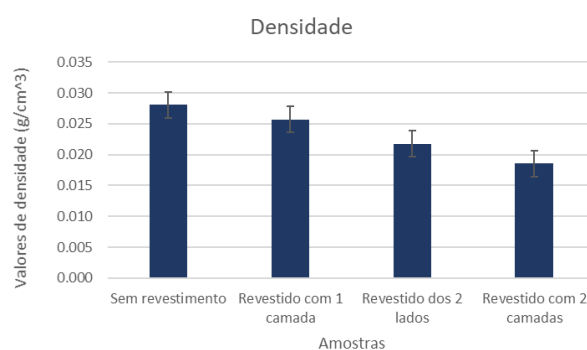


Figura 8.31: Valores de densidade (g/cm³) das amostras da Malha *Jersey* com 100% de lã.

Tabela 8.3: Dimensões e massa das amostras da Malha *Jersey* (100% algodão), bem como volume e densidade calculados.

Amostra	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura média (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Sem revestimento	7,5	2,5	0,439	8,231	0,217	0,026
Revestido com 1 camada	7,5	2,5	0,553	10,369	0,222	0,021
Revestidos dos 2 lados	7,5	2,5	0,505	9,467	0,218	0,023
Revestido com 2 camadas	7,5	2,5	0,491	9,215	0,216	0,023

Na Malha *Jersey* de algodão observou-se que a introdução da nanocelulose no material têxtil em qualquer das formas, não fez alterar significativamente o valor da densidade (Tabela 8.3). Isto possivelmente sucedeu, por haver ligação das NFC às fibras de algodão da malha, inclusive parece ter havido uma compactação das fibras têxteis através da nanocelulose, tal como observado no SEM [Figura 8.14 b)].

Tabela 8.4: Dimensões e massa das amostras da Malha Laminada, bem como volume e densidade calculados.

Amostra	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura média (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Sem revestimento	7,5	2,5	0,899	16,863	0,217	0,013
Revestido com 1 camada	7,5	2,5	1,028	19,279	0,222	0,012
Revestidos dos 2 lados	7,5	2,5	1,149	21,535	0,218	0,010
Revestido com 2 camadas	7,5	2,5	1,161	21,765	0,216	0,010

Na Malha Laminada verificou-se que qualquer revestimento com as NFC em polpa, não fez alterar significativamente o valor da densidade (Tabela 8.4). Tal como sucedido na Malha de Teia, aparentemente não houve ligação das NFC às fibras de poliéster da malha, tal como observado no SEM [Figura 8.17 b)].

Tabela 8.5: Dimensões e massa das amostras do Tecido Tafetá, bem como volume e densidade calculados.

Amostra	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura média (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Sem revestimento	7,5	2,5	0,0159	0,2973	0,2170	0,7299
Revestido com 1 camada	7,5	2,5	0,0190	0,3567	0,2220	0,6224
Revestidos dos 2 lados	7,5	2,5	0,0233	0,4360	0,2180	0,5000
Revestido com 2 camadas	7,5	2,5	0,0220	0,4117	0,2160	0,5247

O valor da densidade obtido para as amostras do tecido sem revestimento é o mais elevado (0,7299 g/cm³) em comparação aos restantes, demonstrando também uma maior densidade nos tecidos do que nas malhas. De seguida, as amostras que revelaram maior densidade foram as revestidas com apenas uma camada de NFC em polpa (0,6224 g/cm³), seguidas das amostras revestidas com duas camadas na frente do tecido (0,5247 g/cm³). As amostras revestidas de ambos os lados evidenciam o menor valor de densidade (0,5000 g/cm³) (Figura 8.32). Tal, poderá significar que o revestimento da malha alterou a organização e agregação das fibras do tecido, causando a diminuição da sua densidade. Pois, tal como observado no SEM [Figura 8.20 b)], a nanocelulose causou quebra das fibras de poliéster.

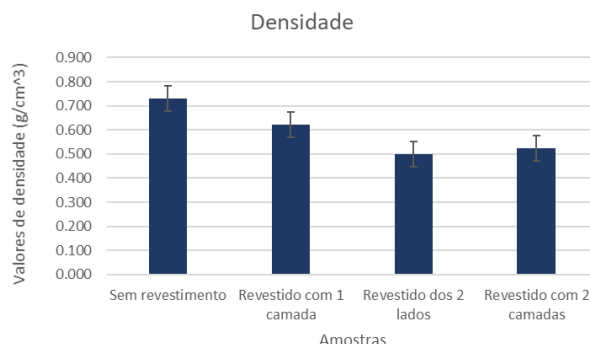


Figura 8.32: Valores de densidade (g/cm³) das amostras de Tefido Tafetá.

8.1.2.5. Capacidade de absorção de água

A absorção de água pode ocorrer pelos materiais em termos de “água absorvida”, ou seja, a quantidade de água absorvida do meio. Considerando as estruturas têxteis, a absorção de água é um dos mecanismos mais importantes que ocorrem durante a interação do fio com a água. Moléculas de água difundem-se nas regiões amorfas da matriz de fios e quebram ligações de hidrogénio intermoleculares. Isso permite um aumento na distância intermolecular das cadeias, o que causa inchaço.

Como visível nas figuras seguintes com os gráficos relativos à capacidade de absorção de água de cada um dos materiais têxteis estudados, nos primeiros 15 minutos (0,017 horas) ocorre elevada absorção de água por parte de todos os têxteis.

Para as malhas em estudo, sucede um decréscimo da capacidade de absorção de água, após 12 horas de imersão das mesmas (Figuras 8.33, 8.34, 8.35 e 8.36). Para o único tecido em estudo, a descida do poder de absorção de água ocorre após 4 horas de imersão (Figura 8.37), possivelmente será nesta altura que se dá a quebra das fibras PET.

Na Figura 8.35, verifica-se que a Malha *Jersey* de algodão, após uma capacidade de absorção acentuada durante os primeiros 15 minutos de absorção, atinge o ponto de saturação, mantendo o valor constante durante todo o ensaio (há uma descida pouco significativa às 12 horas de imersão, como já mencionado). O mesmo não acontece às restantes malhas, que vão tendo um decréscimo mais ou menos constante, depois do pico de absorção de água, ao fim de 15 minutos de imersão.

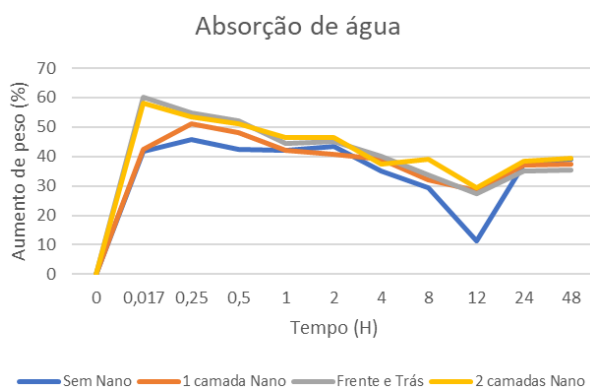


Figura 8.33: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha de Teia.

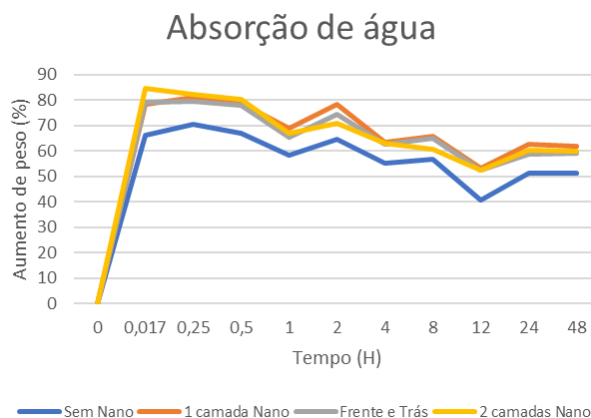


Figura 8.34: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha Jersey de lã.

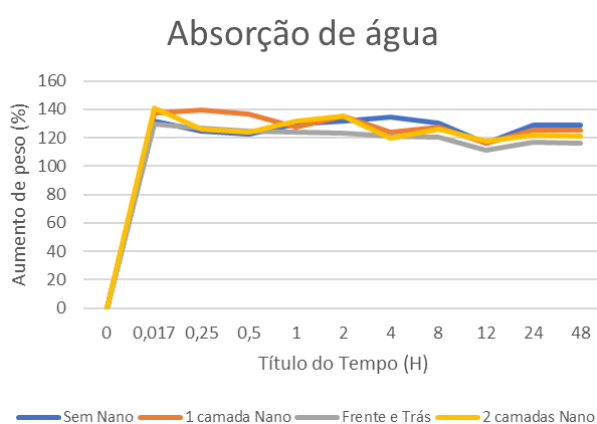


Figura 8.35: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha Jersey de algodão.

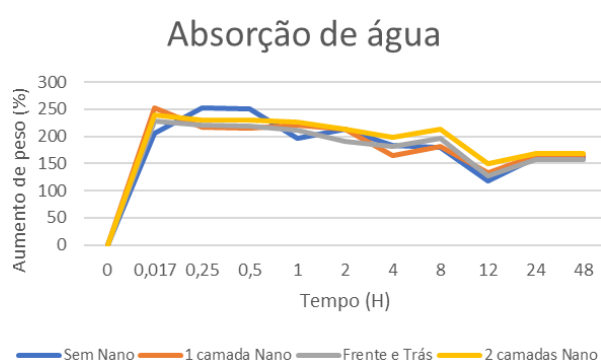


Figura 8.36: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras da Malha Laminada.

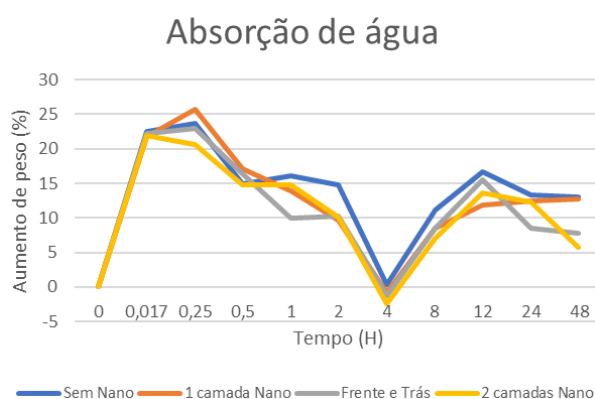


Figura 8.37: Capacidade de absorção de água medida durante 48 horas das amostras do Tecido Tafetá.

Na Figura 8.37, constata-se que o Tecido Tafetá, após a quebra na sua capacidade de absorção, volta a aumentar os seus valores até às 12 horas de imersão e depois volta a ter uma

diminuição relativamente constante até às 48 horas de imersão. Segundo Brancato (2008), este aumento e posterior redução na retenção de água, está relacionada com o aumento dos níveis de hornificação (maior cristalinidade e menor número de poros na parede celular) (Potulski, 2016; Robusti et al., 2014).

Os resultados da capacidade de absorção de água também mostraram, que alguma matéria solúvel foi perdida durante o tempo de imersão. Em geral, a matéria solúvel perdida foi maior para a Malha Laminada.

Tabela 8.6: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha de Teia.

Amostra	Média matéria solúvel perdida (%)	Desvio-padrão (%)	Erro padrão (%)
Sem revestimento	-0,981	1,149	0,663
Revestido com uma camada	0,129	0,936	0,540
Revestido dos dois lados	3,534	1,412	0,815
Revestido com duas camadas	1,656	0,839	0,484

Em relação à Malha de Teia, não houve matéria solúvel perdida para as amostras sem revestimento. Para as amostras revestidas com uma camada de NFC em polpa, a matéria solúvel perdida foi $\approx 0,129 \pm 0,540\%$ e para as amostras revestidas com duas camadas, a matéria solúvel perdida foi $\approx 1,656 \pm 0,484\%$. As amostras com maior perda de matéria solúvel foram as revestidas com NFC em polpa em ambos os lados ($\approx 3,534 \pm 0,815\%$). Estes resultados demonstram que a adição de nanocelulose à malha, levou a uma perda de massa solúvel.

Tabela 8.7: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de lã.

Amostra	Média matéria solúvel perdida (%)	Desvio-padrão (%)	Erro padrão (%)
Sem revestimento	0,820	6,565	3,790
Revestido com uma camada	-0,766	1,944	1,123
Revestido dos dois lados	-0,246	0,470	0,272
Revestido com duas camadas	-0,776	1,041	0,601

Relativamente à Malha Jersey de lã, houve uma perda de $\approx 0,820 \pm 3,790\%$, de matéria solúvel para as amostras sem revestimento. Para as amostras revestidas com NFC em polpa, não houve matéria solúvel perdida. Estes resultados mostram que a adição de nanocelulose à malha, impede a perda de massa solúvel.

Tabela 8.8: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de algodão.

Amostra	Média matéria solúvel perdida (%)	Desvio-padrão (%)	Erro padrão (%)
Sem revestimento	-7,842	7,580	4,376
Revestido com uma camada	-2,441	0,254	0,147
Revestido dos dois lados	-0,009	1,321	0,763
Revestido com duas camadas	-1,226	1,063	0,614

Quanto à Malha Jersey de algodão, não houve perda de matéria solúvel para nenhuma das amostras.

Tabela 8.9: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras da Malha Laminada.

Amostra	Média matéria solúvel perdida (%)	Desvio-padrão (%)	Erro padrão (%)
Sem revestimento	0,712	1,061	0,613
Revestido com uma camada	2,502	1,511	0,873
Revestido dos dois lados	5,079	3,633	2,097
Revestido com duas camadas	4,658	0,773	0,447

Em relação à Malha Laminada, teve matéria solúvel perdida para todo o tipo de amostras. As amostras sem revestimento sofreram a menor perda de matéria solúvel ($\approx 0,712 \pm 0,613\%$). Para as amostras revestidas com uma camada de NFC em polpa, a matéria solúvel perdida foi $\approx 2,502 \pm 0,873\%$ e para as amostras revestidas com duas camadas, $\approx 4,658 \pm 0,447\%$. As amostras com maior perda de matéria solúvel foram as revestidas com NFC em polpa em ambos os lados ($\approx 5,079 \pm 2,097\%$). Estes resultados demonstram que a adição de nanocelulose à malha, levou a uma perda de massa solúvel.

Tabela 8.10: Percentagem de matéria solúvel perdida durante o tempo de imersão, dos quatro tipos de amostras do Tecido Tafetá.

Amostra	Média matéria solúvel perdida (%)	Desvio-padrão (%)	Erro padrão (%)
Sem revestimento	-1,515	3,442	1,987
Revestido com uma camada	1,518	1,362	0,786
Revestido dos dois lados	0,295	1,383	0,799
Revestido com duas camadas	-1,780	3,897	2,250

As amostras de Tecido Tafetá sem revestimento e revestidas com duas camadas na mesma face, não sofreram perda de matéria solúvel. As amostras de tecido revestidas em ambas as faces tiveram $\approx 0,295 \pm 0,799\%$, de matéria solúvel perdida. Por fim, as amostras

revestidas com uma camada de NFC em polpa, perderam a maior percentagem de matéria solúvel, $\approx 1,518 \pm 0,786\%$.

Enquanto nos materiais têxteis, a adição de nanocelulose levou à diminuição do valor de densidade, no papel essa adição aumenta os valores da densidade. Pois a junção de NFC ao papel, proporcionou a redução da espessura. Isto sucede, devido à afinidade entre as fibras do papel e as NFC, visto que o papel é constituído por elementos fibrosos de origem vegetal, incluindo a celulose (Potulski, 2016).

8.1.3. Discussão final

Na discussão final pretende-se realizar uma comparação entre os valores obtidos dos ensaios realizados de cada material têxtil. As tabelas seguintes apresentam os resultados obtidos em relação aos parâmetros para caracterização dos têxteis revestidos com NFC em polpa testados.

Tabela 8.11: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha de Teia.

Malha de Teia	Amostras sem revestimento	Amostras revestidas com uma camada	Amostras revestidas dos dois lados	Amostras revestidas com duas camadas
Microscopia	–	Não houve ligação entre as NFC e as fibras PET.		
E (MPa)			–	
R _{máx} (N/mm)			–	
W _f (N/mm)			–	
Densidade (g/cm ³)	0,032	0,031	0,029	0,026
Absorção de água - aumento de peso após 48H de imersão (%)	39,00	37,51	35,30	39,54
Matéria solúvel perdida (%)	Não houve.	0,129	3,534	1,656

Tabela 8.12: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de lã.

Malha Jersey de lã	Amostras sem revestimento	Amostras revestidas com uma camada	Amostras revestidas dos dois lados	Amostras revestidas com duas camadas
Microscopia	—	Ligação entre as NFC e as fibras de lã.		
E (MPa)			—	
R _{máx} (N/mm)			—	
W _f (N/mm)			—	
Densidade (g/cm ³)	0,028	0,026	0,022	0,019
Absorção de água - aumento de peso após 48H de imersão (%)	51,41	61,98	58,93	59,84
Matéria solúvel perdida (%)	0,820	Não houve.	Não houve.	Não houve.

Tabela 8.13: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha Jersey de algodão.

Malha Jersey de algodão	Amostras sem revestimento	Amostras revestidas com uma camada	Amostras revestidas dos dois lados	Amostras revestidas com duas camadas
Microscopia	—	Ligação entre as NFC e as fibras de algodão. As NFC seguiram a orientação das fibras de algodão.		
E (MPa)			—	
R _{máx} (N/mm)			—	
W _f (N/mm)			—	
Densidade (g/cm ³)	0,026	0,021	0,023	0,023
Absorção de água - aumento de peso após 48H de imersão (%)	129,03	125,26	116,50	121,20
Matéria solúvel perdida (%)	Não houve.	Não houve.	Não houve.	Não houve.

Tabela 8.14: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras da Malha Laminada.

Malha Laminada	Amostras sem revestimento	Amostras revestidas com uma camada	Amostras revestidas dos dois lados	Amostras revestidas com duas camadas
Microscopia	—	Não houve ligação entre as NFC e as fibras PET.		
E (MPa)			—	
R _{máx} (N/mm)			—	
W _f (N/mm)			—	
Densidade (g/cm ³)	0,013	0,012	0,010	0,010
Absorção de água - aumento de peso após 48H de imersão (%)	161,61	165,23	156,62	169,01
Matéria solúvel perdida (%)	0,712	2,502	5,079	4,658

Tabela 8.15: Tabela comparativa das diferentes propriedades em relação aos quatro tipos de amostras do Tecido Tafetá.

Tecido Tafetá	Amostras sem revestimento	Amostras revestidas com uma camada	Amostras revestidas dos dois lados	Amostras revestidas com duas camadas
Microscopia	–	As NFC quebraram as fibras PET.		
E (MPa)	853,51	659,88	506,32	525,26
R _{máx} (N/mm)	20,30	18,83	17,65	17,30
W _f (N/mm)	1,10	0,83	0,51	0,63
Densidade (g/cm ³)	0,7299	0,6224	0,5000	0,5247
Absorção de água - aumento de peso após 48H de imersão (%)	12,98	12,75	7,81	5,70
Matéria solúvel perdida (%)	Não houve.	1,518	0,295	Não houve.

Iniciando a discussão final pela escolha dos tecidos mais adequados ao protótipo do EPI, podemos observar que na zona exterior, na faixa elástica de compressão, deve possuir características de um material semirrígido e elástico.

Uma vez que só foi possível obter valores do módulo de Young para o Tecido Tafetá e, dado que ocorreu um decréscimo desses valores na ordem dos 30%, com a aplicação do revestimento, significando que o material perdeu rigidez, logo adquiriu elasticidade tal como pretendido. Desta forma, o Tecido Tafetá aparenta ser o material mais adequado para a faixa elástica de compressão do protótipo. Os baixos valores de capacidade de absorção de água e densidade do tecido, vêm reforçar esta escolha, visto que assim adquirimos um material mais leve, antitranspirante e respirável.

Quanto às várias opções de revestimento testadas, uma vez que não houve perda de matéria solúvel nas amostras revestidas com duas camadas de NFC em polpa na mesma face, este seria o procedimento mais adequado ao Tecido Tafetá para a faixa do EPI.

Caso tivesse sido possível obter valores das propriedades mecânicas para as malhas têxteis, a seleção para a região exterior do protótipo poderia ser diferente.

Independentemente de este ser o material escolhido para a faixa elástica de compressão, não se deve esquecer que a nanocelulose provocou a quebra das fibras do tecido, provavelmente devido ao carácter hidrofóbico do poliéster que repele as NFC.

Considerando agora a parte interior do protótipo, as bandas de suporte com regulação térmica, e observando os valores obtidos para as malhas têxteis estudadas, verificamos que na Malha *Jersey* de algodão ocorre uma boa ligação entre as NFC e as fibras de algodão, tendo a nanocelulose seguido a orientação das fibras têxteis [Figura 8.15 b)]. Também o facto de não

ter havido alteração significativa da densidade desta malha, nem perda de matéria solúvel, faz com que esta seja uma preferência para o EPI.

Apesar da Malha *Jersey* de lã, ter propriedades semelhantes à malha de algodão, pois são ambas materiais têxteis com fibras naturais, os valores de capacidade de absorção de água são muito inferiores aos da Malha *Jersey* de algodão ($\approx 58\%$ e $\approx 123\%$, respetivamente).

O facto de o algodão têxtil ser hidrofílico (grande capacidade de absorção de água), logo transpirante, é um fator positivo para o protótipo, fazendo com que a opção da Malha *Jersey* de algodão seja a mais adequada.

Relativamente ao processo de revestimento da Malha *Jersey* de algodão, e dado que todas as outras propriedades são muito similares, a escolha recai sobre o revestimento com apenas uma camada de NFC em polpa, uma vez que este processo é o que apresenta maior capacidade de absorção de água e que mantém valores de saturação mais estáveis, como se pode verificar pela Figura 8.35.

Relativamente aos acabamentos de materiais têxteis, três requisitos comuns são fundamentais. Em primeiro lugar, o acabamento não deve ser prejudicial ao meio ambiente durante a sua produção e uso (Babu & Ravindra, 2015), Em segundo, o acabamento deve ser eficaz e permanente e em terceiro lugar, o acabamento não deve ser prejudicial ao utilizador (Babu & Ravindra, 2015). Agentes naturais, como a nanocelulose são utilizados para conferir um acabamento antimicrobiano aos materiais têxteis (Babu & Ravindra, 2015).

O EPI para a prevenção da lombalgia encontra-se em processo de confidencialidade / elaboração, não sendo ainda possível a observação do mesmo. No entanto, já se estabeleceram acordos com duas empresas, uma para construir o equipamento (camisola) e outra para o comercializar.

9. CONCLUSÃO

9.1. Conclusões gerais

Apresentam-se, de seguida, as principais conclusões obtidas do presente trabalho:

- Foi possível realizar-se o reforço de materiais têxteis de mudança de fase com NFC em polpa;
- O processo utilizado para o revestimento dos materiais têxteis com NFC em polpa foi o recalque, tendo ficado demonstrado que este não será o processo mais adequado;
- Não foi exequível a obtenção das propriedades mecânicas das malhas têxteis em estudo, devido à dificuldade de amarração na máquina de ensaios de tração usada;
- Conseguiram obter-se as propriedades mecânicas do tecido em estudo, utilizando a máquina de ensaios de tração disponível;
- O Tecido Tafetá revestido com NFC em polpa, adquiriu elasticidade, sendo assim o material semirrígido e elástico necessário à faixa elástica de compressão do EPI;
- Os baixos valores de capacidade de absorção de água e densidade do Tecido Tafetá, provam que este é um bom material para a faixa do EPI, visto que é leve e antitranspirante;
- Não houve perda de matéria solúvel nas amostras revestidas com duas camadas de NFC em polpa, sendo este o procedimento mais adequado ao Tecido Tafetá;
- A nanocelulose provocou a quebra das fibras do Tecido Tafetá, aparentemente devido ao carácter hidrofóbico do PET que repele as NFC;
- Ocorreu uma boa ligação entre as NFC e as fibras da Malha *Jersey* de algodão, tendo a nanocelulose seguido a orientação das fibras têxteis;
- A Malha *Jersey* de algodão não sofreu alteração da densidade, nem perda de matéria solúvel, tornando-a uma preferência para as bandas de suporte do EPI;
- O facto de o algodão têxtil ser hidrofílico e, assim, transpirante, é um fator positivo para o protótipo;
- Para a Malha *Jersey* de algodão, o processo de revestimento ideal é com apenas uma camada de NFC em polpa, pois este atribui uma maior capacidade de absorção de água à malha.

9.2. Trabalhos futuros

De seguida, e tendo em vista o melhoramento do trabalho, abordar-se-ão os trabalhos futuros:

- Completar a caracterização dos têxteis de mudança de fase revestidos com as NFC em polpa, através de técnicas de difração de Raios-X, FTIR, ensaios de dureza, determinação de viscosidade, ensaios de resiliências e resistência ao rasgo;
- Completar a caracterização das malhas têxteis de mudança de fase, através de ensaios de resistência à tração, utilizando os equipamentos disponíveis no CITEVE;
- Análises térmicas de modo a obter as características de condutividade térmica, etc.
- Determinar a quantidade ideal de NFC como revestimento;
- Otimizar o processo de revestimento, testando outros processos de acabamento como, plasma e microencapsulamento;
- Testar a possibilidade de utilização de nanocelulose na forma de nanocristais nos materiais têxteis;
- Estudar e elaborar um reforço abdominal na ortótese;
- Testar a ortótese obtida numa amostra de indivíduos com dor lombar ocupacional, bem como investigar qual a influência do seu uso na postura e bem-estar na realização das tarefas diárias, através da verificação do nível de flexibilidade em indivíduos com dor lombar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho. (2000). *Situação da segurança e da saúde no local de trabalho na União Europeia: Um estudo-piloto*. Luxembourg: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.
- Alderson, K. (2005). *Expanding materials and applications: Exploiting auxetic textiles*. Worcestershire: Technical Textiles International.
- Alexander, A., Woolley, S. M., Bisesi, M., & Schaub, E. (1995). The effectiveness of back belts on occupational back injuries and worker perception. *Professional Safety*, 40(9), 22-26.
- Alkhagen, M., Samuelsson, A., Aldaeus, F., Gimaker, M., Ostmark, E., & Swerin, A. (2015). *Textile materials from cellulose: Roadmap 2015 to 2025*. Obtido de https://www.ri.se/sites/default/files/files/docs/roadmap_textile_materials_from_cellulose.pdf
- Álvarez, C., Reyes-Sosa, F. M., & Díez, B. (2016). Enzymatic hydrolysis of biomass from wood. *Microbial Biotechnology*, 9(2), 149-156. doi: 10.1111/1751-7915.12346
- Amalia. (abril de 2011). Blogger. Obtido de <http://sobreal.blogspot.pt/p/o-que-e-la.html>
- Anatomia do corpo humano. (s.d.). Obtido de <http://www.anatomiadocorpo.com/>
- Anatomia online. (s.d.). Obtido de <https://www.anatomiaonline.com/>
- Araújo, M. D., Figueiro, R., & Hong, H. (2000). *Têxteis técnicos: Materiais do novo milénio. Vol. I: Visão geral*. Lisboa: Direção Geral da Indústria, Ministério da Indústria.
- Aula de anatomia. (2001). Obtido de <https://www.auladeanatomia.com/novosite/sistemas/sistema-esqueletico/coluna-vertebral/>
- Avaliação Postural. (22 de novembro de 2009). Obtido em 1 de dezembro de 2017, de <http://medidaseavaliacaopostural.blogspot.pt>
- Babu, K. M., & Ravindra, K. (2015). Bioactive antimicrobial agents for finishing of textiles for health care products. *The Journal of The Textile Institute*, 106(7), 706-717. Obtido de <https://doi.org/10.1080/00405000.2014.936670>
- Berglin, L., Ellwanger, M., Hallnäs, L., Worbin, L., & Zetterblom, M. (2005). Smart textiles: What for and why. *Textile Journal*, 46-49. Obtido de <http://hb.diva-portal.org/smash/get/diva2:870146/FULLTEXT01.pdf>
- Bernard, B. (Ed.). (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors*. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health. Obtido de <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/pdfs/97-141.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB97141>

- Biering-Sorensen, F., Thomsen, C. E., & Hilden, J. (1989). Risk indicators for low back trouble. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 21(3), 151-157.
- Bigos, S. J., Martin, N., Zeh, J., Fisher, L., Nachemson, A., & Wang, M. (1986). Back injuries in industry: A retrospective study. I. Overview and cost analysis. *Spine*, 11(3), 241-245.
- Brancato, A. A. (2008). Effect of progressive recycling on cellulose fiber surface properties. 117f. Tese (Doctor Science) - School of Chemical and Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology, Georgia.
- Branco, P. S. (2008). *Temas de reabilitação: Ortóteses e outras ajudas técnicas*. Porto: Medesign - Edições e Design de Comunicação.
- Buckle, P. (2002). *Work related low back pain disorders*. Office for Official Publications of the European Communities. Obtido de <http://www.agency.osha.eu.int>
- Campos, M. H. (2005). *Adaptações geométricas da coluna vertebral durante a marcha*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Campos, T. E. (2012). *Dificuldades manifestadas pelos enfermeiros na avaliação da dor da criança/adolescente em contexto de urgência*. (Dissertação de mestrado). Escola Superior de Enfermagem do Porto. Obtido de <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/9310/1/ATT00183.pdf>
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (1995). *Back belts*. Hamilton (ON): The Centre.
- Canadian Task Force on Preventive Health Care. (2003). *Use of back belts to prevent occupational low-back pain*. Recommendation statement from the Canadian Task Force on Preventive Health Care. Obtido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC167124/>
- Canevarolo, J., & Sebastião, V. (2004). *Técnicas de caracterização de polímeros*. São Paulo: Artliber.
- Cardoso, A., Branco, J., Silva, J., Cruz, M., & Costa, M. (2005). *Regras de ouro em reumatologia*. Lisboa: Direcção-Geral da Saúde.
- Casazza, B. A. (2012). Diagnosis and treatment of acute low back pain. *American Family Physician*, 85(4), 343-350.
- Chattopadhyay, D., & Patel, B. H. (2016). Synthesis, characterization and application of nano cellulose for enhanced performance of textiles. *Journal of Textile Science & Engineering*, 6, 248. doi:10.4172/2165-8064.1000248
- Chinga-Carraco, G. (2011). Cellulose fibres, nanofibrils and microfibrils: The morphological sequence of MFC components from a plant physiology and fibre technology point of

- view. *Nanoscale Research Letters*, 6, 417. Obtido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2F1556-276X-6-417.pdf>
- Chirayil, C., Joy, J., Mathew, L., Koetz, J., & Thomas, S. (2014). Nanofibril reinforced unsaturated polyester nanocomposites: Morphology, mechanical and barrier properties, viscoelastic behavior and polymer chain confinement. *Industrial Crops and Products*, 56, 246-254.
- Cho, G. (2009). *Smart clothing: Technology and applications*. London: Taylor & Francis.
- Cho, J., Jang, S., & Cho, G. (2007). *Effects of fabric elasticity on performance of textile-based ECG-monitoring smart wear*. Proceedings of 2007 Spring Conference of Korean Society for Emotion and Sensibility.
- Cholewicki, J., Alvi, K., Silfies, S., & Bartolomei, J. (2003). Comparison of motion restriction and trunk stiffness provided by three thoracolumbosacral orthoses (TLSOs). *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, 16(5), 461-468.
- Colchester, C. (2007). *Textiles today: A global survey of trends and traditions*. New York: Thames & Hudson.
- Coluna.com. (2017). Obtido de <http://coluna.com>
- Costa, S. P. (2014). *Armazenamento de energia térmica através de materiais de mudança de fase*. (Dissertação de mestrado integrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- De Rossi, A. D. (1999). *Dressware: Wearable hardware* (Vol. 7). Elsevier. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493198000691>
- Duarte, A. J. M. (2012). Efeitos agudos da acupuntura na dor lombar crónica: Estudo prospetivo, randomizado, controlado e duplo-cego. (Dissertação de mestrado). Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto.
- Dufrense, A. (2007). Polymer nanocomposites from biologic sources. In H. S. Nalwa (Ed.), *Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology* (Vol. 10, pp.1-32). American Scientific Publishers.
- Dupré, D. (2001). *Work-related health problems in the EU 1998-1999*. Eurostat.
- Ebraheim, N., Hassan, A., Lee, M., & Xu, R. (2004). Functional anatomy of the lumbar spine. *Seminars in Pain Medicine*, 2(3), 131-137. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.spmd.2004.08.004>
- Edmison, J., Jones, M., Nakad, Z., & Martin, T. (2002). Using piezoelectric materials for wearable electronic textiles. In *Proceedings of the 6th IEEE International Symposium on Wearable Computers*. IEEE Computer Society Washington.
- Eichhorn, S. J., Dufresne, A., Aranguren, M., Marcovich, N. E., Capadona, J. R., Rowan, S. J., ... Abe, K. (2010). Review: Current international research into cellulose nanofibres

- and nanocomposites. *Journal of Materials Science*, 45(1), 1-33. doi: 10.1007/s10853-009-3874-0
- European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. (1997). *A prevenção do absentismo no trabalho: Sinopse da investigação*. Serviço das Publicações das Comunidades Europeias.
- Fayolle-Minon, I., & Calmels, P. (2008). Effect of wearing a lumbar orthosis on trunk muscles: Study of the muscle strength after 21days of use on healthy subjects. *Joint, Bone, Spine: Revue du Rhumatisme*, 75(1), 58-63. doi: 10.1016/j.jbspin.2007.04.018
- Fernandes, P. C. R. (2008). *Modelação e análise da fusão inter-somática cervical*. (Dissertação de mestrado). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Ferreira, A. J. (2015). *Produtos têxteis inteligentes*. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- Ferreira, A., Ferreira, F., & Oliveira, F. (2014). Têxteis inteligentes: Uma breve revisão da literatura. *REDIGE*, 5(01), 1-22.
- Figueiredo, A. F. B. (2008). *Produção de celulose microcristalina a partir de pasta sulfito ácido*. (Dissertação de mestrado). Universidade de Aveiro.
- Gardner, D. J., Oporto, G. S., Mills, R., & Samir, M. A. (2008). Adhesion and surface issues in cellulose and nanocellulose. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22(5-6), 545-567.
- Gerhardt, L. C., Lottenbach, R., Rossi, R. M., & Derler, S. (2013). Tribological investigation of a functional medical textile with lubricating drug-delivery finishing. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 108(1), 103-109. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.01.055>
- Gerschenfeld, A. (20 de maio de 2015). O estranho mundo novo dos têxteis high-tec. *Público*. Obtido de <https://www.publico.pt/2015/05/20/ciencia/noticia/o-estranho-mundo-novo-dos-texteis-hightech-1696130>
- Giordano, J. B., & Campos, J. S. (2005). Efeitos da temperatura de termofixação em tecidos de poliéster. In *8º Congresso Brasileiro de Polímeros* (pp. 198-199). Obtido de <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2005/PDF/261.pdf>
- Gorlenko, L., & Merrick, R. (2003). No wires attached: Usability challenges in the connected mobile world. *IBM Systems Journal*, 42(4), 639-651. doi: 10.1147/sj.424.0639
- Goumoens, P. S., & Fritsch, C. (2006). Low back pain in 2006: Back to the root. *Revue Médicale Suisse* 2(65), 1268-127.
- Gregory, R. V., Samuel, R. J., & Hanks, T. (2001). Chameleon fibers: Dynamic color change from tunable molecular and oligomeric devices. In *National Textile Center Annual Report*. Obtido de <http://infohouse.p2ric.org/ref/08/07215.pdf>

- Grima, J. N. E.; K. E. (2011). Auxetic behavior from rotating squares. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, [S.l.], v. 49, p. 585-593.
- Guerreiro, V. M. (2016). *Abordagem da lombalgia em adultos nos cuidados de saúde primários*. (Dissertação de mestrado integrado). Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra.
- Gulrajani, M. (2013). *The use of nanotechnology in the finishing of technical textiles*. Woodhead Publishing.
- Hatakeyama, T. H. (2004). *Thermal properties of green polymers and biocomposites*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Hatch, K. L. (2000). *Textile science: With Supplement*. Atexinc Corporation.
- Healy, A., Dunning, D. N., & Chockalingam, N. (2010). Materials used for footwear orthoses: A review. *Footwear Science*, 2(2), 93-110. doi: 10.1080/19424280.2010.486045
- Hoppenfeld, S. (2002). *Propedêutica e ortopédica: Coluna e extremidades*. São Paulo: Editora Atheneu.
- Hsu, J. D., Michael, J. W., & John, R. (2008). *AAOS Atlas of orthoses and assistive devices*. Philadelphia: Elsevier Health Sciences.
- Infineon Technologies AG. (s.d.). Obtido de <https://www.infineon.com/cms/portugal/en/>
- ISO 9073-6:2000. (2000). *Textiles: Test methods for nonwovens*. IHS.
- Isogai, A., Saito, T., & Fukuzumi, H. (2011). TEMPO-oxidized cellulose nanofibers (Vol. 3). *Nanoscale*, 3(1), 71-85. doi: 10.1039/c0nr00583e
- Jabbar, A., Militky, J., Wiener, J., Kal, B. M., Ali, U., & Rwawiire, S. (2017). Nanocellulose coated woven jute/green epoxy composites: Characterization of mechanical and dynamic mechanical behavior. *Composite Structures*, 161(1), 340-349. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.062>
- Jellema, P., van Tulder, M., van Poppel, M., Nachemson, A., & Bouter, L. (2001). Lumbar supports for prevention and treatment of low back pain: A systematic review within the framework of the Cochrane Back Review Group. *Spine*, 26(4), 377-386.
- Jonai, H., Villanueva, M. B., Sotoyama, M., Hisanagai, N., & Saito, S. (1997). The effect of a back belt on torso motion. *Industrial Health*, 35(2), 235-242.
- Jorfi, M., & Foster, E. J. (2015). Recent advances in nanocellulose for biomedical applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 132, 1-19. doi: 10.1002/APP.41719
- Jorge, R. L. (2014). *Biomecânica do tratamento cirúrgico da coluna lombar*. (Dissertação de mestrado). Universidade de Aveiro.
- Kandi, S. G., Tehran, M. A., & Rahmati, M. (2007). New method for obtaining proper initial clusters to perform FCM algorithm for colour image clustering. *The Journal of The*

- Textile Institute*, 100(3), 237-244. Obtido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405000701757545>
- Kapandji, A. (2000). *Fisiologia articular: Tronco e coluna vertebral* (5a ed.). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Karqvist, L. (2001). Investigación de las diferencias en función del sexo. In *Prevención de los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral*. Bruxelas: Revista da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho.
- Kellenberg, S. (21 de fevereiro de 2017). *eHow Brasil*. Obtido de <http://www.ehow.com.br>
- Kendall, F., McCreary, E. K., & Provance, P. (1995). *Músculos provas e funções* (4a ed.). São Paulo: Edições Manole.
- Kisner, C. (1998). *Exercícios Terapêuticos: Fundamentos e técnicas* (3a ed.). São Paulo: Manole.
- Knoplich, J. (2003). *Enfermidades da coluna vertebral* (3a ed.). São Paulo: Robe Editorial.
- Krag, M. H., Fox, M. S., & Haugh, L. D. (2003). Comparison of three lumbar orthoses using motion assessment during task performance. *Spine*, 28(20), 2359-2367. doi: 10.1097/01.BRS.0000085328.71345.54
- Kraus, J. F., Schaffer, K., Rice, T., Maroosis, J., & Harper, J. (2002). A field study of back belts to reduce the incidence of acute low back injuries in New York City home attendants. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 8(2), 97-104. doi: 10.1179/107735202800339073
- Kurutz, M., & Oroszváry, L. (2012). Finite element modeling and simulation of healthy and degenerated human lumbar spine. In *Finite element analysis: From biomedical applications to industrial developments* (Cap. 8, pp. 193-216). New York: Wiley InterScience.
- Lakowicz, J. R. (2006). *Principles of fluorescence spectroscopy*. New York: Springer.
- Lantz, S. A., & Schultz, A. B. (1986). Lumbar spine orthosis wearing. I. Restriction of gross body motions. *Spine*, 11(8), 834-837.
- Lendlein, A., & Kelch, S. (2002). Shape-memory polymers. *Angewandte Chemie*, 41(12), 2034-2057.
- Li, Y., Mai, Y.-W., & Ye, L. (2005). Effects of fibre surface treatment on fracture-mechanical properties of sisal-fibre composites. *Composite Interfaces*, 12(1-2), 141-163. Obtido de <https://doi.org/10.1163/1568554053542151>
- Lin, N., & Dufresne, A. (2014). Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect. *European Polymer Journal*, 59, 302-325. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.07.025>

- Lind, E. J., Jayaraman, S., Park, S., Rajamanickam, R., Eisler, R., Burghart, G., & McKee, T. (1997). A sensate liner for personnel monitoring applications. *Acta Astronautica*, 42(1-8), 3-9.
- Liu, Q. (2006). *Literature review: Materials with negative poisson's ratios and potential applications to aerospace and defence*. Victoria: Defence Science and Technology Organisation.
- Malchaire, J., Roquelaure, Y., Cock, N., Piette, A., Vergracht, S., & Chiron, H. (2001). Musculoskeletal complains, functional capacity, personality and psychosocial factors. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 74(8), 549-557. Obtido de [http://www.hytr.ucl.ac.be/Publications/resumes/musc%20 complaints.pdf](http://www.hytr.ucl.ac.be/Publications/resumes/musc%20complaints.pdf)
- Marques, A. P. (2000). *Cadeias musculares: Um programa para ensinar avaliação fisioterapêutica global*. São Paulo: Manole.
- Marras, W. S. (2000). Occupational low back disorder causation and control. *Ergonomics*, 43(7), 880-902. doi: 10.1080/001401300409080
- Martins, C. M. R. (2009). *Análise postural no âmbito desporto/saúde: Caracterização de jovens universitários*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade da Beira Interior, Covilhã. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.6/1804>
- Matos, A. (2010). Lombalgias. *Boletim Informativo da Sociedade Portuguesa de Reumatologia*, 8, 12-13.
- Matos, D. F. (2009). *Dispositivos protésicos exteriores: Estudo, desenvolvimento, produção, ensaio e certificação*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- McGill, S. (1999). Update on the use of back belts in industry: More data, same conclusions. In W. Karwowski & W. S. Marras (Eds.), *Occupational ergonomics handbook* (Cap. 74, pp. 1353-1358). London: Boca Raton:
- McHone, J. G. (2010). *OLYMPUS BX50/BX40*. Obtido de http://earth2geologists.net/Microscopes/Olympus_documents/BX50_BX60_brochure.pdf
- Mečņika, V., Hoerr, M., Krieviņš, I., & Schwarz, A. (2014). *Smart textiles for healthcare: Applications and technologies*. Letónia: Institute of Textile Technology and Design of Riga Technical University.
- Medronho, B., Romano, A., Miguel, M. G., Stigsson, L., & Lindman, B. (2012). Rationalizing cellulose (in)solubility: Reviewing basic physicochemical aspects and role of hydrophobic interactions. *Cellulose*, 19(3), 581-587. doi: 10.1007/s10570-011-9644-6
- Miguel, J. P. (2010). *Circular normativa nº 12/DGCG de 02/07/2004: Programa nacional contra as doenças reumáticas*. Lisboa: Direção-Geral da Saúde.

- Mohamed, M. A., Salleh, W. N., Jaafar, J., Ismail, A. F., Mutalib, M. A., Mohamad, A. B., ... Hir, Z. A. (2017). Physicochemical characterization of cellulose nanocrystal and nanoporous self-assembled CNC membrane derived from *Ceiba pentandra*. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1892-1902. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.11.078
- Mondal, S. (2008). Phase change materials for smart textiles: An overview. *Applied Thermal Engineering*, 28(11-12), 1536-1550. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009>
- Monteiro, S. F. (2014). *Fibras têxteis como parte da proteção e sobrevivência militar*. Lisboa: Academia Militar.
- Moon, R. J. (2008). *Nanomaterials in the forest products industry*. New York: McGraw-Hill.
- Moon, R. J., Nairn, A. M., Simonsen, J., & Youngblood, J. (2011). Cellulose nanomaterials review: Structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 40(7), 3941-94. doi: 10.1039/c0cs00108b
- Moon, R. J., Schueneman, G. T., & Simonsen, J. (2016). Overview of cellulose nanomaterials, their capabilities and applications. *JOM: The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 68(9), 2383-2394.
- Moore, K. L., & Dalley, A. F. (2006). *Anatomia orientada para a clínica* (4a ed.). Rio de Janeiro: Nova Guanabara.
- Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. (2013). *Clinically oriented anatomy* (7th ed.). London: Lippincott Williams & Wilkins.
- Muscolino, J., & Cipriani, S. (2004). Pilates and the "powerhouse". *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 8(1), 15-24. Obtido de <http://www.bodyworkmovementtherapies.com>
- Mustafa, O. G., Mehmet, Z. B., & Banu, H. G. (2015). Shape-memory applications in textile design. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 195(3), 2160-216. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.283>
- Nadler, S. F., Weingand, K., & Kruse, R. J. (2004). The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician*, 7(3), 395-399. Obtido de www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16858479
- Nakamura, K., Hatakeyama, T., & Hatakeyama, H. (1981). Studies on bound water of cellulose by differential scanning calorimetry. *Textile Research Journal* 51(9), 607-613. doi: 10.1177/004051758105100909
- Natour, J. (2004). *Coluna vertebral*. São Paulo: Etcetera Editora.
- Nelson, G. (2002). Application of microencapsulation in textiles. *International Journal of Pharmaceutics*, 242(1-2), 55-62. Obtido de [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(02\)00141-2](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(02)00141-2)
- Netter Images. (s.d.). Obtido de <https://www.netterimages.com>

- Netter, F. H. (2000). *Atlas de anatomia humana* (2a ed.). Porto Alegre: Artmed.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Califórnia: Academic Press.
- Nieman, D. C. (1999). *Exercício e saúde: Como se prevenir de doenças usando o exercício como seu medicamento*. São Paulo: Editora Manole.
- Nunes, T. F. G. (2014). *Produção, caracterização e aplicação de nanofibras de celulose*. (Dissertação de mestrado integrado). Universidade de Coimbra. Obtido de <https://goo.gl/iLb3B4>
- Ohana, N., Sheinis, D., Rath, E., Sasson, A., & Atar, D. (2000). Is there a need for lumbar orthosis in mild compression fractures of the thoracolumbar spine? A retrospective study comparing the radiographic results between early ambulation with and without lumbar orthosis. *Journal of Spinal Disorders*, 13(4), 305-308. doi: 10.1097/00002517-200008000-00006
- Oliveira, J. R. G. (2007). A importância da ginástica laboral na prevenção de doenças ocupacionais. *Revista de Educação Física*, 139, 40-49. Obtido de <http://www.ergonomianotrabalho.com.br/ginastica-labora-prevencao.pdf>
- Oliver, J. E., & Middleditch, A. (1998). *Anatomia funcional da coluna vertebral*. Rio de Janeiro: Revinter.
- Otsuka, K., & Wayman, C. (1999). *Shape memory materials*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pais, D. (3 de março de 2016). *Cose. Magazine de costura*. Obtido de <https://cosemais.pt>
- Peng, Y., Gardner, D. J., Han, Y., Kiziltas, A., Cai, Z., & Tshabalala, M. A. (2013). Influence of drying method on the material properties of nanocellulose I: Thermostability and crystallinity. *Scientific Journal*, 20(5), 2379-2392.
- Pereira, G. S. (2009). *Materiais e processos têxteis*. Santa Catarina: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Obtido de <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/temp/0/07/20090218180450!MPTEX6.pdf>
- Petersson, L., Kvien, I., & Oksman, K. (2007). Structure and thermal properties of poly (lactic acid)/cellulose whiskers nanocomposite materials. *Composites Science and Technology*, 67(11), 2535-2544.
- Pina, J. A. (1999). *Anatomia humana da locomoção* (2a ed.). Lisboa: Lidel.
- Pinto, B. M. (s.d.). *Sebenta de Anatomia I*.
- Ponte, C. (2005). Lombalgia em cuidados de saúde primários: sua relação com características sociodemográficas. *Revista Portuguesa de Clínica Geral*, 21, 259-267.
- Post, E. R., & Orth, M. (1997). Smart fabric, or "wearable clothing". In *Digest of Papers. First International Symposium on Wearable Computers* (pp. 167-168). October 13-14,

Cambridge, Massachusetts. Obtido de
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=629911>

- Potulski, D. C. (2016). *Influência da nanocelulose nas propriedades físicas e mecânicas de papel primário e reciclado de Pinus e Eucalyptus*. (Tese de doutoramento). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. Obtido de http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_dr/2016/t425.pdf.
- Prates, A. B., Amaral, F. B., Vacaro, M. Z., Gross, J. L., Camargo, J. L., & Silveiro, S. P. (2007). Avaliação da filtração glomerular através da medida da cistatina C sérica. *Jornal Brasileiro de Nefrologia*, 29(1), 48-55.
- Quiévy, N., Jacquet, N., Sclavons, M., Deroanne, C., Paquot, M., & Devaux, J. (2009). Influence of homogenization and drying on the thermal stability of microfibrillated cellulose. *Polymer Degradation and Stability*, 95(3), 306-314. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.020>
- Raj, P. P. (2008). Intervertebral disc : Anatomy-physiology-pathophysiology-treatment. *Pain Practice*, 8(1), 18-44. doi: 10.1111/j.1533-2500.2007.00171.x
- Rämänen, P., Penttilä, P. A., Svedström, K., Maunu, S. L., & Serimaa, R. (2012). The effect of drying method on the properties and nanoscale structure of cellulose whiskers. *Cellulose*, 19(3), 901-912. Obtido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-012-9695-3>
- Ranney, D. (2000). *Distúrbios osteomusculares crônicos relacionados ao trabalho*. São Paulo: Editora Roca.
- Reddell, C. R., Congleton, J. J., Huchingson, R. D., & Montgomery, J. F. (1992). An evaluation of a weightlifting belt and back injury prevention training class for airline baggage handlers. *Applied Ergonomics*, 23(5), 319-329. Obtido de [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(92\)90293-5](https://doi.org/10.1016/0003-6870(92)90293-5)
- Reddy, M. M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S. K., & A. K. Mohanty. (2013). Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1653-1689. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.006>
- Reis, L. L. (2015). *Estudo biomecânico de coluna com escoliose idiopática do adolescente*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Relatório IP/07/752. (2007). Bruxelas: Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho.
- Resnick, D., Choudhri, T., Dailey, A., Groff, M. K., Khoo, L., Matz, P., ... Hadley, M. (2005). Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 14: brace therapy as an adjunct to or substitute for lumbar fusion. *Journal of Neurosurgery. Spine*, 2(6), 673-678. doi: 10.3171/spi.2005.2.6.0673

- Ribeiro, A. M. P. (2009). *Estudo de follow-up de traumatizados raquimedulares por acidente de trabalho com incapacidade superior a 50% e a sua importância médico-legal*. (Dissertação de mestrado). Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto.
- Robusti, C., Viana, E. F., Júnior, F. F., Gomes, I., Tognetta, L., Santos, O. D., & Dragoni, P. (2014). *Papel*. São Paulo: SENAI-SP.
- Rodrigues, A. M. C. M. (2012). *Análise e projecto de estruturas para substituição do disco intervertebral*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Rodrigues, D. R. (2011). *Análise biomecânica de tratamentos cirúrgicos da coluna cervical*. (Dissertação de mestrado). Universidade de Aveiro.
- Roman, M., & Winter, W. T. (2004). Effect of Sulfate groups from sulfuric acid hydrolysis on the thermal degradation behavior of bacterial cellulose. *Biomacromolecules*, 5(5), 1671-1677. doi: 10.1021/bm034519+
- Rossi, D., & Paradiso, R. (2011). *Future direction: e-textiles*. New York: Springer.
- Salah, S. M. (2013). Application of nano-cellulose in textile. *Journal of Textile Science & Engineering*, 3, 142. doi: 10.4172/2165-8064.1000142
- Sánchez, P., Sánchez-Fernandez, M. V., Romero, A., Rodríguez, J. F., & Sánchez-Silva, L. (2010). Development of thermo-regulating textiles using paraffin wax microcapsules. *Thermochimica Acta*, 498(1-2), 16-21. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603109003529>
- Savi, M., & Oliveira, S. A. (2013). *Os materiais inteligentes e suas aplicações*. Obtido de <https://goo.gl/BORCGc>
- Schwartz, M. (2002). *Encyclopedia of smart materials*. New York: Wiley: Interscience Publication.
- Scoliosis Research Society. (2017). Obtido de <http://www.srs.org>
- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Tate, P. (2005). *Anatomia e fisiologia* (6a ed.). Loures: Lusociência.
- Serranheira, F., Pereira, M., Santos, C., & Cabrita, M. (2003). Auto referência de sintomas de lesões musculoesqueléticas ligadas ao trabalho numa grande empresa em Portugal. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 21(2), 37-47.
- Silva, J. A. (2005). *Reumatologia prática*. Coimbra: Diagnóstico.
- Silva, J., & Salate, A. (2007). A ginástica laboral como forma de promoção de saúde. *Revista Fisioterapia Especialidades*, 1(1).

- Silva, M. D. S. (2014). *Da ideia ao mercado: Conceção e produção de ortóteses para membro inferior*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Silva, M., Fassa, A. G., & Kriebel, D. (2006). Musculoskeletal pain in ragpickers in a southern city in Brazil. *American Journal of Industrial Medicine*, 49(5), 327-336. doi: 10.1002/ajim.20305
- Silva, N. T. (2009). *Incorporação de materiais de mudança de fase em materiais de construção*. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- Sloan, M. R., Wright, J. R., & Evans, K. E. (2011). The helical auxetic yarn: A novel structure for composites and textiles; geometry, manufacture and mechanical properties. *Mechanics of Materials*, 43(9), 476-486. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2011.05.003>
- Sociedade Portuguesa de Gastrenterologia. (2015). *Doença de refluxo gastro-esofágico: Normas de orientação clínica*. Obtido de http://www.spg.pt/wp-content/uploads/2015/11/NOC_drge.pdf
- Steffens, F., & Fangueiro, R. (2012). Materiais auxéticos: O efeito do coeficiente de Poisson negative. *REDIGE: Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica*, 3.
- Syduzzaman, M., Patwary, S. U., Farhana, K., & Ahmed, S. (2015). Smart textiles and nano-technology: A general overview. *Journal of Textile Science & Engineering*, 5(1). doi: 10.4172/2165-8064.1000181
- Sypert, G. (1987). External spinal orthotics. *Neurosurgery*, 20(4), 642-649.
- Tang, S. L., & Stylios, G. K. (2006). An overview of smart technologies for clothing design and engineering. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 18(2), 108-128. Obtido de <https://doi.org/10.1108/09556220610645766>
- Tao, X. (2001). *Smart fibres, fabrics, and clothing*. London: Woodhead Publishing.
- Tao, X. M. (2005). *Wearable electronics and photonics*. London: Woodhead Publishing.
- Teixeira, T. F. S. C. (2014). *Estudo biomecânico da coluna cervical com patologia*. (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Uva, A. S., Carnide, F., Serranheira, F., Miranda, L. C., & Lopes, M. F. (2008). *Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho: Guia de orientação para a prevenção*. Lisboa: Direção-Geral da Saúde.
- van Amelsvoort, L., Jansen, N., Swaen, G., & Kant, I. (2004). Direction of shift rotation among three-shift workers in relation. *Scandinavian Journal of Work*, 30(2), 149-156. doi: 10.5271/sjweh.772

- van der Plaats, A. V., Veldhuizen, A. G., & Verkerke, G. J. (2007). Numerical simulation of asymmetrically altered growth as initiation mechanism of scoliosis. *Annals of Biomedical Engineering*, 35(7), (1206-1215. doi: 10.1007/s10439-007-9256-3
- van Langenhove, L. (Ed.). (2007). *Smart textiles medicine and healthcare: Materials, systems and applications*. Woodhead Publishing.
- van Langenhove, L. V., Hertleer, C., Catrysse, M., Puers, R., van Egmond, H. V., & Matthys, D. (2003). The use of textile electrodes in a hospital environment. In *Proceedings of 3rd Autex Conference* (pp. 286-290). Technical University of Lodz, Faculty of Engineering and Marketing of Textiles.
- van Langenhove, L., & Hertleer, C. (2004). Smart clothing: A new life. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16(1/2), 63-72. Obtido de <https://doi.org/10.1108/09556220410520360>
- van Leeuwen, P., Bos, R., Derksen, J., & de Vries, J. (2000). Assessment of spinal movement reduction by thoraco-lumbar-sacral orthoses. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37(4), 395-403. Obtido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11028695>
- van Poppel, M. N., van der Ploeg, T., Smid, T., & Boutar, L. M. (1998). Lumbar supports and education for the prevention of low back pain in industry: A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 279(22), 1789-1794. doi:10.1001/jama.279.22.1789
- van Tulder, M., Becker, A., Bekkering, T., Breen, A., del Real, M., Hutchinson, A., ... Malmivaara, A. (2006). European guidelines for the management of acute nonspecific low back pain in primary care. *European Spine Journal*, 15 (Suppl. 2, S169-S191. doi: 10.1007/s00586-006-1071-2
- Verderi, E. (2003). *Lecturas: Educación física y deportes*. Obtido de Disponível: em <http://www.efdeportes.com>
- Walsh, N. E., & Schwartz, R. K. (1990). The influence of prophylactic orthoses on abdominal strength and low back injury in the workplace. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 69(5), 245-250.
- Wen, Y. K. (1992). *Intelligent structures 2: Monitoring and control*. New York: Elsevier.
- White, A., & Panjabi, M. (1990). *Clinical biomechanics of the spine*. New York: Lippincott Company.
- Woodhouse, M. L., McCoy, R. W., Redondo, D. R., & Shall, L. M. (1995). Effects of back support on intra-abdominal pressure and lumbar kinetics during heavy lifting. *Hum Factors*, 37(3), 582-590. doi: 10.1518/001872095779049336
- Yoo, S., Yeo, J., Hwang, S., Kim, Y. H., Hur, S. G., & Kim, E. (2008). Application of a NiTi alloy two-way shape memory helical coil for a versatile insulating jacket. *Materials*

Science & Engineering: A, 481-482, 662-667. Obtido de
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.12.233>