

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS BLUMENAU  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Mariana Pereira Lopes

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA MALHA DE POLIPROPILENO  
PARA TRATAMENTO DE HÉRNIA ABDOMINAL**

Blumenau

2023

Mariana Pereira Lopes

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA MALHA DE POLIPROPILENO  
PARA TRATAMENTO DE HÉRNIA ABDOMINAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jose Sousa Ferreira.

Blumenau

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lopes, Mariana Pereira

Avaliação do desempenho de uma malha de polipropileno para tratamento de hérnia abdominal / Mariana Pereira Lopes ; orientador, Alexandre Jose Sousa Ferreira, 2023.  
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Malha para hérnia. 3. Têxteis Médicos. 4. Polipropileno. 5. Malha por urdume. I. Ferreira, Alexandre Jose Sousa. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Mariana Pereira Lopes

**Avaliação do desempenho de uma malha de polipropileno para tratamento de  
hérnia abdominal**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Têxtil e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Têxtil.

Blumenau, 05 de julho de 2023.

Prof<sup>a</sup>. Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Dr<sup>a</sup>.  
Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

Prof. Alexandre Jose Sousa Ferreira, Dr.  
Orientador

Prof. Brenno Henrique Silva Felipe, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Miguel Ângelo Granato, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2023.

Este trabalho é dedicado em memória ao meu avô, José Lopes, que foi técnico têxtil e que me inspirou. Agradeço ao apoio da minha família, amigos e professores que estiveram ao meu lado em toda a trajetória acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, por sempre acreditarem em mim e se fazerem presentes mesmo distantes, por me apoiarem e me ensinarem a fé em Cristo. Em especial aos meus pais, Rosa Eli Silva Pereira Lopes e Sebastião Carlos Lopes, por me proporcionarem todo o apoio emocional, físico e financeiro para a realização da graduação em outro Estado. Sem eles, nada seria possível na minha vida. Tenho muito orgulho dos pais guerreiros que tenho, eles são a minha inspiração.

À minha irmã, Júlia Pereira Lopes, por toda a sua doçura e cuidado comigo, por me ajudar diariamente e compartilhar todos os sentimentos, sempre com muita paciência, tenho orgulho do ser humano que ela está se tornando. E ao meu irmão Daniel Pereira Lopes, pelas conversas, conselhos e seu jeito descontraído de ver a vida. Agradeço ao meu namorado, Diego Moreira, por todo o apoio e dedicação a nós, sempre me motivando a crescer e estando verdadeiramente ao meu lado. E a sua família que me acolheu tão bem, tornando a dificuldade da distância da minha cidade natal mais leve.

Agradeço ao Manuel Pires Rodrigues, por ser um grande amigo para a minha família e se fazer presente na minha jornada. Agradeço a todas as colegas e todos os professores do SENAI/CETIQT, onde iniciei minha paixão pelo universo têxtil, em especial a Prf.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristiane Santos, por todo ensinamento e dedicação, por me apoiar em realizar outra graduação e se fazer presente.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina - Blumenau pela estrutura física, aos professores, técnicos e colaboradores. Em especial à técnica Andressa S. Fortes, por toda ajuda no Laboratório. Ao Prof. Dr. Alexandre Jose Sousa Ferreira, por aceitar o desafio de ser meu orientador, que pacientemente me ensinou e pude compartilhar os desafios que surgiram, sempre muito respeitoso e gentil. Agradeço também a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fernanda Steffens e, em memória ao Prof. Dr. Fernando Oliveira, por tanto ensinamento, inspiração pessoal e profissional, que me proporcionaram realizar trabalhos de iniciação científica na universidade.

Agradeço a todos os amigos que compartilharam a vida acadêmica na UFSC com ensinamentos, incentivos e que estenderam a mão para não deixar o outro desistir, em especial aos meus queridos amigos Leonardo Melo Medeiros Rutssats, Nubia Paula Batista de Souza e Yago Sazy Barbosa.

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares.”

(Fernando Teixeira de Andrade)

## RESUMO

Os substratos têxteis desempenham um papel fundamental na medicina, sendo utilizados em uma variedade de aplicações que vão desde roupas de proteção e curativos avançados até dispositivos médicos e próteses implantáveis. Dentro do universo têxtil na área médica, são desenvolvidos substratos têxteis com tecnologias utilizadas na produção de superfícies têxteis de tecelagem, malharia, não tecidos e entrançados. Tais substratos podem ser classificados como dispositivos implantáveis, não implantáveis, extracorporais, saúde e higiene. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar um substrato têxtil não absorvível, implantável e obtidos de fibra de polipropileno, analisando o processo de degradação similar ao organismo humano. Foram apresentados os conceitos dos materiais têxteis médicos, os biomateriais, a fibra de polipropileno, os materiais têxteis implantáveis e não absorvíveis. Foram realizadas análises em malha de polipropileno utilizada para tratamento de hérnia abdominal, sendo realizada a sua caracterização estrutural, identificando o tipo de laçada, sua massa, densidade e gramatura. Para avaliar a aplicação no organismo humano, foram realizados os testes de degradação, tração e de perda de massa. Identificando o comportamento e eficiência no organismo humano em relação a matéria-prima. A metodologia utilizada foi de base experimental, onde a amostra da malha de hérnia foi submetida por dezesseis semanas ao banho de degradação, a fim de estudar sua eficiência no ambiente similar ao organismo humano. Os dados foram extraídos de uma amostra em seu estado original em comparação as outras amostras após o teste de degradação e teste de tração, avaliando sua ruptura e perda de massa. Desse modo, constatou-se que o organismo humano causa uma degradação a malha, mesmo assim a malha é eficiente para o tratamento de hérnia, por apresentar resistência a tração próximo ao seu estado original.

**Palavras-chave:** Têxteis Médicos. Malha para hérnia. Polipropileno.



## ABSTRACT

Textile substrates play a key role in medicine, being used in a variety of applications ranging from protective clothing and advanced dressings to medical devices and implantable prostheses. Within the textile universe in the medical area, textile substrates are developed with technologies used in the production of textile surfaces for weaving, knitting, nonwovens and braiding. Such substrates can be classified as implantable, non-implantable, extracorporeal, health and hygiene devices. Thus, the present work aimed to evaluate a non-absorbable, implantable textile substrate obtained from polypropylene fiber, analyzing the degradation process similar to the human organism. The concepts of medical textile materials, biomaterials, polypropylene fiber, implantable and non-absorbable textile materials were presented. Analyzes were carried out on polypropylene mesh used for the treatment of abdominal hernia, and its structural characterization was carried out, identifying the type of loop, its mass, density and weight. To evaluate the application in the human organism, degradation, traction and mass loss tests were performed. Identifying the behavior and efficiency in the human organism in relation to the raw material. The methodology used was based on an experimental basis, where the hernia mesh sample was subjected to a degradation bath for sixteen weeks, in order to study its efficiency in an environment similar to that of the human body. Data were extracted from a sample in its original state compared to other samples after the degradation test and tensile test, evaluating its rupture and mass loss. Thus, it was found that the human organism causes degradation to the mesh, even so the mesh is efficient for the treatment of hernia, as it presents resistance to traction close to its original state.

**Keywords:** Medical Textiles. Mesh for hernia. Polypropylene.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia polimérica do polipropileno.....	20
Figura 2 - Polimerização do polipropileno.....	22
Figura 3 - Fio de sutura de polipropileno .....	24
Figura 4 - Radiografia com implantes ortopédicos de polipropileno .....	25
Figura 5 - Cateter de polipropileno .....	26
Figura 6 - Tubos e recipientes de armazenamento de polipropileno .....	26
Figura 7 - Equipamentos cirúrgicos de polipropileno .....	27
Figura 8 - Diferença de tecido plano e tecido de malha, respectivamente .....	30
Figura 9 - Partes da laçada da malha .....	30
Figura 10 - Carreiras e Colunas, respectivamente .....	31
Figura 11 - Tipos de malha .....	31
Figura 12 - Comparativo das laçadas da malha por trama e urdume, respectivamente .....	32
Figura 13 - Tear e representação da malha por urdume.....	32
Figura 14 - Entrelaçamento malha por urdume .....	33
Figura 15 - Tear malha por urdume.....	34
Figura 16 - Avental cirúrgico descartável.....	39
Figura 17 - Curativo de alta performance.....	40
Figura 18 - Stent.....	40
Figura 19 - Meia de compressão.....	41
Figura 20 - Colete monitorador de sinais vitais com GPS.....	41
Figura 21 - Têxtil absorvível .....	45
Figura 22 - Malha de polipropileno .....	58
Figura 23 - Cirurgia por endoscopia para colocação da malha de hérnia .....	59
Figura 24 - Micrografias do tecido de malha de hérnia com ampliação 50X .....	60
Figura 25 - Pesagem da amostra inteira .....	61
Figura 26 - Medição da espessura com paquímetro .....	62
Figura 27 - Colunas e Carreiras .....	63
Figura 28 - Amostra submersa em solução salina tamponada .....	64
Figura 29 - Passo a passo da solução para o teste de degradação .....	65
Figura 30 - Garra e adaptação do teste para o tamanho da amostra .....	66
Figura 31 - Figura 31 - Laçadas Tricô e Tuch .....	68
Figura 32 - Micrografias das amostras de malha de hérnia com ampliação 50X .....	71
Figura 33 - Deformação visual das amostras de hérnia.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gramatura das amostras.....	69
Tabela 2 - Espessura das amostras.....	69
Tabela 3 - Contagem de colunas e carreiras.....	70
Tabela 4 - Corte e distribuição das amostras.....	73
Tabela 5 - Comparativo perda de massa.....	73
Tabela 6 - Resultados das forças de deslocamento e newton.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PP	Polipropileno
pH	Potencial hidrogeniônico
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
CAGR	Cagr Acronym (taxa composta de crescimento anual)
STENT	Endoprótese Expansível
PTFE	Politetrafluoretileno (Teflon®)
COVID-19	<i>Coronavirus Disease</i> 2019 (Vírus SARS-CoV-2)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	OBJETIVO .....	19
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1	POLIPROPILENO .....	20
2.1.1	<b>Polipropileno na medicina</b> .....	<b>23</b>
2.1.2	<b>Fibra de polipropileno</b> .....	<b>27</b>
2.2	MALHA POR URDUME .....	29
2.3	TÊXTEIS NA MEDICINA.....	35
2.4	CLASSIFICAÇÃO DOS TÊXTEIS NA ÁREA MÉDICA.....	45
2.4.1	<b>Não implantável</b> .....	<b>46</b>
2.4.2	<b>Implantável</b> .....	<b>47</b>
2.4.3	<b>Extracorporais</b> .....	<b>48</b>
2.4.4	<b>Saúde e higiene</b> .....	<b>49</b>
2.5	BIOMATERIAIS .....	49
2.5.1	<b>Biomaterial têxtil</b> .....	<b>53</b>
2.5.2	<b>Absorvível Versus não absorvível</b> .....	<b>54</b>
2.6	HÉRNIA E TRATAMENTO.....	55
2.6.1	<b>Malha de polipropileno</b> .....	<b>57</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>60</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA MALHA.....	60
3.1.1	<b>Gramatura</b> .....	<b>61</b>
3.1.2	<b>Espessura da malha e filamento</b> .....	<b>61</b>
3.1.3	<b>Densidade das laçadas e do polímero</b> .....	<b>62</b>
3.1.4	<b>Massa linear</b> .....	<b>63</b>
3.1.5	<b>Caracterização morfológica/estrutural (análise microscópica)</b> .....	<b>64</b>
3.2	ANÁLISE DO TEMPO DE DEGRADAÇÃO .....	64
3.3	TESTE DE TRAÇÃO.....	66
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>68</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA MALHA.....	68
4.1.1	<b>Gramatura</b> .....	<b>69</b>

<b>4.1.2</b>	<b>Espessura.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Densidade das laçadas.....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Massa linear .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Análise microscópica .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2</b>	<b>ANÁLISE DO TEMPO DE DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>73</b>
<b>4.3</b>	<b>TESTE DE TRAÇÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia têxtil engloba a manipulação de fibras, e sua aplicação vai muito além do vestuário. De modo geral, a fabricação e tratamento de fibras, fios e tecidos combinados com novas tecnologias, possui uma variedade de aplicações nas áreas do vestuário esportivo, arquitetura, proteção pessoal, transporte, medicina e outros. Afinal, os substratos têxteis estão ao nosso redor diariamente, e até salvando nossas vidas, como os coletes a prova de bala (FERREIRA et al., 2014).

Os estudos mostram uma crescente nas pesquisas e novas tecnologias para os substratos têxteis na área da saúde pela necessidade de o vestuário cumprir um papel além do vestir. A pandemia da COVID-19 nos fez refletir a importância que o engenheiro têxtil tem na área médica e abriu portas para novos estudos, trazendo um olhar mais cuidadoso para esses substratos (SABER; ABD EL-AZIZ, 2021).

Quando pensamos em têxteis médicos, temos a concepção de que eles devem respeitar algumas características, como prevenir de infecções, possuir uma boa respirabilidade, devem ser confortáveis, impermeáveis a substâncias contaminantes e afinidade para esterilização. O que nos leva a entender a extrema importância da biocompatibilidade desses materiais, uma vez que possuem contato com nosso sistema imunológico (AKTER ASSISTANT PROFESSOR; YOUSUF MOHAMMAD ANWARUL AZIM; ABDULLAH AL FARUQUE LECTURER, 2014).

Tais características vêm se desenvolvendo e dando espaço para novas tecnologias, como podemos observar estudos relacionados a materiais com memória de forma (altera sua estrutura sob um estímulo) e materiais de mudança de fase (altera seu estado físico por um período), nanotecnologia, biomimética (mimetizam os processos da natureza), materiais crômicos (alteração de cor por um estímulo) ou descarga plasmática (FERREIRA et al., 2014).

Os têxteis desempenham um papel fundamental na área médica, preparando-se em uma variedade de aplicações essenciais para o cuidado e tratamento de pacientes. Desde os aventais e lençóis utilizados para garantir a higiene e segurança durante procedimentos cirúrgicos, até os curativos e bandagens que auxiliam na cicatrização de feridas, os tecidos desempenham um papel crucial na proteção e no conforto dos pacientes. Além disso, a tecnologia têxtil tem permitido o desenvolvimento de materiais inteligentes, como os tecidos antibacterianos, que ajudam a prevenir hospitalares, e os dispositivos de monitoramento incorporados, que

permitem o acompanhamento contínuo dos sinais dos pacientes (AKTER; AZIM, 2014).

Os materiais fibrosos têm um papel fundamental na aplicação média, já que quase todos podem ser utilizados, pelas suas propriedades de flexibilidade, resistência e adição de acabamentos (antibactericida, anti-uv etc.). Podemos observar esses materiais fibrosos em equipamentos e dispositivos médicos, em vestuário de proteção, nos quartos hospitalares e bloco cirúrgico. As fibras podem ser de origem natural ou sintética, e as fibras ocas vem ganhando espaço no mercado (SHARIATINIA, 2019).

Os têxteis aplicados a medicina possuem diferentes segmentos e são divididos em três classes. Materiais cirúrgicos, que podem ser não implantáveis e implantáveis. Os materiais não implantáveis, que auxiliam em monitoramento de sinais vitais ou apoio como talas. Materiais implantáveis propriamente ditos, que interagem diretamente com nosso corpo, como *stents* (endoprótese expansível). Dispositivos extracorporais possuem relação com fibras ocas na aplicação de órgãos artificiais. Produtos para saúde e higiene, podemos observar em vestuários hospitalares (SABER; ABD EL-AZIZ, 2021).

As fibras ocas assimétricas foram inventadas pela DuPont em 1965 para anti-incrustantes e dessalinização da água do mar. As fibras ocas tridimensionais, encaracolado e excêntricas foram criadas na década de 1970. As fibras ocas multicanal com estrutura interna foram fabricadas na década de 1990 (CHEUNG; LI, 2019).

O mercado de têxteis médicos tem o potencial para ser uma das categorias em mais rápido crescimento dentro do setor dos têxteis técnicos entre 2018 e 2025 (PORTUGAL TÊXTIL, 2019). Uma nova regulamentação de dispositivos médicos estava prevista para se tornar obrigatória em 2020. A insegurança tomou conta, uma vez que, a legislação foi aprovada pelo Parlamento Europeu. Com o objetivo de tornar mais rigorosos os critérios que os dispositivos médicos têm de cumprir, após dois casos de grande impacto mediático, nos quais os padrões de segurança do produto foram considerados inadequados e a saúde dos pacientes envolvidos foi severamente afetada, resultando no dobro do tempo.

O tamanho do mercado global de têxteis médicos foi avaliado em US \$ 24,70 bilhões em 2020 e deve esperar-se que se expanda a uma taxa de crescimento anual composta de 4,5% de 2021 a 2028. A demanda por produtos têxteis de grau médico



deve crescer por conta da crescente conscientização sobre melhores serviços de saúde e tratamentos médicos eficientes. A projeção é o crescente uso de produtos médicos implantáveis baseados em têxteis, como ligamentos artificiais, tendões e aprimoramentos de partes do corpo, impulsionando o mercado. Tal projeção é indicada pela crescente no envelhecimento da população global, conseqüentemente aumenta o número de cirurgias para substituição de joelho e articulação, por exemplo. Impulsionando o uso de produtos implantáveis, e assim o mercado (TEXTILE SPHERE, 2020).

Segundo pesquisa, o segmento de produtos de saúde e higiene liderou o mercado e representou mais de 45,0% da receita global em 2020. A projeção é que o segmento deverá testemunhar o maior crescimento nos próximos anos. Produtos de saúde e higiene, como máscaras faciais, aventais, bolsas médicas, capas para sapatos, lençóis, absorventes para incontinência, absorventes para maternidade, cortinas, toucas, lenços umedecidos e absorventes higiênicos formam uma das maiores áreas de aplicação de têxteis médicos, entendendo a demanda da pandemia da COVID-19. Espera-se que o segmento de bens não implantáveis registre um CAGR (*compound annual growth rate*) baseado em receita de 4,4% durante o período de previsão (TEXTILE SPHERE, 2020).

Seguindo para estudos de têxteis cirúrgicos, uso de malha para hérnia abdominal é uma prática comum e eficaz na área da cirurgia. A malha, geralmente feita de material sintético resistente e biocompatível, é utilizada para fortalecer a parede abdominal enfraquecida pela hérnia, prevenindo sua recorrência. Durante a cirurgia, a malha é cuidadosamente posicionada sobre a área da hérnia e fixada no local, proporcionando suporte estrutural e promovendo uma cicatrização adequada. A utilização da malha ajuda a distribuir a pressão intra-abdominal de forma mais uniforme, encorajando a tensão na área esperada e permitindo uma recuperação mais rápida e menos dolorosa para o paciente. Além disso, a malha também minimiza a possibilidade de complicações pós-operatórias, como a formação de seroma ou recidivas da hérnia (TRINDADE, 2010).

Uma fibra muito utilizada na área médica é o polipropileno, que desempenha um papel significativo devido às suas propriedades únicas e versatilidade. Este polímero sintético é amplamente utilizado na fabricação de uma variedade de dispositivos e produtos médicos, devido à sua resistência, durabilidade e biocompatibilidade. O polipropileno é frequentemente empregado na produção de

suturas cirúrgicas, que são utilizadas para fechar feridas e incisões. Além disso, é frequentemente usado na fabricação de implantes, como próteses mamárias e componentes de próteses articulares, devido à sua estabilidade e resistência à degradação. O polipropileno também é empregado na produção de malhas para atendimento de hérnias abdominais, oferecendo suporte estrutural e atendimento a recorrência da hérnia. Além disso, devido à sua baixa reatividade química, o polipropileno é utilizado em embalagens e recipientes médicos, garantindo a segurança e integridade dos materiais e medicamentos. Em resumo, o polipropileno desempenha um papel crucial na medicina, garantido para a eficácia, segurança e longevidade de uma variedade de produtos e dispositivos médicos (ULTRABO et al., 2021).

Com o ideal de mostrar a importância do engenheiro têxtil na área médica, o estudo expõe as aplicações dos substratos têxteis tem no dia a dia de um ambiente hospitalar. Apresentando diferentes técnicas para o desenvolvimento de materiais inteligentes e avançados. O objetivo é analisar um material têxtil implantável e não absorvível (malha de polipropileno para tratamento de hérnia abdominal), entendendo seu papel no organismo humano.

A motivação da escolha do tema da pesquisa se deu pela afinidade no assunto e sua relevância para a sociedade, em específico a saúde pública. Entende-se que o estudo de engenharia têxtil envolve muito mais que a área de moda como vestuário, podendo expandir para as práticas de tecnologia em diferentes setores. Os têxteis técnicos são grandes aliados na medicina, trazendo uma oportunidade de desenvolvimento de pesquisas mais aprofundadas. A presente pesquisa tem como foco os materiais implantáveis, analisando o comportamento do material no organismo humano, analisando a funcionabilidade da matéria prima.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o substrato têxtil não absorvível implantável obtidos de fibra de polipropileno, analisando o processo de degradação similar ao organismo humano.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Conceituar os materiais têxteis médicos, os biomateriais, a fibra de polipropileno, os materiais têxteis implantáveis e não absorvíveis;
- Realizar a caracterização estrutural da malha de hérnia, identificando o tipo de laçada, sua massa, densidade e gramatura;
- Avaliar quantitativamente o processo de aplicação no organismo humano, através do teste de degradação, teste de tração e perda de massa;
- Identificação do comportamento e eficiência no organismo humano em relação a matéria-prima.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na presente seção, será apresentada o embasamento teórico sobre os têxteis na área da medicina, a classificação dos têxteis médicos e o aprofundamento de artigos sobre têxteis técnicos na medicina.

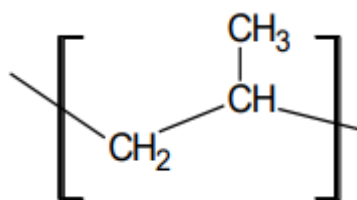
Apresenta também informações sobre todo o contexto fisiológico que envolve a hérnia e seu tratamento cirúrgico com a malha que será analisada nos tópicos seguintes. E apresenta as propriedades da matéria-prima do polipropileno e classificação dos biomateriais implantáveis.

### 2.1 POLIPROPILENO

O polipropileno (PP) é um polímero sintético que foi desenvolvido e fabricado pela primeira vez em meados da década de 1950. Foi criado através da polimerização do propileno, que é um hidrocarboneto gasoso pertencente à família dos alcanos. A polimerização do propileno ocorre quando várias moléculas de propileno se unem quimicamente, formando uma cadeia longa e ramificada de polipropileno. Esse processo é geralmente realizado em presença de catalisadores específicos, como os catalisadores de Ziegler-Natta ou os catalisadores metálicos de coordenação (DA et al., 2017).

O polipropileno tem origem a partir do propileno, um hidrocarboneto encontrado na fração de gás de refinarias de petróleo ou obtido a partir do processamento de gás natural. O propileno é um monômero, ou seja, uma molécula de baixo peso molecular, que serve como matéria-prima para a produção do polipropileno, sua forma molecular é  $(C_3H_6)_n$  como mostra a Figura 1 (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

Figura 1 - Cadeia polimérica do polipropileno



Fonte: Rodrigues, 2017.

A polimerização do propileno pode ocorrer em diferentes métodos, como a polimerização em fase gasosa ou a polimerização em fase líquida, que envolvem a utilização de catalisadores específicos para promover a reação química que leva à formação do polipropileno. Após a polimerização, o polipropileno é processado em diferentes formas, como grânulos ou pellets, que podem ser utilizados como matéria-prima na fabricação de uma ampla variedade de produtos, desde embalagens e utensílios domésticos até componentes automotivos e dispositivos médicos (DA et al., 2017).

Esses grânulos podem ser posteriormente fundidos e moldados em uma variedade de produtos por meio de processos como injeção, extrusão ou moldagem por sopro. Embora o polipropileno seja originado a partir do petróleo ou do gás natural, ele passa por uma transformação química significativa durante o processo de polimerização, resultando em uma substância com propriedades e características diferentes da matéria-prima original (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

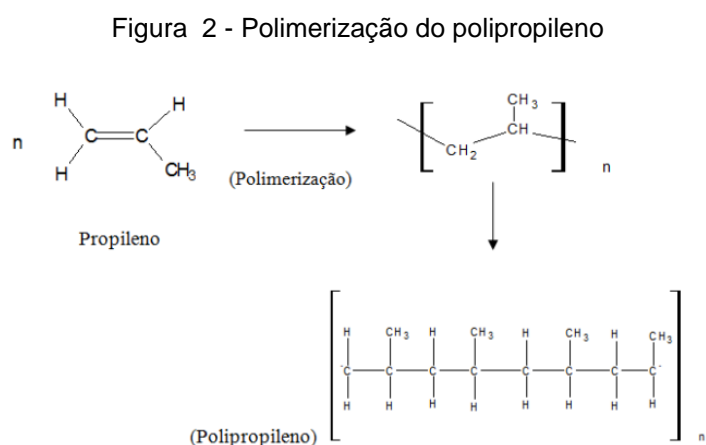
É considerado um polímero termoplástico amplamente utilizado na indústria moderna. Ele pertence à família dos polímeros poliolefínicos e é derivado do propileno. Como característica quando submetido a chama, pode-se observar a presença de chama amarela, crepita ao queimar e produz fumaça fuliginosa. Sua densidade é baixa, ou seja, os produtos fabricados com esse material são mais leves que outros plásticos, o que facilita o transporte e reduz os custos (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

O polipropileno é caracterizado por sua resistência, durabilidade e versatilidade. Uma das principais vantagens é sua alta resistência química, capaz de suportar a exposição a uma ampla gama de produtos químicos, tornando-o uma escolha ideal para recipientes de armazenamento de substâncias corrosivas. Além disso, o polipropileno é resistente a efeitos e tem uma boa resistência ao calor, adequado para aplicações em que a temperatura é um fator relevante (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

No setor de embalagens, o polipropileno é amplamente utilizado na fabricação de sacolas, filmes e rótulos. Sua transparência e brilho fazem dele uma escolha popular para embalagens de alimentos, enquanto sua resistência a rasgos e perfurações garante a proteção dos produtos durante o transporte e armazenamento. Na indústria automotiva, é utilizado na fabricação de para-choques, painéis de instrumentos e peças internas. Sua boa performance ao impacto, resistência e à

abrasão o tornam ideais para essas aplicações, proporcionando segurança e durabilidade aos veículos (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

Na indústria médica, é encontrado na fabricação de seringas, frascos e equipamentos hospitalares. Sua resistência química e esterilizabilidade são características essenciais nesse contexto, garantindo a segurança e eficácia dos dispositivos médicos. Em resumo, o polipropileno é um polímero versátil e altamente funcional, que desempenha um papel fundamental em diversas indústrias. Suas propriedades físicas e químicas, combinadas com sua reciclabilidade, tornam-no uma escolha preferencial para uma ampla gama de aplicações, proporcionando soluções duráveis, econômicas e eficientes (DA et al., 2017).



Fonte: Rodrigues, 2017.

Na polimerização em fase gasosa, temos o propileno, que é um hidrocarboneto gasoso, é purificado para remover impurezas e então alimentado para um reator. O reator é uma unidade de alta pressão que contém um catalisador especializado, geralmente um sistema de metaloceno ou uma mistura de catalisadores de Ziegler-Natta. O propileno é introduzido no reator e reage com o catalisador em condições controladas de temperatura e pressão. Durante a reação, as moléculas de propileno se unem, formando cadeias de polipropileno como mostra a Figura 2 (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

Na polimerização em fase líquida, o propileno é dissolvido em um solvente líquido adequado, geralmente um hidrocarboneto. O solvente é alimentado em um reator juntamente com o catalisador. O propileno dissolvido reage com o catalisador, formando cadeias de polipropileno. A temperatura e a pressão são controladas para

permitir a reação adequada. À medida que a reação ocorre, o polipropileno é formado como uma solução em meio ao solvente. O polipropileno é então separado do solvente por meio de processos de evaporação, lavagem e secagem. O produto final é obtido na forma de grânulos ou pellets (PLÁSTICO MODERNO, 2021).

Existem diferentes métodos de polimerização utilizados na produção de polipropileno, sendo os mais comuns a polimerização em massa, a polimerização em suspensão e a polimerização em solução (SANTOS, 2010). Na polimerização em massa, o propileno puro é pressurizado e aquecido para transformá-lo em um estado líquido. Durante a polimerização em massa, a temperatura e a pressão são controladas para garantir uma reação eficiente. À medida que a reação progride, a viscosidade do sistema aumenta e ocorre a formação do polipropileno (SANTOS, 2010).

### **2.1.1 Polipropileno na medicina**

Um dos principais usos do polipropileno na medicina é na fabricação de dispositivos médicos descartáveis. Esses dispositivos são produzidos utilizando processos de moldagem por injeção, nos quais o polipropileno é aquecido e injetado em moldes para obter a forma desejada. O polipropileno é escolhido devido à sua resistência mecânica, flexibilidade e capacidade de esterilização, o que é essencial para garantir a segurança dos pacientes (TRINDADE, 2010).

Uma das principais razões pelas quais o polipropileno é utilizado na medicina é a sua biocompatibilidade. Esse material é considerado seguro para uso em contato com o corpo humano, pois apresenta uma baixa taxa de reações alérgicas e não provoca inflamações significativas. Portanto, o polipropileno pode ser utilizado em dispositivos implantáveis, como suturas, próteses, implantes ortopédicos e componentes cirúrgicos (SANTOS, 2010).

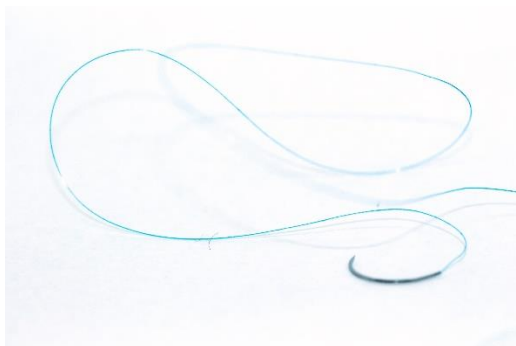
Além disso, o polipropileno é utilizado na fabricação de materiais cirúrgicos, como suturas e fios de sutura. As suturas de polipropileno são altamente apreciadas por sua resistência à tração, flexibilidade e baixa reação tecidual. Elas são usadas para fechar incisões e promover a cicatrização adequada de tecidos em uma variedade de procedimentos cirúrgicos. Também pode ser utilizado para fabricar próteses, como implantes de hérnia e malhas cirúrgicas, devido à sua biocompatibilidade e capacidade de suportar cargas mecânicas. Esses implantes são

projetados para se integrar ao corpo do paciente e fornecer suporte estrutural, facilitando a cicatrização e a recuperação (MOTA, 2021).

Além das aplicações diretas em dispositivos e implantes médicos, o polipropileno também é usado na fabricação de materiais de embalagem para produtos farmacêuticos. Frascos, ampolas, blisters e outros recipientes de polipropileno são usados para armazenar medicamentos, garantindo a estabilidade e a integridade dos produtos (LI et al., 2014).

As suturas de polipropileno são conhecidas por sua resistência, flexibilidade e capacidade de manter a força de tensão ao longo do tempo. Elas são utilizadas em várias cirurgias para fechar feridas e promover a cicatrização, como ilustra a Figura 3 a seguir (LI et al., 2014).

Figura 3 - Fio de sutura de polipropileno



Fonte: Indusbello, 2023.

O polipropileno utilizado na medicina passa por rigorosos processos de controle de qualidade e esterilização para garantir a segurança e a eficácia dos dispositivos e materiais médicos. Esses produtos são projetados e fabricados em conformidade com regulamentos e padrões específicos, visando atender às necessidades dos profissionais de saúde e garantir o melhor cuidado possível aos pacientes (Venkuri, 2023).

Outra aplicação importante do polipropileno na medicina é na fabricação de filmes e membranas utilizados em curativos e embalagens estéreis. O polipropileno pode ser processado em filmes finos e transparentes que apresentam uma boa barreira contra a umidade e bactérias, mantendo o ambiente estéril e protegendo as feridas de contaminação (ITG MEDEV, 2023).



O polipropileno desempenha um papel fundamental na indústria médica, oferecendo uma combinação única de propriedades físicas, químicas e biocompatíveis. Sua versatilidade permite a fabricação de uma ampla gama de dispositivos e materiais médicos descartáveis, suturas, implantes e embalagens farmacêuticas, contribuindo para a melhoria da saúde e bem-estar dos pacientes. Além disso, o polipropileno é um material de baixo custo em comparação com outros polímeros utilizados na medicina, o que contribui para tornar os dispositivos médicos mais acessíveis (SANTOS, 2010).

O polipropileno é usado na fabricação de implantes ortopédicos, como mostra a visão da radiografia da Figura 4, como componentes de próteses articulares e sistemas de fixação óssea. Os implantes ortopédicos de polipropileno oferecem estabilidade, resistência e baixa reatividade biológica, tornando-os uma escolha comum em procedimentos de substituição de articulações (ROHANI SHIRVAN; NOURI, 2020).

Figura 4 - Radiografia com implantes ortopédicos de polipropileno



Fonte: Dr. Carlos Macedo, 2018.

Os cateteres fabricados com polipropileno são usados para várias finalidades médicas, incluindo drenagem de fluidos, administração de medicamentos e acesso vascular, como mostra o exemplo da Figura 5. O polipropileno proporciona flexibilidade, durabilidade e compatibilidade com diferentes fluidos corporais (ROHANI SHIRVAN; NOURI, 2020).

Figura 5 - Cateter de polipropileno



Fonte: Pardis, 2023.

O polipropileno é usado na fabricação de tubos e recipientes de armazenamento de amostras de sangue, urina, medicamentos e outros produtos médicos, como ilustrado na Figura 6. Esses dispositivos requerem uma barreira eficaz contra a contaminação e a interação química, o que o polipropileno oferece (ROHANI; NOURI; WEN, 2021).

Figura 6 - Tubos e recipientes de armazenamento de polipropileno



Fonte: Geiner Bio-one, 2023.

Muitos equipamentos cirúrgicos descartáveis, como pinças, tesouras, seringas e agulhas, são fabricados com polipropileno. Esses dispositivos são leves, econômicos e oferecem boas resistência e manipulação para procedimentos cirúrgicos como representado o ambiente cirúrgico na Figura 7 (ROHANI; NOURI; WEN, 2021).

Figura 7 - Equipamentos cirúrgicos de polipropileno



Fonte: Venkuri, 2023.

O polipropileno é usado ainda na fabricação de componentes de equipamentos de diagnóstico, como filtros, reagentes e microplacas utilizadas em análises laboratoriais. Esses componentes requerem resistência química, esterilidade e precisão para fornecer resultados confiáveis. É importante destacar que, embora o polipropileno seja amplamente utilizado na fabricação de dispositivos médicos, cada aplicação requer considerações específicas em relação a normas regulatórias, esterilização e requisitos de segurança para garantir a qualidade e a segurança dos dispositivos médicos utilizados (ROHANI; NOURI; WEN, 2021).

### **2.1.2 Fibra de polipropileno**

A fibra de polipropileno é uma fibra sintética. Essa fibra possui diversas características que a tornam uma opção versátil para uma variedade de aplicações. A fibra de polipropileno é extremamente leve, o que a torna confortável e facilita sua incorporação em tecidos e materiais. Apesar de sua leveza, a fibra de polipropileno apresenta uma boa resistência mecânica. Ela é capaz de suportar tensões e impactos moderados sem se deformar ou quebrar facilmente (SANTOS, 2010).

O polipropileno tem baixa absorção de água, o que confere à fibra de polipropileno uma excelente resistência à umidade. A fibra de polipropileno é resistente a muitos produtos químicos, incluindo ácidos, álcalis e solventes. Isso a

torna adequada para aplicações que envolvem exposição a substâncias químicas agressivas (PLÁSTICO MODERNO, 2021)

O polipropileno tem uma baixa afinidade por odores, o que significa que a fibra de polipropileno tende a absorver menos odores em comparação com outras fibras. A fibra de polipropileno mantém sua forma e dimensões mesmo quando submetida a variações de temperatura e umidade. Ela possui uma boa estabilidade dimensional, o que se torna importante em aplicações onde a precisão e a consistência das dimensões são necessárias (SANTOS, 2010).

A fibra de polipropileno é resistente à lavagem e de secagem rápida. Ela não encolhe nem se deforma significativamente quando exposta à lavagem e pode ser facilmente seca. A fibra de polipropileno tende a gerar menos eletricidade estática em comparação com outras fibras sintéticas. Isso a torna adequada para aplicações em que a eletricidade estática pode ser um problema, como em roupas de proteção ou em ambientes sensíveis a descargas elétricas (DA et al., 2017).

Essas características tornam a fibra de polipropileno uma opção popular em várias aplicações, como roupas esportivas, roupas de proteção, tecidos técnicos, tapetes, cordas, filtros e muito mais. A fibra de polipropileno é produzida através do processo de extrusão, em que o polipropileno fundido é forçado através de pequenos orifícios para formar filamentos contínuos. Esses filamentos são então resfriados e agrupados para formar a fibra de polipropileno. Ela pode ser usada tanto em aplicações técnicas quanto em produtos de consumo, devido às suas propriedades de leveza, resistência e baixa absorção de umidade (SANTOS, 2010).

A malha de polipropileno, por outro lado, refere-se a um tipo de tecido feito de fios de polipropileno entrelaçados em uma estrutura de malha aberta. É produzida por meio de processos de tecelagem ou tricô, onde os fios de polipropileno são entrelaçados para criar uma estrutura de malha. A malha de polipropileno é usada principalmente em aplicações de suporte, como suportes para hérnias, malhas cirúrgicas e malhas de reforço para cirurgias de reparo de tecidos moles. A sua estrutura de malha aberta permite a passagem de fluidos e facilita a cicatrização, enquanto oferece suporte e resistência (SANTOS, 2010).

## 2.2 MALHA POR URDUME

O substrato têxtil é caracterizado por todo material constituído de matéria-prima têxtil, seja fio, cabo, filamento ou corda. Entende-se também por estruturas têxteis que podem ser nãotecidos, malhas ou tecidos planos, entrançados e tecelagem. Os tecidos planos são formados a partir do cruzamento de dois conjuntos de fios paralelos entre si, de forma perpendicular (o urdume, no sentido longitudinal ou vertical; e a trama, no sentido horizontal ou transversal). Se diferenciando dos tecidos de malha, onde os fios formam laçadas que se cruzam consigo mesmos (SENAI,2014; CREPALDI, 2017).

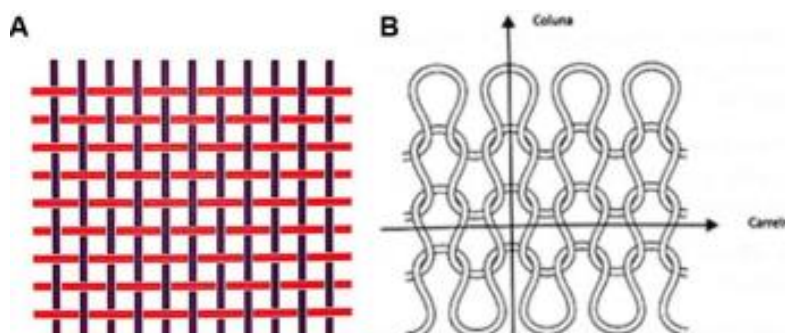
Os tecidos de malha são amplamente utilizados na indústria têxtil e estão presentes em uma variedade de produtos, desde roupas até artigos esportivos e têxteis para o lar. Eles são conhecidos por sua elasticidade, conforto e versatilidade, o que os torna populares entre os consumidores e fabricantes. A malha é um tipo de tecido que é produzido através da interconexão de laços de fios sucessivos, formando uma estrutura de trama aberta. Isso resulta em um tecido leve e flexível, que se adapta bem ao corpo e permite a passagem de ar, proporcionando uma sensação de respirabilidade e conforto. Essa característica torna os tecidos de malha ideais para roupas esportivas e atividades físicas, pois permitem a circulação de ar, ajudando a regular a temperatura do corpo durante o exercício (KUASNE; MACEDO, 2013).

Os tecidos de malha também são conhecidos por sua elasticidade. A estrutura entrelaçada dos fios permite que o tecido volte à sua forma original, o que confere uma maior flexibilidade e liberdade de movimento aos produtos fabricados com esse tipo de tecido. Essa propriedade é especialmente valorizada em roupas íntimas, roupas de ginástica e roupas infantis, onde o conforto e a mobilidade são essenciais. A elasticidade e a maleabilidade dos tecidos de malha permitem que eles se ajustem ao contorno do corpo, proporcionando um caimento suave e confortável (KUASNE; MACEDO, 2013).

A laçada do fio é o elemento fundamental que dá forma ao tecido de malha, se diferenciando de um tecido plano, onde temos o entrelaçamento dos fios de trama e urdume. Nos tecidos de malha, um fio assume a forma de laçadas as quais passam por dentro das laçadas de outro fio e assim sucessivamente, como ilustram as diferenças de ligamentos na Figura 8. Pode-se classificar o tecido de malha em dois

grupos, malharia por trama e malharia por urdume, que se diferenciam pelo sentido da evolução dos fios (KUASNE; MACEDO, 20213).

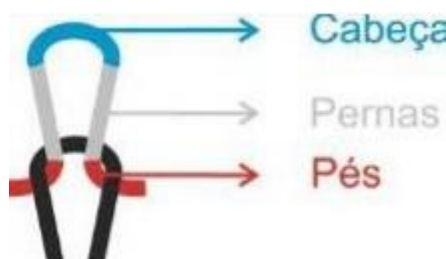
Figura 8 - Diferença de tecido plano e tecido de malha, respectivamente



Fonte: Instituto Federal Santa Catarina, 2013.

A laçada do tecido de malha constitui-se de uma cabeça, duas pernas e dois pés como a Figura 9 seguinte. No local onde as pernas se transformam em pés, há dois pontos de contato com a malha anterior, chamados de pontos de ligação (KUASNE; MACEDO, 2013).

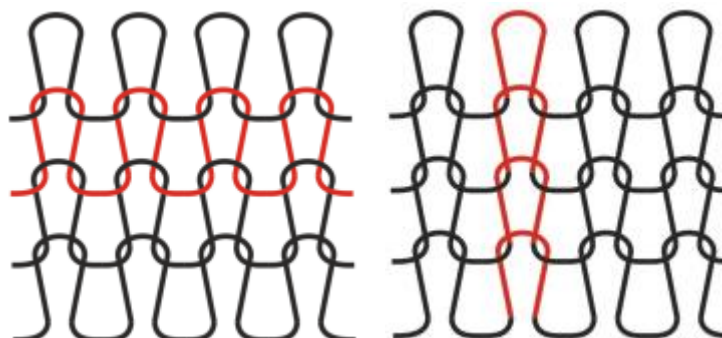
Figura 9 - Partes da laçada da malha



Fonte: Instituto Federal Santa Catarina, 2013.

A sucessão de laçadas consecutivas do mesmo fio no sentido da largura do tecido (horizontal) forma a carreira de malhas, e as laçadas consecutivas de fios diferentes no sentido do comprimento (vertical), formam as colunas da malha, como mostra a ilustração da Figura 10. Todas as malhas de uma mesma coluna são formadas numa mesma agulha e o número de colunas influencia na determinação da largura do tecido (CALLIA et al., 2007).

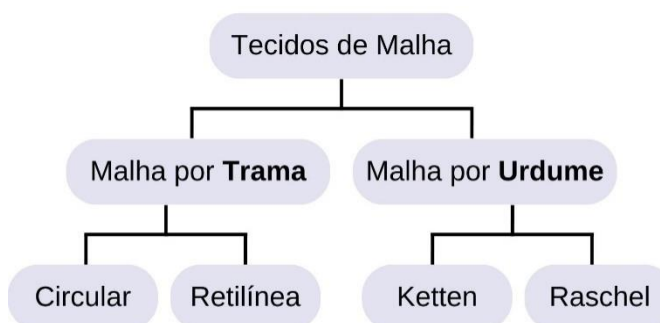
Figura 10 - Carreiras e Colunas, respectivamente



Fonte: Instituto Federal Santa Catarina, 2013.

Como mencionado anteriormente, existem dois grupos de malha, malharia por trama e malharia por urdume, como mostra o esquema da Figura 11 a seguir. A malha por trama pode ser formada por teares circulares ou retilíneos. Já a malharia por urdume, o mais usual são teares Ketten ou Raschel (CALLIA et al., 2007).

Figura 11 - Tipos de malha



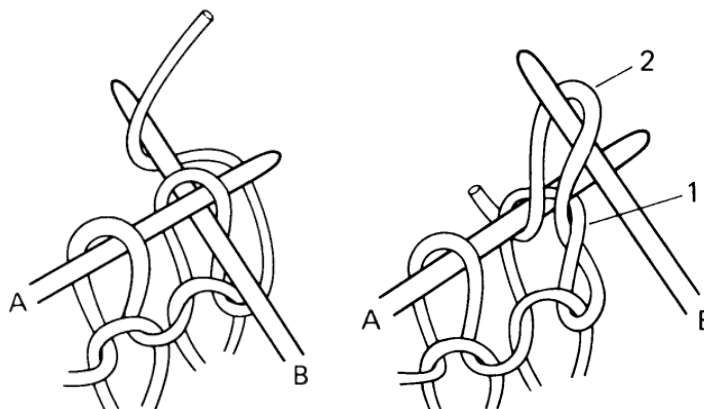
Fonte: A Autora (2023).

Na malharia por trama, a formação das malhas que utilizam o método de entrelaçamento das malhas no sentido horizontal com um ou mais fios que alimentam um grande número de agulhas, as quais podem ficar dispostas em sentido retilíneo ou circular, dependendo do tipo de máquina. Pode-se obter uma malha por trama formada por apenas um fio, dependendo do tipo de tecido e da máquina, pois um único fio pode alimentar todas as agulhas da máquina devido a sua evolução no sentido horizontal (SPENCER, 2001).

O universo da malharia por trama é bem amplo, possibilitando diferentes tipos de estruturas, que são consequência da formação do tipo de ponto ou da forma geométrica das laçadas. A utilização dos tecidos de malha mais convencionais é para

vestuário. Os principais aspectos produtivos desse tipo de tecido, quando comparado à malharia por urdume, são: malhas vizinhas alimentadas pelo mesmo fio; malhas desmalháveis; e pouca estabilidade dimensional (SPENCER, 2001).

Figura 12 - Comparativo das laçadas da malha por trama e urdume, respectivamente



Fonte: Spencer, 2001.

Na malharia por urdume, o processo de fabricação das malhas que utiliza o método de malhas no sentido vertical, empregando numerosos fios que se entrelaçam lateralmente e podem alimentar uma ou mais agulhas. Nesse processo, cada agulha em trabalho tem um ou mais fios posicionados em barras diferentes, como representado na Figura 12 (SPENCER, 2001).

Figura 13 - Tear e representação da malha por urdume



Fonte: UFRN, 2008.

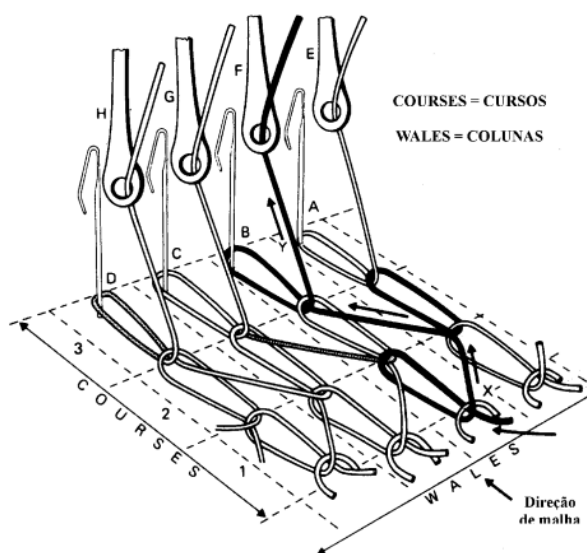
Em resumo, a malha por urdume é alimentada por fios diferentes, sendo assim, cada agulha é alimentada por um fio diferente, formando-se no sentido vertical (longitudinal) e amarração diagonal, pelas colunas. Tem como característica uma boa estabilidade dimensional e não é possível ser desmalhável. O maquinário é específico para malha por urdume, apresentando de um a seis rolos de urdume (sessões),



possibilitando ligamentos diferentes por fio, representados pela Figura 13. A largura do tecido é determinada pela quantidade de agulhas utilizadas na máquina (SZPAK; FABIA; GOMES, 2017).

A malha por urdume é formada pela combinação de pontos tradicionais, por pontos de tricô, combinado pelos rolos de urdume que alimentam a máquina e formam os pontos de ligação diagonal, como mostra a alimentação das laçadas da Figura 14. Pois apenas os pontos tradicionais, como franse aberto, de malha não formam tecido, pensando que a formação é no sentido vertical (SPENCER, 2001).

Figura 14 - Entrelaçamento malha por urdume



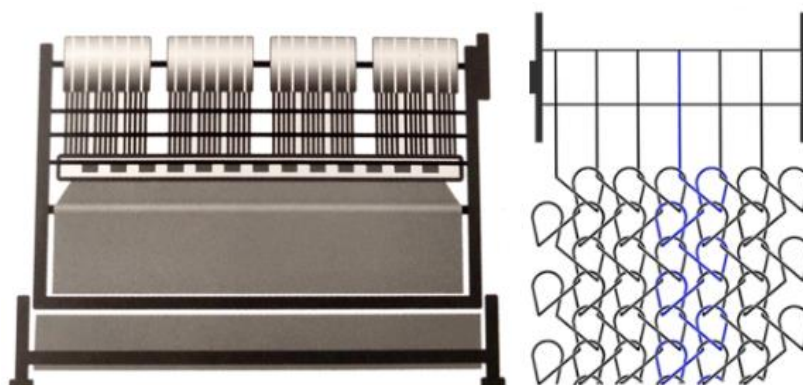
Fonte: Spencer, 2001.

Temos como pontos tradicionais o franse aberto e franse fechado, e como pontos de ligamento, os pontos de tricô aberto e tricô fechado, tuch fechado e tuch aberto, Satin fechado e Satin aberto, Zamet aberto e zamet fechado (AQUINO, 2008).

Máquina Kettenstuhl, produz tecido indesmalhável, normalmente são utilizados para fabricação de tecidos lisos. São as mais usadas em vestuário de moda praia, esportiva e lingerie. Máquina Milanese, produz tecido indesmalhável, como estruturas caneladas diagonais. Máquina Raschel, produz tecidos variados, padronagens lisas, jacquards e rendas, para fabricação de tecidos mais elaborados e desenhos complexos, como lingerie. Se diferenciam da máquina Kettenstuhl pelo número de barras de passetas, que nas máquinas Ketten são de duas a quatro, enquanto nas Raschel são em número muito superior (AQUINO, 2008).

As malhas formadas por urdume ou por trama com a inserção periódica de um fio de trama, proporcionando maior estabilidade dimensional ao tecido. Também conhecido como malha *laid-in*. Independente da construção da malha por trama ou por urdume as estruturas tornam-se mais estabilizadas e firmes. A inserção do fio trama nessas estruturas é fundamental para a classificação do que chamamos de malha mista (RUBBO, 2021).

Figura 15 - Tear malha por urdume



Fonte: NS Têxtil, 2021.

No processo de formação dos tecidos de malha por urdume, os fios são entrelaçados no sentido vertical, e cada agulha é alimentada por pelo menos um fio, como ilustrado na Figura 15 acima. Sendo necessário numerosos fios para a obtenção de um tecido. Um único fio não pode alimentar todas as agulhas da máquina devido a sua evolução no sentido vertical. Apesar da usabilidade mais comum do tecido de malha por urdume também ser no segmento de vestuário, diferente da malha por trama, a malha por urdume tem características para linha de roupas íntimas e para a linha praia (GRUPO NS, 2023).

De acordo com Aquino (2008), as principais características desse tipo de tecido, quando comparado à malharia por trama, são: malhas vizinhas formadas por fios diferentes; malhas indesmalháveis; e boa estabilidade dimensional.

A malharia por urdume requer máquinas específicas para a produção do tecido. A máquina urdir é usada para preparar a estrutura vertical do tecido, conhecida como urdume. Ela é responsável por alinhar os fios de urdume em uma sequência precisa e criar uma estrutura estável. A máquina urdir possui cilindros ou cones onde

os fios de urdume são enrolados, e um sistema de tensionamento e guias para garantir a uniformidade dos fios (SZPAK; FABIA; GOMES, 2017).

O tear da malharia por urdume, essa máquina é responsável por entrelaçar os fios de trama nos fios de urdume para criar o tecido. Ele possui uma estrutura com várias agulhas dispostas verticalmente, que trabalham em conjunto para formar o tecido ponto a ponto. A máquina de tricô urdido pode ser controlada eletronicamente para criar diferentes padrões e texturas (SPENCER, 2001).

Após a produção do tecido, é comum que ele passe por uma máquina de acabamento para realizar processos como lavagem, secagem, tingimento, calandragem e aplicação de produtos químicos. A máquina de acabamento ajuda a garantir a qualidade final do tecido, sua aparência, suavidade e outras características desejadas. Além dessas máquinas principais, outras máquinas auxiliares também podem ser utilizadas na malharia por urdume, dependendo do processo específico e da produção em questão. Essas máquinas incluem enroladoras de fios, máquinas de corte e costura, máquinas de inspeção e embalagem (SPENCER, 2001).

## 2.3 TÊXTEIS NA MEDICINA

O uso dos materiais têxteis na área da saúde vem crescendo e se desenvolvendo cada vez mais, estando presente não só nos EPI's, mas também como auxílio no desempenho da medicina, como órgãos artificiais. Segundo (FERREIRA et al., 2014), as aplicações dos materiais têxteis fibrosos utilizados em implantes são biodegradáveis, tendões artificiais, ligamentos artificiais, cartilagem artificial, pele artificial, artérias vasculares e entre outros. Pensando nas estruturas têxteis desses biomateriais, que podem ser das mais comuns como malhas, tecidos planos, não-tecidos e entrançados, existem características fundamentais a serem analisadas, como a biocompatibilidade, porosidade, biodegradabilidade e não toxicidade. O papel desses materiais têxteis na área médica tem um grande apelo, pelo fato de estar relacionado à saúde e poder salvar vidas. Apesar dos estudos mostrarem uma grande relevância no desenvolvimento de materiais implantáveis e cirúrgicos, o Brasil ainda não está no mesmo ritmo de desenvolvimento, apresentando uma oportunidade para se desenvolver.

Os têxteis médicos estão em uma área de grande crescimento no âmbito de têxteis técnicos, que tem por definição os materiais e produtos têxteis fabricados

principalmente pelo seu desempenho técnico e propriedades funcionais, e não pelas suas características estéticas. Os têxteis técnicos, incluem além dos têxteis médicos, têxteis marinhos, militares, aeroespaciais, industriais, de segurança e de transporte. As características desses materiais envolvem, permeabilidade ao ar, resistência, extensibilidade, flexibilidade e disponibilidade em três estruturas dimensionais, variedade no comprimento da fibra, finura, forma da seção transversal e absorvência. Para se obter algumas características específicas como a coagulação sanguínea, cicatrização de feridas, anticoagulação, absorção de água e sangue, são usadas diferentes técnicas de modificação de superfície e acabamento. Tais modificações abriram espaço para o desenvolvimento de biomateriais, nano materiais e biotecnologia, que levaram à fabricação de novos polímeros, hidrogéis, compósitos e estruturas fibrosas com características únicas para diferentes aplicações médicas (SABER; ABD EL-AZIZ, 2021).

Os materiais têxteis apresentam em sua estrutura as fibras, fios, filamentos e diferentes estruturas de tecidos que são feitos de materiais fibrosos naturais ou sintéticos. Essas variadas aplicações levaram ao desenvolvimento de novas fibras e tecnologias de fabricação de fios e tecidos, sendo de extrema importância na indústria têxtil médica. Foi observado que nos últimos anos, as pesquisas no campo da ciência de materiais, superfícies, aerossóis e engenharia aprimoraram os materiais têxteis com propriedades importantes para a prevenção da propagação de doenças infecciosas (filtragem, antibacterianas, antivirais e respirabilidade). Quando se fala em dispositivos vestíveis, pensamos em recursos como usabilidade, mobilidade e sustentabilidade que podem superar essas deficiências dos dispositivos médicos tradicionais. Esses sistemas vestíveis são projetados para serem a próxima geração de dispositivos móveis pessoais para monitoramento remoto da saúde (SABER; ABD EL-AZIZ, 2021).

As fibras que apresentam propriedades especiais para aplicação médica, incluem fibras de quitosana, quitina, colágeno e alginato de cálcio. As fibras de *commodities* são classificadas em duas categorias, fibras naturais (seda, algodão, viscose, que são usados como materiais não implantáveis e higiene) e fibras sintéticas (poliamida, polipropileno, politetrafluoretileno (PTFE) e carbono). As fibras biodegradáveis podem ser absorvidas pelo organismo dentro de 2-3 meses após a implantação (colágeno e alginato). As não biodegradáveis (poliéster, carbono e PTFE)

não se degradam e são usadas apenas para uso externo (MEDICAL TEXTILES, 2016).

Existem diversos tipos de fibras que podem ser utilizadas na medicina, cada um com propriedades específicas e adequado para diferentes aplicações. O algodão é um material natural amplamente utilizado na indústria têxtil médica. É macio, absorvente e hipoalergênico, o que o torna adequado para roupas hospitalares, curativos e produtos de cuidados com a pele (ITVP, 2023).

O poliéster é um material sintético durável e resistente a manchas. É frequentemente usado na fabricação de aventais, roupas de proteção, coberturas de cama e outros produtos hospitalares, pois é resistente a fluidos e fácil de limpar. O polipropileno é um material leve, resistente à umidade e que não retém bactérias. É comumente utilizado na produção de vestimentas descartáveis, máscaras cirúrgicas e materiais de embalagem estéreis (THADEPALLI, 2022).

A poliamida é conhecida por sua resistência e durabilidade. Na medicina, é usado na fabricação de suturas cirúrgicas, meias de compressão, bandagens elásticas e dispositivos médicos que requerem alta resistência. As partículas de prata são incorporadas em tecidos para fins antibacterianos e antimicrobianos. Essas fibras têm a capacidade de inibir o crescimento de bactérias e reduzir o risco de infecções em curativos, roupas de cama e outros produtos médicos (THADEPALLI, 2022).

O colágeno é uma proteína naturalmente encontrada no corpo humano e pode ser utilizado junto a curativos para melhorar seu desempenho, como na cicatrização de feridas, estimulando o crescimento de novos tecidos. Materiais têxteis específicos são projetados para serem biocompatíveis, ou seja, seguros para uso no corpo humano sem causar reações adversas. Esses tecidos são utilizados na fabricação de dispositivos médicos, como stents, implantes e próteses (ITVP, 2023).

Esses são apenas alguns exemplos de materiais têxteis utilizados na medicina. A escolha do material depende da aplicação específica, levando em consideração fatores como conforto, resistência, capacidade de absorção, propriedades antimicrobianas e biocompatibilidade. A constante pesquisa e desenvolvimento de novos materiais têxteis na área da saúde tem impulsionado a inovação e o aprimoramento dos cuidados médicos (CHEUNG; LI, 2019).

O universo da nanotecnologia possibilita aos têxteis certas propriedades que protegem os seres humanos e seu ambiente natural, além do controle da estrutura cristalina, propriedades mecânicas aprimoradas, resistência aprimorada a produtos

químicos, micróbios, chama e calor, propriedades elétricas aprimoradas, coloração aprimorada e produção de roupas autolimpantes. Unindo-se aos têxteis inteligentes, possibilita uma variedade de aplicações e funções próprias de detecção e atuação que podem ser usadas na medicina. Segundo Saber (2021), estima-se que dispositivos inteligentes feitos de têxteis inteligentes forneçam monitoramento remoto de dados e sinais fisiológicos e físicos de um paciente por meio de sensores não invasivos implantados em materiais de vestuário. Esses dados ou sinais são utilizados para o diagnóstico e o gerenciamento personalizado de doenças crônicas, como diabetes, artrite, doenças pulmonares e cardíacas e hipertensão. Com a ideia de que essas tecnologias permitam aos pacientes o tratamento em casa em vez de hospitais; eles também permitem a detecção precoce de doenças e tratamento oportuno, dando uma oportunidade de qualidade de vida e segurança na saúde (SABER; ABD EL-AZIZ, 2021).

Chamados biotêxteis, esses materiais são fabricados com fibras de diâmetros na escala micrométrica ( $> 10 \mu\text{m}$ ). Esses materiais nanofibrosos têm despertado grande interesse nos campos da ciência das fibras e engenharia têxtil, pois as fibras com esses diâmetros exibiram desempenhos superiores, como tamanho e efeitos de superfície/interface, propriedades ópticas, elétricas, mecânicas e biológicas, em comparação às microfibras. Para a sua fabricação, podemos observar uma combinação de técnicas inovadoras de eletrospinning e estratégias tradicionais de formação têxtil (WU et al., 2022).

Existem algumas características específicas que devemos levar em conta para desenvolver um material têxtil médico. As propriedades mecânicas, incluem durabilidade, resistência e elasticidade das fibras utilizadas nos materiais. A não toxicidade é muito importante, pois o material utilizado não deve causar aumento da temperatura corporal, reação alérgica, qualquer tipo de inflamação e não deve ser de natureza tóxica. A capacidade de esterilização está relacionada a limpeza do material, pois pode estar contaminado com bactérias. Os materiais devem ser bioinertes e bioativos, em relação a biocompatibilidade. As propriedades de difusão e os sistemas de liberação controlada de drogas e membranas como nos rins artificiais (MEDICAL TEXTILES, 2016)

Uma das aplicações mais comuns dos têxteis na medicina é na fabricação de roupas e tecidos hospitalares, como na Figura 16. Os aventais, as toucas, as máscaras e as roupas de cama que garantem a higiene e a segurança nos ambientes

médicos. Esses tecidos são projetados para serem resistentes a fluidos e bactérias, além de serem confortáveis e fáceis de limpar. São não tecidos estéreis e descartáveis utilizados pelos profissionais de saúde durante procedimentos cirúrgicos para manter a higiene e prevenir a contaminação. Os aventais cirúrgicos são resistentes a fluidos, usados para proteger o corpo e a roupa dos profissionais de saúde durante procedimentos médicos. Já as máscaras e luvas ajudam a prevenir a propagação de infecções (THADEPALLI, 2022).

Figura 16 - Avental cirúrgico descartável



Fonte: Neve Medical, 2023.

Além disso, os têxteis são amplamente utilizados na produção de materiais de curativos avançados, como o exemplo da Figura 17. Os curativos com tecnologia de liberação controlada de medicamentos, por exemplo, utilizam tecidos especiais que permitem a absorção e a liberação gradual de substâncias terapêuticas, acelerando o processo de cicatrização. Os curativos absorventes são tecidos projetados para absorver fluidos corporais, como sangue, exsudato ou secreções, em feridas. Outra opção, são os tecidos que atuam como uma barreira física, impedindo a entrada de microrganismos ou protegendo a área afetada. Tais curativos possuem tecidos com adesivos incorporados que permitem fixar o curativo na pele, proporcionando proteção e promovendo a cicatrização (CHEUNG; LI, 2019).

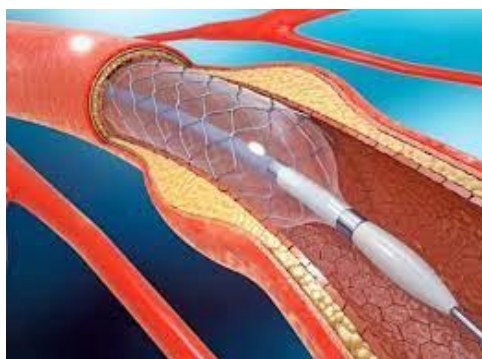
Figura 17 - Curativo de alta performance



Fonte: Cremer, 2023.

Sabendo que os polímeros superabsorventes são o principal componente para o núcleo absorvente de um produto de higiene pessoal (fraldas para bebês e produtos para incontinência feminina), são um grupo de polímeros hidrofílicos reticulados que são capazes de absorver uma grande quantidade de água e soluções aquosas como sangue e urina (até centenas de vezes seu peso original) sem qualquer alteração em sua forma e estrutura em um curto espaço de tempo e retê-los sob uma leve pressão mecânica. Proporcionam características como manter a pele seca, evitam irritações e conforto ao usuário (THADEPALLI, 2022).

Outra aplicação importante dos têxteis na medicina é na fabricação de dispositivos médicos, como suturas, bandagens compressivas, *stents*, implantes (Figura 18) e próteses. Esses dispositivos podem ser produzidos a partir de materiais têxteis biocompatíveis, como polímeros, que são seguros para uso no corpo humano. Os tecidos nesse contexto são projetados para serem resistentes, flexíveis e capazes de interagir de forma adequada com os tecidos biológicos (ITVP, 2023).

Figura 18 - *Stent*

Fonte: Garcia, 2023.

Essas classificações por função dos têxteis na área médica ajuda a identificar a aplicação específica de cada tipo de tecido. É importante considerar as



características de cada tecido, como absorção, barreira, conforto e biocompatibilidade, ao selecionar o material adequado para cada finalidade médica. As meias de compressão, como na Figura 19, possuem tecidos elásticos utilizados para melhorar a circulação sanguínea, reduzir o inchaço e prevenir a formação de coágulos sanguíneos. Já as bandagens de compressão são utilizadas para envolver membros lesionados, proporcionando compressão e suporte (FERREIRA et al., 2014).

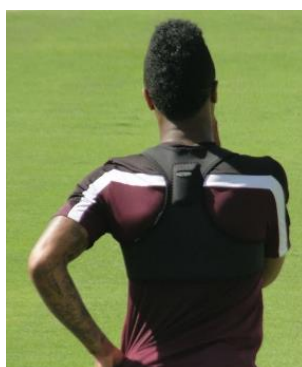
Figura 19 - Meia de compressão



Fonte: Decathlon, 2023.

Além disso, a tecnologia têxtil também tem sido aplicada no desenvolvimento de vestimentas inteligentes para a monitorização da saúde. Tecidos com sensores integrados podem captar e transmitir dados vitais, como frequência cardíaca, pressão arterial e atividade muscular, permitindo um monitoramento contínuo e remoto dos pacientes. Isso facilita o diagnóstico precoce, o acompanhamento de condições crônicas e a prevenção de complicações (FERREIRA et al., 2014).

Figura 20 - Colete monitorador de sinais vitais com GPS



Fonte: ESPN, 2014.

No segmento dos têxteis inteligentes, são definidos como têxteis que podem sentir e responder a estímulos do ambiente externo, temos os *e-textiles* ou *wearables*, com o objetivo de promover a saúde e a qualidade de vida na área médica. Esse sistema atribui a área têxtil (tecido, malhas e não-tecido), tecnologia da computação (inteligência artificial) e eletrônicos vestíveis (microcontrolador e sensores). Podem ser divididos em cinco categorias diferentes por conta das suas aplicações, como saúde (análise de ECG e monitoramento de feridas), equipamentos de proteção individual, militares (proteção armada e análise corporal), esportes/lazer (monitoramento de temperatura e pressão corporal e de desempenho como na Figura 20 utilizada por jogadores de futebol, proteção armada e análise corporal) e estética/moda (temáticas de iluminação e leds). Os têxteis inteligentes para cuidados de saúde podem conter sensores, atuadores e sistemas eletrônicos vestíveis implantados em tecidos que permitem o registro e a transmissão de sinais fisiológicos (ZAMAN et al., 2022).

Com foco na saúde, temos os dispositivos terapêuticos, com os dispositivos de reabilitação, terapia respiratória, gerenciamento de dor e bombas de insulina. Para dispositivos de diagnóstico e monitoramento, temos os dispositivos de monitoramento de sinais vitais, de glicose, de sono, de neuromonitoramento, fetal e obstétricos. O tipo de fibra utilizada também varia de acordo com a aplicação. A maioria dos produtos têxteis médicos (e fibras relacionadas) necessita de esterilização e deve ser de natureza não-cancerígena e antialérgica (ZAMAN et al., 2022).

A incorporação de condutores, sensores, e outros revestimentos mais avançados nos substratos têxteis, são exemplos dos estudos recentes na área dos *e-textiles*. Existem três classificações para esses estímulos: Têxteis inteligentes passivos: esse tipo de produto apenas pode sentir estímulos ou condições ambientais funcionando basicamente como sensores; têxteis inteligentes ativos: este grupo também tem a função de atuador, produzindo uma reação ao estímulo; têxteis muito inteligentes: este grupo é, sem dúvida, o mais complexo, pois tem ainda a capacidade de se adaptar de acordo com a resposta recebida (FERREIRA, et al., 2014).

Esses dispositivos inovadores criaram oportunidades para o tratamento de pacientes com doenças crônicas que precisam de atenção médica constante, como diabetes, distúrbios oculares, câncer, cicatrização de feridas, doenças cardiovasculares e contracepção. Os dispositivos vestíveis são usados na superfície do corpo, oferecendo plataformas de administração de medicamentos não invasivas e autoadministráveis que recebem grande adesão do paciente. Esse conceito ajudou

a enfrentar muitos desafios associados à abordagens convencionais de entrega de drogas, como dosagem duplicada, direcionamento não seletivo, biodistribuição descontrolada de drogas e toxicidade fora do previsto. Unindo os dispositivos de entrega de medicamentos vestíveis ou implantáveis a módulos bioeletrônicos autoalimentados e controlados sem fio ajudaram a expandir seu potencial para assistência médica móvel (telemedicina) e medicina personalizada, permitindo a entrega de medicamentos em circuito fechado (KAR et al., 2022).

O ideal desses modelos de tecidos é uma infraestrutura de comunicação, fornecendo as informações geradas para favorecer áreas como a saúde. Esta procura por novas soluções tem criado algumas possibilidades para acrescentar valor aos substratos têxteis tradicionais, dando funcionalidade. Que podem ser pela utilização de novas fibras de alto desempenho, desenvolvimento de novas estruturas, aplicação de novos acabamentos e integração de sistemas eletrônicos. A integração de eletrônica em produtos têxteis não é fácil, devido a diferença de condutividade elétrica; os componentes eletrônicos apresentam sempre uma condutividade compreendida entre os condutores e os semicondutores. Sensibilidade a ambientes húmidos; a tecnologia eletrônica é por natureza uma tecnologia em que o ambiente húmido altera o seu funcionamento levando em muitos casos a danificação dele, destruindo as propriedades condutoras. Flexibilidade dos materiais; os materiais têxteis apresentam fios flexíveis obtidos através de torção induzida nas fibras, são moldáveis e até podem ser sujeitos a forças de tração sem perder as suas propriedades. Os componentes eletrônicos são normalmente rígidos (COSTA, 2017).

Compreendendo a aplicação dos têxteis inteligentes na saúde, temos como propósito ajudar o paciente durante a reabilitação, ajudar os profissionais durante atividades de risco, assegurar o acompanhamento inteligente dos utilizadores durante as tarefas diárias e exercício físico. Esse retorno pode incluir alertas e avisos, para garantir a segurança e fornecer garantias. Através de transmissão automática de parâmetros fisiológicos ou clinicamente sensíveis, serviços de alerta de emergência, se a situação se tornar crítica (ausência de resposta do paciente, sinais vitais alarmantes). Entende-se que também deve permitir a interpretação e extrapolação do índice relacionado às condições fisiológicas, considerando todos os dados simultaneamente. Além de garantir uma interface harmônica para os profissionais de saúde (COSTA, 2017).

Os têxteis na medicina continuam a evoluir e a desempenhar um papel crucial no avanço da área da saúde. A interação entre a indústria têxtil e a medicina tem impulsionado a inovação, resultando em produtos cada vez mais eficientes, seguros e confortáveis para melhorar o cuidado e o bem-estar dos pacientes (KAR et al., 2022)

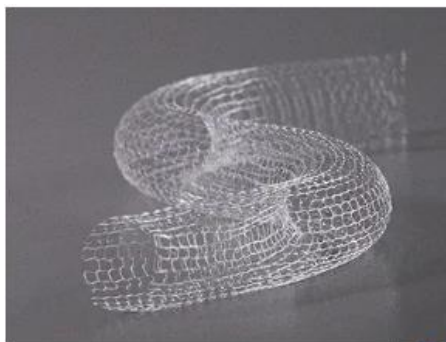
Para o têxtil inteligente ser efetivo, as fibras e tecidos têm de satisfazer requisitos especiais relativos à condutividade e ao processamento e usabilidade; têm de ser capazes de suportar o manuseamento que é típico para os têxteis. Durante os processos de tecelagem, lavagem e enrugamento, não devem danificar a funcionalidade, as fibras usadas em peças vestíveis têm que ser finas e confortáveis, os tecidos precisam de ter uma baixa resistência mecânica à flexão e corte, para que possam ser facilmente deformados e cobertos. Entende-se que quanto mais próximos os têxteis estão do corpo, mais flexível e leves devem ser, sem que comprometa o desempenho do usuário. As funções e componentes que são requisitos em qualquer tecido inteligente, são: sensores, processamento de dados, atuação, armazenamento de energia, comunicação e fonte de alimentação de um material têxtil (COSTA, 2017).

Ainda sobre as características dos tecidos inteligentes, eles devem apresentar funcionalidade e podem ser avaliados em aplicações de interface ou dispositivos de comunicação, como teclados ou elétrodos têxteis, ou para implementar linhas de transmissão de sinal. A usabilidade garante uma rápida e fácil disseminação entre os consumidores finais, associada com capacidade de aprendizagem, eficácia, memorização, baixa taxa de erro e satisfação. Os tecidos inteligentes podem ter como danos/problemas recorrentes o sobreaquecimento e curto-circuito, ou apresentarem fugas ou descargas elétricas, então a segurança deve estar em primeiro lugar. A durabilidade deve ser classificada em função das condições de uso, lavagem e utilização diária. Quando se tem o uso de componentes eletrônicos, estes materiais devem ser protegidos, por conta da sua incompatibilidade com a água ou ambientes úmidos (COSTA, 2017).

Os polímeros absorvíveis estão chegando com muito potencial, se tornando cada vez mais populares nas tecnologias da próxima geração. A empresa *Aran Biomedical* (ARAN BIOMEDICAL, 2023) possui materiais como malha absorvível para reparo de hérnias, suturas absorvíveis para aplicações de medicina esportiva ou tecidos implantáveis para aplicações cardiovasculares. Com base nos biomateriais, a Aran Biomedical pode adaptar a composição do material para atender aos requisitos específicos do cliente, como biocompatibilidade, tempo de degradação e resistência

à tração. Os fios selecionados são caracterizados e cuidadosamente gerenciados através das etapas de preparação, processamento e pós-processamento do tecido para garantir que as propriedades desejadas do material sejam mantidas durante todo o processo de desenvolvimento e fabricação. As indicações típicas para revestimentos reabsorvíveis podem incluir a criação de barreiras antiaderentes ou camadas de barreira impermeáveis.

Figura 21 - Têxtil absorvível



Fonte: Aran Biomedical, 2023.

Os materiais são controlados através de um abrangente Sistema de Gestão da Qualidade, de acordo com as normas ISO, com atividades realizadas em condições de sala limpa. Isso garante qualidade e capacidade de rastreamento desde a resina até o dispositivo acabado. Usando o Controle de Degradação, o teste e a caracterização do perfil de degradação do material são concluídos usando viscosímetros e equipamentos de titulação de umidade, enquanto a qualidade do material durante e após o processamento é mantida usando fornos a vácuo. E as instalações de manuseio, os materiais reabsorvíveis são mantidos em câmara fria e todas as unidades são seladas a vácuo e embaladas adequadamente, para proteger as peças e manter a integridade do material (ARAN BIOMEDICAL, 2023)

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TÊXTEIS NA ÁREA MÉDICA

Os têxteis utilizados na área médica podem ser classificados de diferentes maneiras, levando em consideração suas propriedades e aplicações. Podem ser divididos em grupos de substratos pelas suas funções, pelas suas propriedades, pela

sua composição e pela tecnologia presente. Os tipos apresentados são não implantáveis, implantáveis, extracorporais, saúde e higiene (FERREIRA et al., 2014).

A Classificação por composição é dividida em três grupos. Os de origem natural, onde os tecidos são feitos de fibras naturais, como algodão, seda ou linho. Tecidos feitos de fibras sintéticas, como poliéster, polipropileno ou poliamida. Tecidos que combinam fibras naturais e sintéticas para obter propriedades desejadas, como conforto e resistência (MEDICAL TEXTILES, 2016).

Classificando por tecnologia, temos os tecidos inteligentes, com sensores ou componentes eletrônicos incorporados, que permitem a monitorização de sinais vitais ou fornecem terapias específicas. E tecidos que contêm substâncias medicamentosas incorporadas, liberando-as gradualmente para promover a cicatrização ou tratar condições médicas específicas (MEDICAL TEXTILES, 2016).

#### **2.4.1 Não implantável**

Compreendendo os têxteis médicos na área de têxteis técnicos, possibilita o desenvolvimento de aplicações além de suturas e cuidado de feridas. Os materiais não implantáveis podem ou não entrar em contato com a pele, como cuidados com feridas, bandagens, emplastos, roupas de pressão, cintos ortopédicos etc. Temos como exemplo fios de fibra elastomérica com estrutura de tecido e malha, para aplicação em bandagens de compressão. Oferecem proteção contra infecções, absorvem sangue e exsudatos e promovem a cicatrização (THADEPALLI, 2022).

Existe uma demanda para materiais não implantáveis impulsionados pelo crescente número de cirurgias em todo o mundo, pois protegem feridas e pontos do ambiente externo. Os produtos não implantáveis são usados principalmente para reduzir o inchaço, melhorar a cicatrização, reduzir a hemorragia, restringir o movimento das bordas da ferida, proporcionar alívio da dor e manter a cânula intravenosa no lugar. Espera-se que o uso crescente de bens não implantáveis avançados, como torniquetes, para aplicar pressão nos membros para limitar o fluxo de sangue na reabilitação pós-operatória, beneficie a demanda para esses materiais não implantáveis (MEDICAL TEXTILES, 2016).

## 2.4.2 Implantável

Os materiais implantáveis são usados para efetuar reparos no corpo, como fechamento de feridas (suturas) ou em cirurgias de substituição (enxertos vasculares, ligamentos artificiais etc.). Temos como exemplo a fibra de PTFE, polipropileno com estrutura de tecido mono filamento, trançado para aplicação em suturas biodegradáveis (AKTER; AZIM, 2014).

Têxteis médicos implantáveis são biomateriais usados no paciente para fechamento de feridas (sutura), cirurgia de substituição (ligamentos artificiais e enxertos vasculares) e implantes de tecidos moles. Temos também os materiais flexíveis e fortes comumente usados para substituição de tendões, ligamentos e cartilagens em cirurgias corretivas e reconstrutivas. Suspensores e malhas cirúrgicas de reforço são usados em cirurgia plástica para reparar defeitos da parede abdominal em casos como hérnia. Eles também são usados como implantes para válvulas cardíacas, pele artificial, articulações, veias e ossos etc (THADEPALLI, 2022).

Os têxteis para implantes médicos desempenham um papel crucial no campo da medicina, fornecendo suporte estrutural, promovendo a biocompatibilidade e permitindo a integração com o tecido humano. Existem diversos tipos de têxteis utilizados na medicina, cada um com características específicas e projetados para aplicações distintas (SPENCER, 2001).

Os implantes vasculares, como *stents* e próteses arteriais, frequentemente incorporam tecidos têxteis para fornecer suporte estrutural e promover a cicatrização adequada. Esses tecidos podem ser de natureza sintética ou biológica e são projetados para imitar as propriedades mecânicas dos vasos sanguíneos naturais, são os têxteis para próteses vasculares (ITPV, 2021).

Em implantes ortopédicos, como próteses de articulações, tendões artificiais ou suturas reforçadas, os têxteis desempenham um papel fundamental na estabilização e suporte dos tecidos e estruturas ósseas. Esses tecidos são projetados para serem fortes, duráveis e capazes de suportar as demandas biomecânicas do sistema musculoesquelético (ROHANI; NOURI, 2020).

Os implantes mamários utilizam têxteis como invólucros externos para conter o material de preenchimento interno. Esses têxteis podem variar em termos de textura, elasticidade e revestimento para atender às necessidades individuais e preferências dos pacientes (SAÚDE DIGITAL, 2019).

Os dispositivos de suporte herniário, como telas e malhas herniárias, são frequentemente fabricados com tecidos têxteis. Esses tecidos fornecem reforço estrutural e suporte para reparo de hernioplastia, ajudando a prevenir recorrências e promovendo a cicatrização adequada (MOTA, 2021).

As suturas cirúrgicas são frequentemente feitas de materiais têxteis, como polímeros sintéticos ou fibras naturais, para permitir a união de tecidos e o fechamento de incisões cirúrgicas. Esses tecidos são projetados para ter força suficiente para segurar os tecidos juntos durante o processo de cicatrização (ROHANI; NOURI; SUTTI, 2022).

### **2.4.3 Extracorporais**

Os materiais extracorpóreos são dispositivos usados para o paciente indicar os órgãos mecânicos que são usados para purificação do sangue e incluem o rim artificial (dialisador), o fígado e o pulmão mecânico. Eles apoiam a função de órgãos vitais, como rim, fígado, pulmão, marcapasso cardíaco etc. A fabricação desses dispositivos para funcionar requer projeto e fabricação precisos. Temos também os filtros médicos feitos de fibras ocas porosas que fornecem suporte extracorpóreo temporário ou de longo prazo para órgãos humanos falidos. Temos como exemplo a fibra de poliéster oca e viscosa oca que remove os produtos residuais do sangue dos pacientes, usados em rim artificial. A biocompatibilidade é o critério mais importante para materiais em contato direto com organismos vivos (THADEPALLI, 2022).

As fibras ocas vêm ganhando espaço no mercado pelas suas propriedades físicas e outras características superiores, fornecendo soluções terapêuticas. O uso de fibras ocas pode ter efeitos benéficos para o desempenho médico e terapêutico, um mercado para roupas médicas à base de fibra oca. O uso de têxteis biomédicos com funções de liberação de drogas, permitiu a liberação para o local desejado através da pele ou tecidos. Os *scaffolds* bioativos artificiais, também fazem parte desse universo, como auxiliares/plataformas para cicatrização da pele. Outras aplicações em dispositivos médicos, como dialisadores, biorreatores e ensaios de triagem de drogas (CHEUNG; LI, 2019).



#### 2.4.4 Saúde e higiene

Os materiais de saúde e higiene, normalmente são utilizados tanto no bloco operatório como nas enfermarias do hospital para higiene, cuidados e segurança do pessoal e dos doentes, usados próximos ao paciente em aplicações relacionadas ao uso diário em hospitais e indústrias de saúde. Podem ser laváveis ou descartáveis. Temos como exemplo as fibras de viscose, fibra de poliéster e fibra de vidro, em estrutura de tecido não-tecido, pode ser usado em máscaras cirúrgicas (AKTER; AZIM, 2014).

Como exemplo claro nos últimos tempos, foi a alta demanda de materiais hospitalares como proteção ao combate a contaminação da COVID-19, os equipamentos de proteção individual. Onde a escassez de máscaras cirúrgicas, batas e luvas tomaram conta de todo o mundo. Devido a contaminação, podemos citar como característica que se buscava desses materiais a filtragem, respirabilidade, ergonomia, impermeáveis, antibactericida etc.(RODRIGUES, 2020). Como exemplo simples de higiene, temos as fraldas descartáveis ou outros produtos absorventes.

Os biomateriais têm um papel fundamental em relação principalmente com os têxteis implantáveis e extracorpóreos, por exemplo, uma vez que é necessário a biocompatibilidade (possui afinidade com tecidos ou órgãos vivos). Definido como o material que faz interface em nossos sistemas biológicos que aumentam, tratam ou substituem qualquer tecido, órgão ou o funcionamento do corpo. São projetados e desenvolvidos para interagir com os sistemas biológicos, são bioativos e facilmente compactáveis ao tecido humano. Usados em medicamentos, engenharia de tecidos, fabricação de partes do corpo humano e outras aplicações de fabricação (RATNER, 2019).

### 2.5 BIOMATERIAIS

Os biomateriais têm uma longa história e sua origem remonta a várias culturas antigas. No entanto, o desenvolvimento formal e a evolução dos biomateriais como uma área de pesquisa e aplicação começaram principalmente a partir do século XX. Historicamente, materiais como madeira, metais e cerâmicas têm sido utilizados em aplicações biomédicas há séculos. Por exemplo, próteses dentárias feitas de marfim

ou metais eram usadas no Egito Antigo, e implantes de metal foram usados em cirurgias ortopédicas durante a Primeira Guerra Mundial (LI et al., 2014).

O marco mais significativo no campo dos biomateriais ocorreu na década de 1950, quando surgiram os primeiros polímeros sintéticos. O polietileno e o poliéster, por exemplo, foram desenvolvidos como materiais biocompatíveis para uso em implantes médicos. Esses avanços abriram caminho para o desenvolvimento de uma ampla variedade de materiais poliméricos que podem ser usados em aplicações biomédicas. A década de 1960 foi marcada pela descoberta e uso de biocerâmicas, como a hidroxiapatita, que é semelhante ao componente mineral dos ossos. A hidroxiapatita e outras cerâmicas biocompatíveis são amplamente utilizadas em aplicações ortopédicas e dentárias (LI et al., 2014).

Houve um progresso significativo na área de biomateriais, impulsionado pelo avanço da ciência dos materiais e da engenharia tecidual. Novos materiais estão sendo desenvolvidos, como hidrogéis, materiais compostos e materiais bioativos, para atender às necessidades específicas de aplicações biomédicas. Além disso, a nanotecnologia tem desempenhado um papel importante no avanço dos biomateriais. Nanomateriais, como nanopartículas e nanofibras, têm sido usados para melhorar a funcionalidade e as propriedades dos biomateriais, permitindo aplicações mais avançadas, como a entrega direcionada de medicamentos ou a engenharia de tecidos em escala nanométrica (ROHANI; NOURI; WEN, 2021).

Biomateriais são materiais desenvolvidos para interagir com sistemas biológicos, como células, tecidos e órgãos, de maneira segura e eficaz. Eles são projetados para serem compatíveis com o corpo humano ou outros sistemas biológicos, a fim de desempenhar funções específicas, como substituir ou reparar tecidos danificados, promover o crescimento de tecidos, melhorar a funcionalidade de órgãos ou atuar como sistemas de liberação de medicamentos (ROHANI; NOURI; WEN, 2021).

Os biomateriais podem ser feitos de uma variedade de materiais, incluindo metais, polímeros, cerâmicas, vidros e compósitos. A escolha do material depende da aplicação específica e das propriedades desejadas, como biocompatibilidade, resistência mecânica, degradação controlada e capacidade de suportar cargas biológicas. Os biomateriais funcionam interagindo com o ambiente biológico de diferentes maneiras, dependendo de suas propriedades e da aplicação específica. Eles são projetados para cumprir funções específicas e podem desempenhar um

papel crucial na substituição, reparação ou melhoria de tecidos, órgãos e sistemas biológicos (ROHANI; NOURI; SUTTI, 2022).

Um dos aspectos fundamentais dos biomateriais é a biocompatibilidade, ou seja, a capacidade de interagir com os sistemas biológicos sem causar danos ou reações adversas. Os biomateriais devem ser cuidadosamente selecionados e projetados para serem compatíveis com o ambiente biológico em que serão implantados. Isso envolve considerar fatores como a resposta imunológica do corpo, a capacidade de integração com tecidos circundantes e a resistência à degradação (ROHANI; NOURI; SUTTI, 2022).

Os biomateriais também podem ser utilizados em dispositivos médicos, como implantes ortopédicos, próteses, *stents* cardíacos e dispositivos de monitoramento. Nesses casos, os biomateriais devem ter propriedades mecânicas adequadas para suportar cargas e desempenhar funções específicas no contexto clínico (ARAN BIOMEDICAL, 2021).

Os biomateriais são projetados para interagir com sistemas biológicos de maneira segura e eficaz. Eles funcionam de diferentes formas, dependendo de sua composição, propriedades e aplicação específica. Um aspecto fundamental dos biomateriais é sua biocompatibilidade, ou seja, sua capacidade de serem compatíveis com o ambiente biológico sem causar reações adversas. Isso significa que os biomateriais devem ser projetados para não desencadear respostas imunológicas ou inflamatórias indesejadas quando em contato com células, tecidos ou fluidos corporais (BERNARDO et al., 1311).

Alguns biomateriais são projetados para interagir com tecidos vivos, promovendo a adesão celular e o crescimento de novos tecidos. Por exemplo, um biomaterial usado em engenharia de tecidos pode fornecer uma estrutura tridimensional que as células podem colonizar e se proliferar. Isso permite a regeneração de tecidos danificados ou a criação de tecidos artificiais para substituição de órgãos. Outros biomateriais são projetados para serem biodegradáveis, o que significa que se degradam ao longo do tempo e são absorvidos pelo organismo. Esses biomateriais são usados em aplicações onde a função temporária é necessária, como suturas ou dispositivos de liberação controlada de medicamentos. À medida que o biomaterial se degrada, o tecido natural se reconstitui, eliminando a necessidade de remoção cirúrgica (RATNER, 2019).

Certos biomateriais são projetados para estimular uma resposta biológica específica. Por exemplo, um biomaterial bioativo pode ter uma superfície especial que promove a adesão celular e a formação de tecido ósseo ao seu redor. Isso é particularmente útil em implantes dentários ou no reparo de fraturas ósseas. Alguns biomateriais são usados como veículos para liberar medicamentos de maneira controlada. Os medicamentos são incorporados no biomaterial, que atua como uma matriz ou reservatório. Conforme o biomaterial se degrada, o medicamento é liberado gradualmente no local desejado, permitindo uma terapia direcionada e prolongada (RODRIGUES, 2020).

A funcionalidade dos biomateriais pode ser ampliada através de avanços tecnológicos, como a incorporação de eletrônicos ou sensores. Isso permite o desenvolvimento de biomateriais funcionais que podem monitorar parâmetros biológicos, estimular atividades elétricas ou interagir com sistemas externos. Os biomateriais funcionam através da interação com sistemas biológicos, fornecendo suporte estrutural, estimulando respostas biológicas específicas, permitindo a liberação controlada de medicamentos e, em alguns casos, degradando-se e sendo absorvidos pelo organismo. Essas características tornam os biomateriais ferramentas valiosas em diversas aplicações médicas e de engenharia de tecidos (RATNER, 2019).

Existem diferentes tipos de biomateriais, cada um com suas próprias características e mecanismos de ação. Alguns biomateriais funcionam como suporte estrutural, fornecendo um ambiente tridimensional para o crescimento e a regeneração de células e tecidos. Esses biomateriais podem ser usados em engenharia de tecidos, onde são implantados para substituir ou reparar tecidos danificados ou ausentes. Eles podem servir como arcabouços ou *scaffolds*, proporcionando um suporte físico para que as células se organizem e se desenvolvam. Ao longo do tempo, esses biomateriais podem ser gradualmente substituídos pelo próprio tecido do paciente à medida que se integram ao organismo (ROHANI; NOURI; WEN, 2021).

Outros biomateriais podem desempenhar funções mais ativas, como estimular respostas biológicas específicas. Por exemplo, um biomaterial bioativo pode interagir com as células e tecidos ao seu redor, promovendo a adesão celular, a proliferação e o crescimento do tecido. Isso pode ser alcançado através de características químicas ou físicas do material que imitam as propriedades dos tecidos naturais e estimulam a

resposta biológica desejada. Os biomateriais podem ser projetados para liberar substâncias bioativas, como medicamentos ou fatores de crescimento, de maneira controlada. Esses sistemas de liberação de medicamentos podem fornecer tratamentos localizados e direcionados, reduzindo a necessidade de doses elevadas e minimizando os efeitos colaterais (ROHANI; NOURI; SUTTI, 2022).

Biomateriais inertes são materiais que não interagem ativamente com o ambiente biológico, como implantes dentários feitos de titânio. Biomateriais bioativos são materiais que interagem com o tecido biológico, estimulando uma resposta biológica desejada, como vidro bioativo utilizado em enxertos ósseos. Biomateriais biodegradáveis são materiais que se degradam ao longo do tempo, sendo absorvidos pelo organismo após cumprir sua função, como suturas feitas de polímeros biodegradáveis. Biomateriais funcionais são materiais que apresentam propriedades específicas, como capacidade de condução elétrica, permitindo seu uso em aplicações como estimulação nervosa ou interfaces cérebro-máquina (RATNER, 2019).

Os biomateriais desempenham um papel importante em várias áreas, como medicina regenerativa, engenharia de tecidos, odontologia, implantes médicos, próteses e dispositivos médicos em geral. Eles continuam a ser objeto de pesquisa e desenvolvimento para expandir suas aplicações e melhorar sua eficácia no campo da saúde e bem-estar humano (ROHANI; NOURI; SUTTI, 2022).

### **2.5.1 Biomaterial têxtil**

Os biomateriais têxteis são uma categoria específica de biomateriais que combinam propriedades dos materiais têxteis convencionais com características biológicas e biocompatíveis. Esses materiais têm uma estrutura têxtil tridimensional e podem ser fabricados a partir de fibras naturais, sintéticas ou uma combinação de ambas. Os biomateriais têxteis oferecem diversas vantagens em aplicações biomédicas devido às suas propriedades únicas (BERNARDO et al., 1311).

Os biomateriais têxteis são frequentemente usados na engenharia de tecidos para criar estruturas tridimensionais que mimetizam a arquitetura e as propriedades mecânicas dos tecidos biológicos. Esses materiais fornecem um suporte físico para o crescimento e a organização das células, permitindo a regeneração de tecidos. Por

exemplo, matrizes têxteis podem ser usadas como suporte para a regeneração de pele, vasos sanguíneos, cartilagem e outros tecidos (ROHANI; NOURI, 2020).

Biomateriais têxteis são amplamente usados na fabricação de suturas cirúrgicas e dispositivos de fixação, como grampos e fios de sutura. Esses materiais devem ser biocompatíveis, flexíveis, fortes e resistentes para garantir uma cicatrização adequada e segura das incisões cirúrgicas. Os biomateriais têxteis também são usados no desenvolvimento de próteses e implantes. Por exemplo, tecidos têxteis podem ser utilizados como revestimento para próteses vasculares, válvulas cardíacas artificiais, implantes herniários e muitos outros dispositivos médicos. Esses materiais devem ser biocompatíveis, duráveis e ter a capacidade de interagir adequadamente com os tecidos biológicos circundantes (ITG MEDEV, 2023).

Os biomateriais têxteis também são aplicados na fabricação de curativos avançados e dispositivos de liberação de medicamentos. Tecidos têxteis podem ser projetados para ter propriedades antimicrobianas, promover a cicatrização de feridas ou atuar como veículos de liberação controlada de medicamentos, proporcionando uma terapia localizada e prolongada (ROHANI; NOURI, 2020).

Na bioengenharia de órgãos, os biomateriais têxteis podem ser utilizados como suporte para a criação de estruturas de órgãos artificiais, como tecido hepático, renal ou cardíaco. A arquitetura tridimensional dos tecidos têxteis pode fornecer um ambiente adequado para o crescimento e a organização celular, permitindo a construção de órgãos funcionais (SAÚDE DIGITAL, 2019).

### **2.5.2 Absorvível versus não absorvível**

A diferença entre um biomaterial absorvível e um não absorvível está relacionada à sua capacidade de serem degradados e absorvidos pelo organismo ao longo do tempo. Um biomaterial absorvível é projetado para se degradar gradualmente e ser absorvido pelo corpo após cumprir sua função específica. Esse processo de degradação pode ocorrer por meio de reações químicas, hidrólise ou ação de enzimas presentes no organismo. À medida que o biomaterial absorvível se degrada, seus fragmentos são gradualmente metabolizados e eliminados do corpo. Isso elimina a necessidade de remoção cirúrgica posteriormente. Os biomateriais absorvíveis são frequentemente usados em aplicações temporárias, como suturas, dispositivos de fixação óssea, implantes temporários ou curativos biodegradáveis.

Exemplos comuns de biomateriais absorvíveis incluem polímeros biodegradáveis, como poliácidos, poliésteres e derivados de colágeno (ITVP, 2021).

Por outro lado, um biomaterial não absorvível é projetado para permanecer no local onde foi implantado por um longo período de tempo, sem ser degradado ou absorvido pelo organismo. Esses materiais são frequentemente usados em aplicações onde uma estrutura de suporte permanente é necessária, como próteses permanentes, dispositivos de fixação ortopédica ou implantes de longo prazo. Os biomateriais não absorvíveis podem ser feitos de metais (como titânio, aço inoxidável), cerâmicas (como alumina, zircônia) ou polímeros não biodegradáveis (como polietileno de alta densidade) (BERNARDO et al., 2020).

A escolha entre biomateriais absorvíveis e não absorvíveis depende do objetivo do tratamento, da duração esperada da função do dispositivo implantado e das características específicas do tecido ou órgão envolvido. A seleção adequada do tipo de biomaterial é fundamental para garantir a eficácia, segurança e resultados clínicos satisfatórios de um implante ou dispositivo biomédico (LI et al., 2014).

## 2.6 HÉRNIA E TRATAMENTO

O tratamento de hérnia abdominal é uma questão importante para muitas pessoas que sofrem com essa condição. Uma hérnia abdominal ocorre quando um órgão interno, geralmente parte do intestino, se projeta através de uma fraqueza na parede abdominal. Essa protuberância pode causar desconforto, dor e até mesmo complicações graves se não for tratada (UTRABO et al., 2021).

Existem diferentes abordagens no tratamento de hérnias abdominais, e a escolha do método depende de vários fatores, incluindo o tamanho e a localização da hérnia, a idade e a saúde geral do paciente. Duas opções comuns de tratamento são, cirurgia de hérnia e uso de suportes ou cintas abdominais (MEDTRONIC (BR), 2023).

A cirurgia de hérnia é o tratamento mais comum e geralmente é recomendado para hérnias que sintomáticas manifestam ou que podem levar a complicações graves. Existem diferentes técnicas cirúrgicas disponíveis, incluindo a cirurgia aberta e a laparoscópica. Na cirurgia aberta, o médico faz uma incisão na região submetida a cirurgia e reposiciona o órgão protruso de volta ao seu local adequado. Em seguida, a parede abdominal é fortalecida e fechada com suturas, utilizando uma malha de reforço se necessário. Já na cirurgia laparoscópica, são feitas várias incisões

menores, através das quais um instrumento cirúrgico e uma câmera são inseridos para realizar a cirurgia da hérnia. Essa abordagem minimamente invasiva pode resultar em menos dor e tempo de recuperação mais rápido (UTRABO et al.,2021).

Outra opção de tratamento para hérnias abdominais é o uso de suportes ou cintas abdominais. Esses dispositivos fornecem suprimentos e suporte à área acomodados, ajudando a manter a hérnia no lugar e aliviando os sintomas. Embora essa abordagem possa ser útil para pessoas que não são candidatas à cirurgia ou que desejam adiar o procedimento hospitalar, é importante ressaltar que ela não cura a hérnia. A utilização de suportes ou cintas abdominais é mais indicada para casos em que a hérnia é pequena e assintomática (UTRABO et al.,2021).

Independentemente do método de tratamento escolhido, é fundamental que os pacientes com hérnias abdominais busquem cuidados médicos profissionais. Recomenda-se também técnicas assépticas de transferência da malha para a área cirúrgica. Assim como, a malha deve ser implantada pelo cirurgião treinado para sutura (VENKURI, 2023).

Existem diferentes tipos de hérnias, cada uma ocorrendo em áreas específicas do corpo. Hérnia inguinal é a forma mais comum de hérnia e ocorre na região da virilha. Ela pode ocorrer em homens e mulheres, mas é mais comum em homens. A hérnia inguinal ocorre quando uma porção do intestino delgado ou do tecido adiposo abdominal protrui (sobressaem) através de uma fraqueza ou abertura na parede abdominal na região inguinal (SAÚDE E BEM ESTAR, 2023).

A hérnia femoral é semelhante à hérnia inguinal, a hérnia femoral também ocorre na região da virilha, mas em um ponto mais abaixo e próximo à coxa. Ela ocorre quando um órgão ou tecido sobressai através de uma abertura na parede abdominal, chamada de anel femoral. A hérnia umbilical é uma protuberância ocorre na região do umbigo. Pode ocorrer em recém-nascidos, quando o músculo abdominal não fecha completamente, ou em adultos, devido a uma fraqueza ou abertura na parede abdominal na região umbilical (SCHLOSSER et al., 2022).

A hérnia incisional ocorre em uma área onde uma incisão cirúrgica prévia foi feita. Pode ocorrer após uma cirurgia abdominal, quando o tecido ou órgão protrui através da incisão mal cicatrizada ou de uma área enfraquecida da parede abdominal. Diferente das hérnias anteriores, a hérnia hiatal ocorre no diafragma, que é uma camada de músculo que separa o tórax do abdômen. Nesse caso, parte do estômago



empurra para cima através do diafragma em direção ao tórax (SCHLOSSER et al., 2022).

Esses são apenas alguns exemplos de hérnias, mas existem outros tipos menos comuns, como hérnia de *Spigelian*, hérnia epigástrica e hérnia de incisão paraestomal. Cada tipo de hérnia requer avaliação médica adequada e pode exigir diferentes abordagens de tratamento. Portanto, é importante procurar a orientação de um profissional de saúde para o diagnóstico correto e o plano de tratamento adequado (SCHLOSSER et al., 2022).

### **2.6.1 Malha de polipropileno**

Os dispositivos de suporte herniário são projetados para fornecer suporte e reforço aos tecidos enfraquecidos ou danificados, ajudando a prevenir a protrusão de órgãos ou tecidos através de uma abertura herniária. Os têxteis desempenham um papel importante nesses dispositivos, fornecendo estabilidade estrutural, permitindo a integração com o tecido circundante e promovendo a cicatrização adequada (TRINDADE, 2010).

As malhas herniárias são amplamente utilizadas no reparo de hérnias abdominais. Elas são feitas de polipropileno, um material sintético resistente e durável. Essas malhas podem ter diferentes configurações, como tecidos planos, tecidos porosos ou malhas tridimensionais, que permitem a fixação adequada, reforço e suporte aos tecidos (VENKURI, 2023).

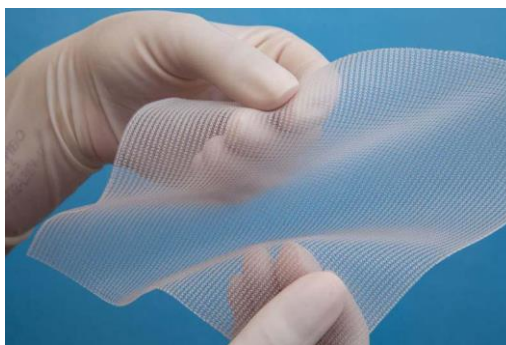
Além das malhas de polipropileno, também existem opções de malhas herniárias feitas de materiais biológicos, como colágeno ou outros biomateriais. Essas malhas são projetadas para fornecer suporte temporário e permitir a integração natural do tecido do paciente. Com o tempo, a malha biológica é gradualmente substituída pelo tecido do próprio corpo, promovendo a cicatrização e fortalecendo a área afetada (PLÁSTICO MODERNO, 2023).

Algumas malhas herniárias podem ser revestidas com materiais bioabsorvíveis, como ácido polilático ou ácido poliglicólico, que ajudam a promover a adesão e a cicatrização do tecido. Esses revestimentos também podem reduzir a formação de aderências e a resposta inflamatória do organismo. Algumas malhas herniárias apresentam uma estrutura porosa, permitindo a passagem de fluidos e facilitando a vascularização e a regeneração do tecido adjacente. Isso promove a

cicatrização adequada e reduz o risco de complicações pós-operatórias (UTRABO et al.,2021).

Ao selecionar o tipo de têxtil para dispositivos de suporte herniário, é fundamental considerar a biocompatibilidade, a força e a durabilidade do material, bem como a capacidade de integração e a resposta do tecido do paciente. Os têxteis utilizados nesses dispositivos devem ser cuidadosamente projetados para fornecer o suporte necessário, minimizando o risco de recorrência da hérnia e promovendo uma recuperação adequada. A escolha do dispositivo de suporte herniário é baseada nas necessidades individuais do paciente e na recomendação do cirurgião (UTRABO et al.,2021).

Figura 22 - Malha de polipropileno

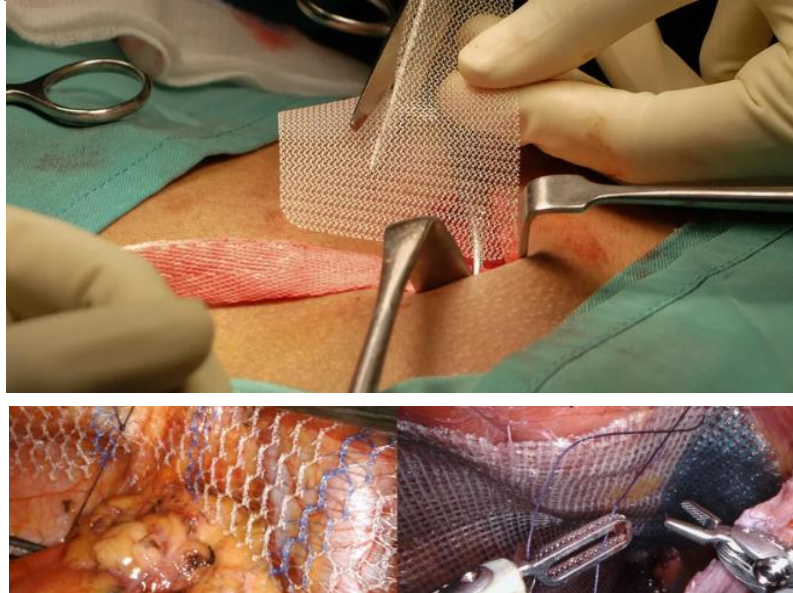


Fonte: Venkuri

A malha de polipropileno (PP) é composta por monofilamentos de polipropileno, a trama utilizada para a malha é de elasticidade multidirecional limitada, a Figura 22 ilustra a manipulação de tal malha. A malha provoca uma inflamação transitória que ajuda na cicatrização, formando um tecido fibroso incorporado. Tal medida de tratamento será analisada no presente estudo, sendo analisada nos próximos tópicos (VENKURI, 2023).

É indicado para a reparação de hérnias de todos os tipos (umbilical e inguinais), reconstrução de paredes tanto abdominais quanto torácicas produzidas por traumatismo ou cirúrgicas. Em casos de cirurgia facial que requer reforçamentos com material não absorvível. Usado para a laparoscopia em técnicas de endoscopia como na Figura 23 a seguir (MORREI, 2021).

Figura 23 - Cirurgia por endoscopia para colocação da malha de hérnia



Fonte: Morrell, 2021.

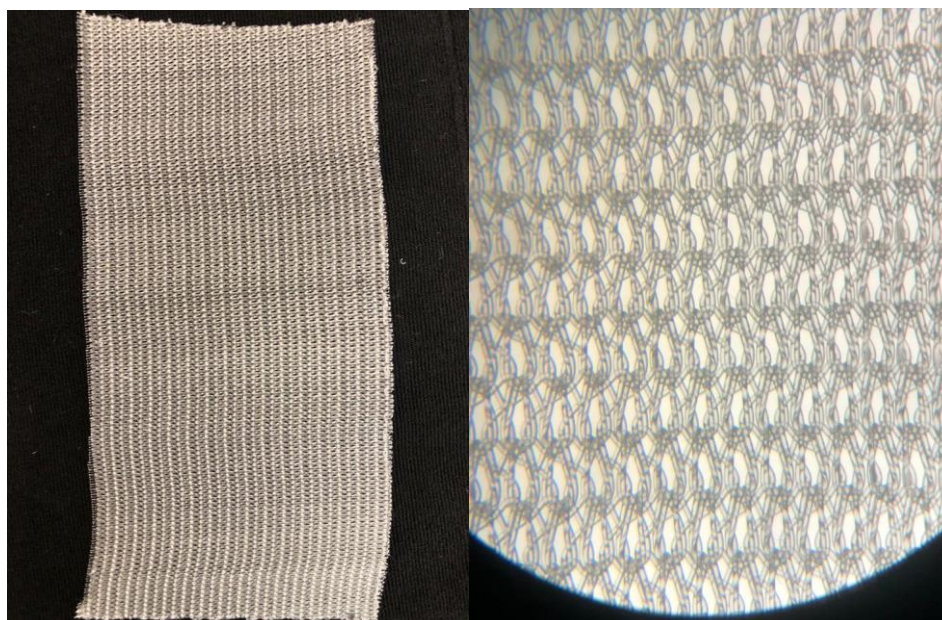
O tempo de recuperação da hérnia após colocação da malha varia consideravelmente dependendo do tamanho da hérnia, o método utilizado na cirurgia, o local/tipo da hérnia e os cuidados pós cirurgia. As técnicas utilizadas para a cirurgia podem ser por cirurgia aberta ou convencional; cirurgia laparoscópica; cirurgia robótica. No geral, entre 7 à 10 dias os pacientes recebem alta do repouso para retomarem suas atividades, porém com restrições ao levantar peso (MORRELL, 2021).

### 3 METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foi realizada uma revisão da literatura utilizando as principais bases de pesquisas e sites da internet, relacionados ao tema têxteis médicos, com enfoque principal na área de têxteis técnicos. Também foi utilizada a metodologia de base experimental. Procedimentos normalizados foram utilizados para todos os ensaios efetuados. Neste sentido, os principais métodos e equipamentos utilizados neste projeto serão descritos a seguir.

Com o objetivo de analisar um substrato têxtil implantável não absorvível, foi adquirido uma malha para tratamento de hérnia, 100% polipropileno, como mostra a Figura 24, onde foram realizados ensaios de caracterização visual dos materiais analisados, teste de tração e análise do tempo de degradação. A figura a seguir foi tirada da visão do microscópio de bancada com ampliação 50x.

Figura 24 - Micrografias do tecido de malha de hérnia com ampliação 50X



Fonte: A Autora (2023).

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MALHA

O estudo de caracterização do fio e malha que constituem a malha de hérnia, foi realizado no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) e no Laboratório de Fibras e Fiação (LAFIF) ambos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau.

A malha original apresentou dimensões de 10 x 20 cm, foi dividida com auxílio de uma tesoura em tiras de 5 x 10 cm, resultando em 4 amostras. Todas as quatro amostras foram pesadas em balança analítica antes e depois de cada fase de testes e registrada as variações, como ilustra a Figura 25.

Figura 25 - Pesagem da amostra inteira



Fonte: A Autora (2023).

Utilizou-se para a análise da amostra, balança de alta precisão, lupa contafios, paquímetro e microscópio ótico, a fim de analisar as laçadas, padronagem da malha e seu comportamento para os testes seguintes.

### 3.1.1 Gramatura

Para determinar a gramatura, fez-se a divisão da massa pela área, como na equação seguinte. Esta análise baseou-se nas especificações da norma ABNT NBR 10591: 2008.

$$\text{Gramatura } \left(\frac{g}{m^2}\right) = \frac{P \text{ (massa em gramas da amostra)}}{A \text{ (área em } m^2 \text{ da amostra)}} \quad (1)$$

### 3.1.2 Espessura da malha e filamento

A espessura da malha foi determinada a partir da medição com o auxílio de um paquímetro em três diferentes pontos de cada amostra, como representação da

Figura 26, posteriormente realizado o cálculo da média. As amostras 2, 3 e 4 foram mensuradas após submetidas a solução de degradação.

Figura 26 - Medição da espessura com paquímetro



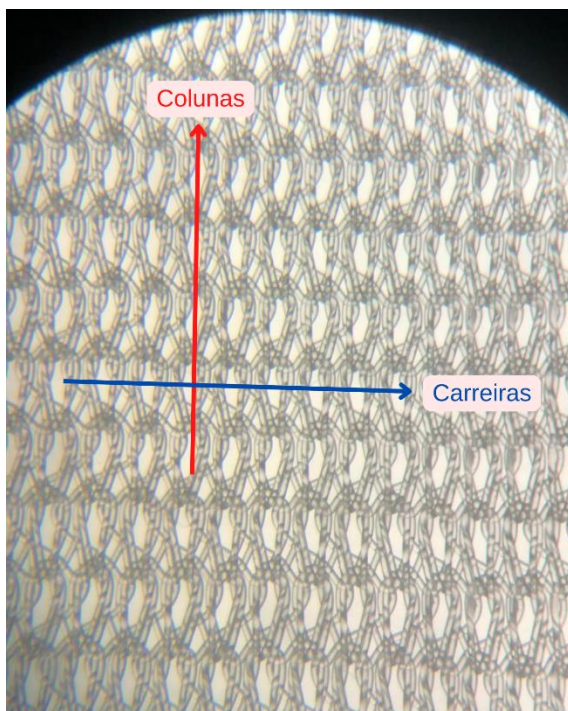
Fonte: A Autora (2023).

A espessura do filamento influencia o quanto o tecido é mais fino ou mais grosso, podendo ser mensurado pela ABNT NBR 13371. Realizou-se uma adaptação onde foi realizado a conversão dos dados indicados pelo fabricante. Por definição, o substrato têxtil é uma malha indeformável de monofilamento  $180 \times 10^{-6}$  m.

### 3.1.3 Densidade das laçadas e do polímero

Foi verificado a densidade das laçadas com o auxílio da lupa conta-fios, contando o número de colunas e carreiras presente na malha por centímetro, como na Figura 27. O valor da densidade é resultante da multiplicação entre a quantidade de colunas e carreiras presente em uma área específica.

Figura 27 - Colunas e Carreiras



Fonte: A Autora (2023).

Na literatura é possível identificar a densidade do polímero em  $0,90 \text{ g/cm}^3$ , considerando que o substrato da amostra se encontra mais próximo de cristalino, identificado pela figura anterior, pelo fio estar transparente e/ou cristalizado (Alvaro, 2022).

### 3.1.4 Massa linear

Devido ao método de produção do tecido de malha (malharia por urdume), não foi possível desmalhar o material e conseqüentemente obter o título do filamento utilizado. A partir dos dados conhecidos (gramatura, densidade do PP e diâmetro do filamento), calculou-se o título do material. Para isto, considerou-se  $1 \text{ m}^2$  do material, onde seu peso será de 162,5 g. Pôde-se então calcular o volume estimado, com os dados de diâmetro (que possibilita calcular a área da seção transversal) e densidade do filamento. A partir do volume, foi possível definir o comprimento de filamento necessário para produzir  $1 \text{ m}^2$  de malha. Com o comprimento, utilizou-se a Equação 2 apresentada a seguir, que é indicada para calcular títulos diretos.

$$K \times P = C \times T$$

(2)

Onde K é a constante referente ao título; P é a massa (g); C é o comprimento (m); T é o título do fio (dTex).

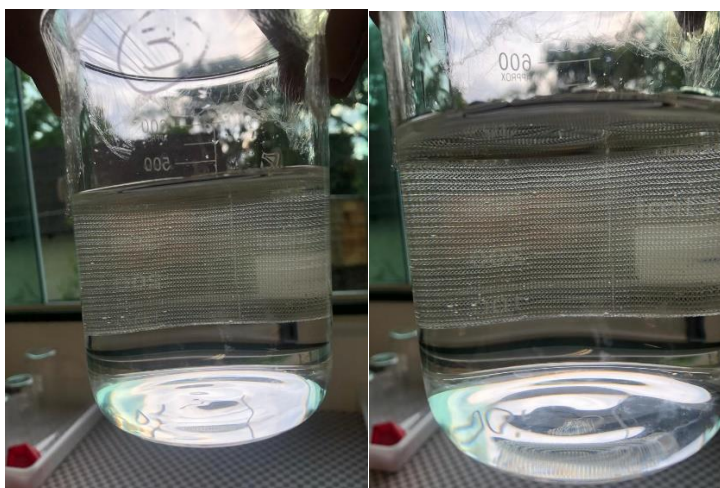
### 3.1.5 Caracterização morfológica/estrutural (análise microscópica)

Com o auxílio do microscópio binocular, foi realizado a análise visual comparativa entre as quatro amostras após o banho de degradação.

## 3.2 ANÁLISE DO TEMPO DE DEGRADAÇÃO

Para simular o organismo humano, foi preparada para o teste de degradação a imersão das amostras na solução salina tamponada com fosfato (PBS). Para tal solução, foram usados Fosfato de Sódio Bibásico Anidro ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), Fosfato de Sódio Monobásico Anidro ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) e água destilada. Conforme ensaios realizados por Li (2014), o presente experimento baseou-se em cada amostra submersa com 500 ml em um béquer tampado e protegido do sol, como representado na Figura 28.

Figura 28 - Amostra submersa em solução salina tamponada



Fonte: A Autora (2023).

A amostra 1 foi reservada para uso comparativo e realizado apenas o teste tração. As amostras 2, 3 e 4 serão imersas na solução que será trocada e avaliada quanto às mudanças físicas semanalmente, retiradas das soluções após 16 semanas, secas em temperatura ambiente e submetidas ao teste de tração.



A solução tampão fosfato é utilizada com  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  como base e  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  como ácido. Onde,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (3,549 g/l) foi dissolvido em água destilada em um béquer e foi adicionando-se a solução de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (5,99 g/l) até atingir o pH desejado, que é 6,8. A equação a seguir representa a concentração utilizada para cada reagente:

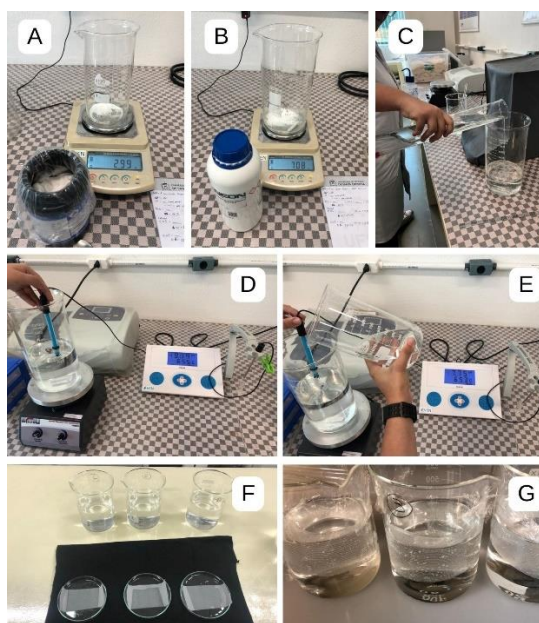
$$M = \frac{\text{massa pesada}}{v \text{ (ml)} \times \text{peso molecular}} \quad (3)$$

Materiais utilizados:

- Solução Tampão;
- Cinco Béquer de vidro;
- Três placas de vidro;
- Medidor de pH de bancada;
- Agitador magnético;
- Espátula e pinça.

O procedimento consiste na pesagem dos reagentes com o auxílio de um béquer, espátula e balança analítica, como mostra a Figura 29, seguido pela adição de água destilada e homogeneizado pelo agitador.

Figura 29 - Passo a passo da solução para o teste de degradação



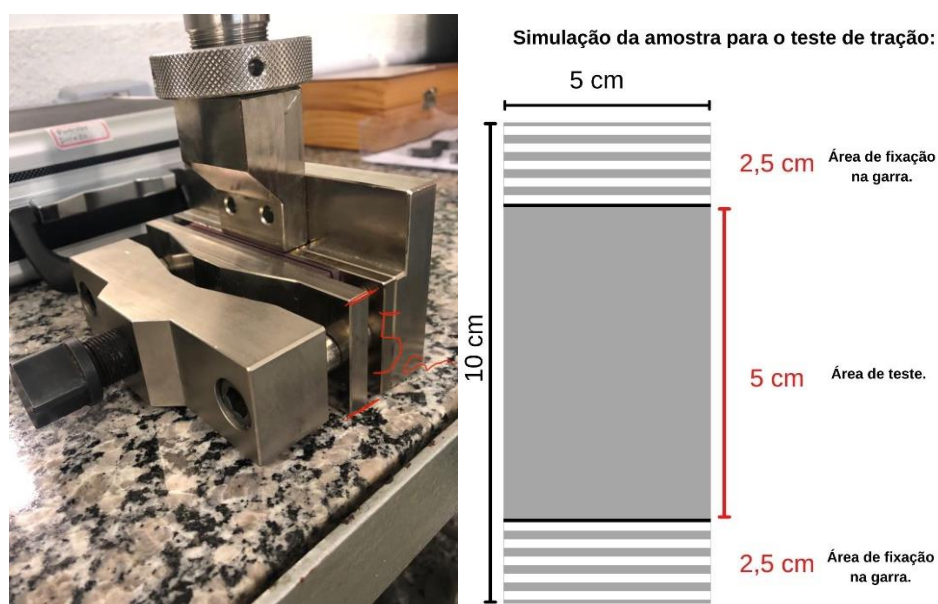
Fonte: A Autora (2023).

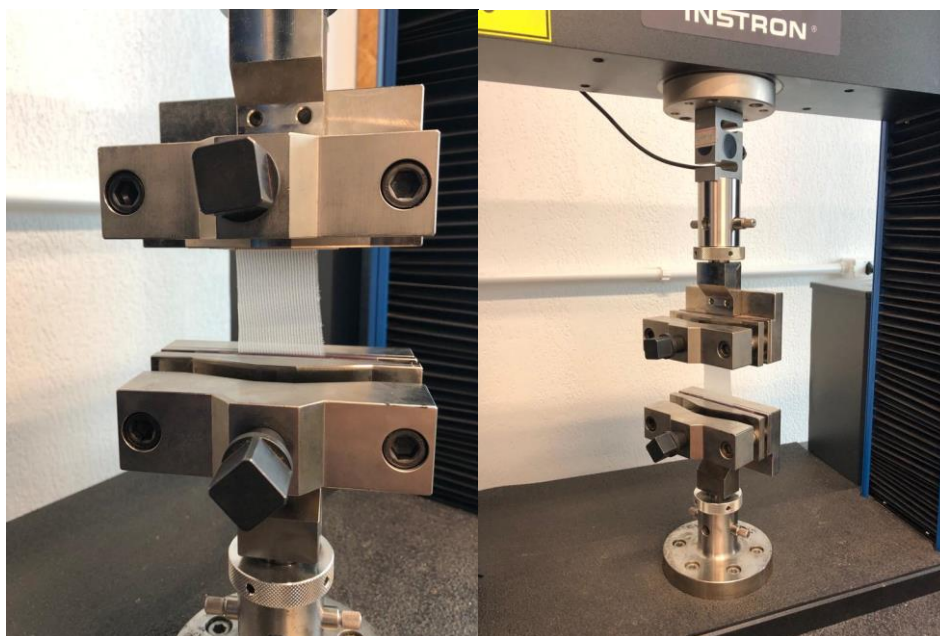
Os reagentes são pesados em béquer separados, como imagem A e B. Em seguida, é adicionado água destilada em cada um, proporcional a quantidade necessária (C). Com auxílio do agitador magnético para homogeneizar a mistura, é mensurado o pH (D). Na imagem E, acrescenta-se o  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  no  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , até alcançar o pH desejado de 6,8. Por fim, a solução é dividida em três béquer com aproximadamente 500ml e adicionado as amostras (F). O béquer é tampado com plástico filme e armazenado em um local protegido do sol (G).

### 3.3 TESTE DE TRAÇÃO

O teste de tração consiste na aplicação de uma força de tração axial num corpo de prova padronizado, promovendo a deformação do material na direção do esforço, que tende a alongá-lo até seu rompimento. Para a realização do teste de tração, foi utilizado o equipamento UTM Máquina de Teste de Materiais Eletromecânicos - Instron. Seguindo a ISO 13934-1 Tira, adaptando o tamanho das amostras para 5 x 10 cm. Após a retirada da solução, a amostra será lavada em água destilada e seca em temperatura ambiente em repouso e pesada, a fim de verificar a possível perda de massa. E então submetida ao teste de tração como norma.

Figura 30 - Garra e adaptação do teste para o tamanho da amostra





Fonte: A Autora (2023).

A primeira parte da Figura 30 representa a garra de fixação do substrato têxtil, que possui 5 cm de espaço para aderência do material, garantido que ele não invalide o teste por escorregar do fixador. O esquema ilustrativo representa as partes da amostra que serão fixadas e a parte de validação do teste com as medidas disponíveis. Já a última parte da Figura 30, é o registro do momento do teste de tração, onde a amostra já se encontra fixada nas garras e iniciando o teste que faz o movimento de puxada para cima com a força e velocidade mencionadas anteriormente.

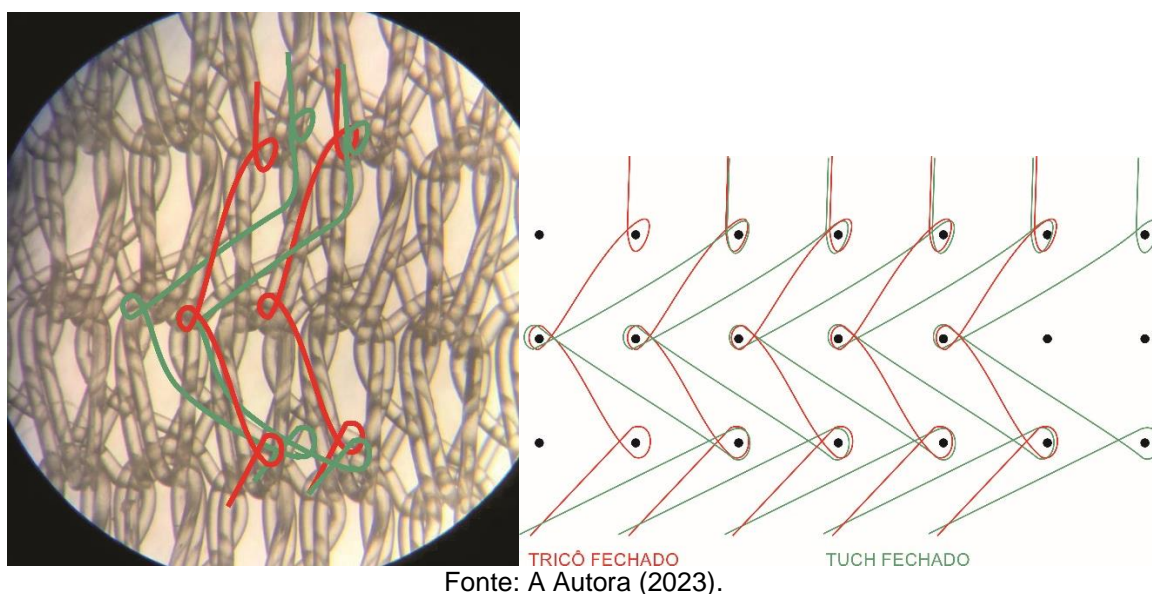
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já mencionado, foram preparadas quatro amostras da malha de hérnia, com o objetivo de se verificar as mudanças estruturais do material após submetido a simulação do organismo humano. A seguir são apresentados os resultados obtidos, conforme a metodologia anteriormente apresentada.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MALHA

Amostra indicada pelo fabricante com fio 100% polipropileno (PP), monofilamento com dimensões de 10 x 20 cm. Com o auxílio da lupa conta-fios foi possível observar que os filamentos formam laçadas no sentido do comprimento (ou do urdume), conforme a malharia por urdume. Também por ser tecida com uma fibra manufacturada (polipropileno) e visualmente ter as laçadas de uma malha por urdume, sendo possível detectar uma boa rigidez e estabilidade dimensional, como mostra a figura 31.

Figura 31 - Figura 31 - Laçadas Tricô e Tuch



Fonte: A Autora (2023).

A partir da Figura 31, é possível identificar um ponto Tuch fechado, combinado com um Tricô fechado. O ponto tuch é identificado pela ausência de duas agulhas no alimentador, formando a laçada seguinte na terceira agulha. Já no tricô fechado tem-

se o ligamento entre agulhas adjacentes a cada subida. Obtendo assim dois grupos de passadores, um tricô fechado e um tuch fechado.

#### 4.1.1 Gramatura

Considerando a amostra inicial com dimensão de 10 x 20 cm, sendo um retângulo, sua área é de 200 cm<sup>2</sup>. A amostra inicial foi pesada com auxílio de uma balança de alta precisão, obtendo 3,2709 g. Para calcular a gramatura, a massa da amostra é dividida pela sua área, neste caso, tem-se 163,5 g/m<sup>2</sup>. A Tabela 1 fornece os dados do peso, tamanho, área e gramatura de cada amostra.

Tabela 1 - Gramatura das amostras.

<b>Amostra</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tamanho (cm)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Amostra Inteira</b>	3,2709	10 x 20	0,0200	163,5
<b>Amostra 1</b>	0,8125	5 x 10	0,0050	162,5
<b>Amostra 2</b>	0,7505	5 x 10	0,0050	150,1
<b>Amostra 3</b>	0,8370	5 x 10	0,0050	167,4
<b>Amostra 4</b>	0,8448	5 x 10	0,0050	169,0
<b>Média</b>				<b>162,5</b>

Fonte: A Autora (2023).

O mesmo processo foi realizado para as quatro amostras após o teste de degradação, entendendo seu comportamento e analisando com a amostra 1 que se manteve em seu estado natural.

Pode-se observar na Tabela 1 a variação de gramatura em relação a sua massa, sendo um parâmetro de justificativa para resultados dos testes a seguir. Obteve-se como média o valor de 162,5 g/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 Espessura

A medição foi realizada com o auxílio do paquímetro nas quatro amostras em três pontos, finalizando com a média, como mostra a Tabela 2. Como resultado, a espessura da malha tem 0,62 mm.

Tabela 2 - Espessura das amostras.

<b>Espessura (mm)</b>	<b>Medição 1</b>	<b>Medição 2</b>	<b>Medição 3</b>	<b>Média Total</b>
<b>Amostra 1</b>	0,62	0,62	0,62	0,62
<b>Amostra 2</b>	0,62	0,61	0,64	0,62
<b>Amostra 3</b>	0,64	0,61	0,61	0,62
<b>Amostra 4</b>	0,62	0,63	0,62	0,62

Fonte: A Autora (2023).

O substrato têxtil é uma malha indeformável de monofilamento 180  $\mu\text{m}$ , que representa o diâmetro do filamento. Logo, temos que o polímero polipropileno possui 0,18 mm (milímetros). Considerando um micrômetro é a milionésima parte do metro,  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ .

#### 4.1.3 Densidade das laçadas

A densidade da laçada foi calculada pela multiplicação da quantidade de colunas e carreiras presentes em 1 cm, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Contagem de colunas e carreiras.

Amostras	Colunas/cm	Carreiras/cm	Densidade (laçada/cm <sup>2</sup> )
Amostra 1	6	12	72
Amostra 2	6	12	72
Amostra 3	6	12	72
Amostra 4	6	12	72

Fonte: A Autora (2023).

Como representado na tabela anterior, todas as amostras apresentam a mesma quantidade de colunas e carreiras, o que justifica ser uma única amostra uniforme dividida em quatro partes. Porém foi observado com o auxílio da lupa contá-fios, que a malha apresentou uma deformação em diferentes pontos, entende-se que tal deformação pode ter origem na forma que foram cortadas e manipuladas.

#### 4.1.4 Massa linear

Utilizando como base a Equação 2 mencionada na metodologia, foram realizados os cálculos para chegar ao título em dTex (constante  $K = 10000$ ) do filamento. Onde, a amostra apresentou gramatura de  $162,5 \text{ g/m}^2$ , densidade do PP de  $900000 \text{ g/m}^3$  e diâmetro de  $180 \times 10^{-6} \text{ m}$ .

O comprimento do filamento foi obtido considerando  $1 \text{ m}^2$  do material, que pesa  $162,5 \text{ g}$ . A partir disso, após calcular a área da seção transversal do filamento ( $25,4469 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ ), pôde-se calcular o comprimento estimado utilizando a seguinte equação.

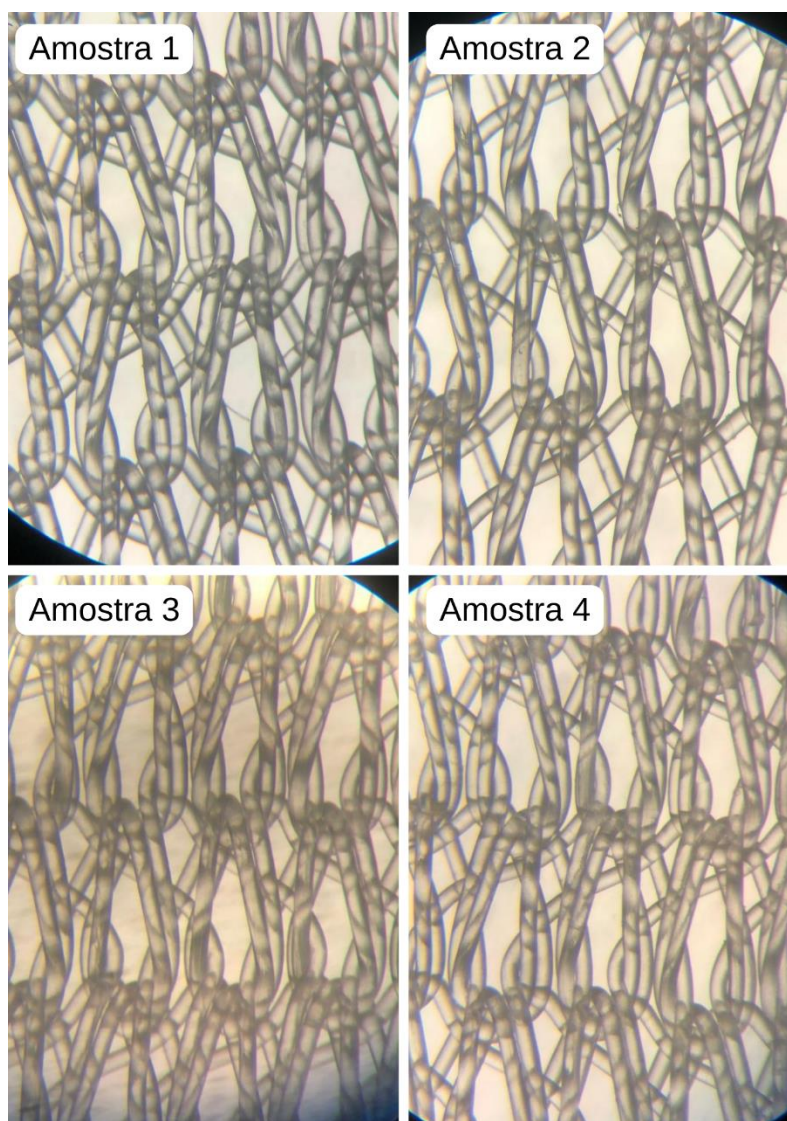
$$C = \frac{m \text{ (g)}}{A \text{ (m}^2\text{)} \cdot d \text{ (}\frac{\text{g}}{\text{m}^3}\text{)}} \quad (4)$$

Com isso, obteve-se o comprimento de 7095,38 m, possibilitando calcular o título, que resultou em 229,02 dTex.

#### 4.1.5 Análise microscópica

A Figura 32 ilustra a análise comparativa das quatro amostras. Como observado, não foi possível detectar alteração na fibra após o banho de degradação, não apresentado ranhuras ou desfibramento. Entretanto, as amostras 2, 3 e 4 se deformaram no sentido longitudinal, visualmente causando uma variação nas laçadas, mas não o suficiente para alterar a contagem de número de colunas e carreiras.

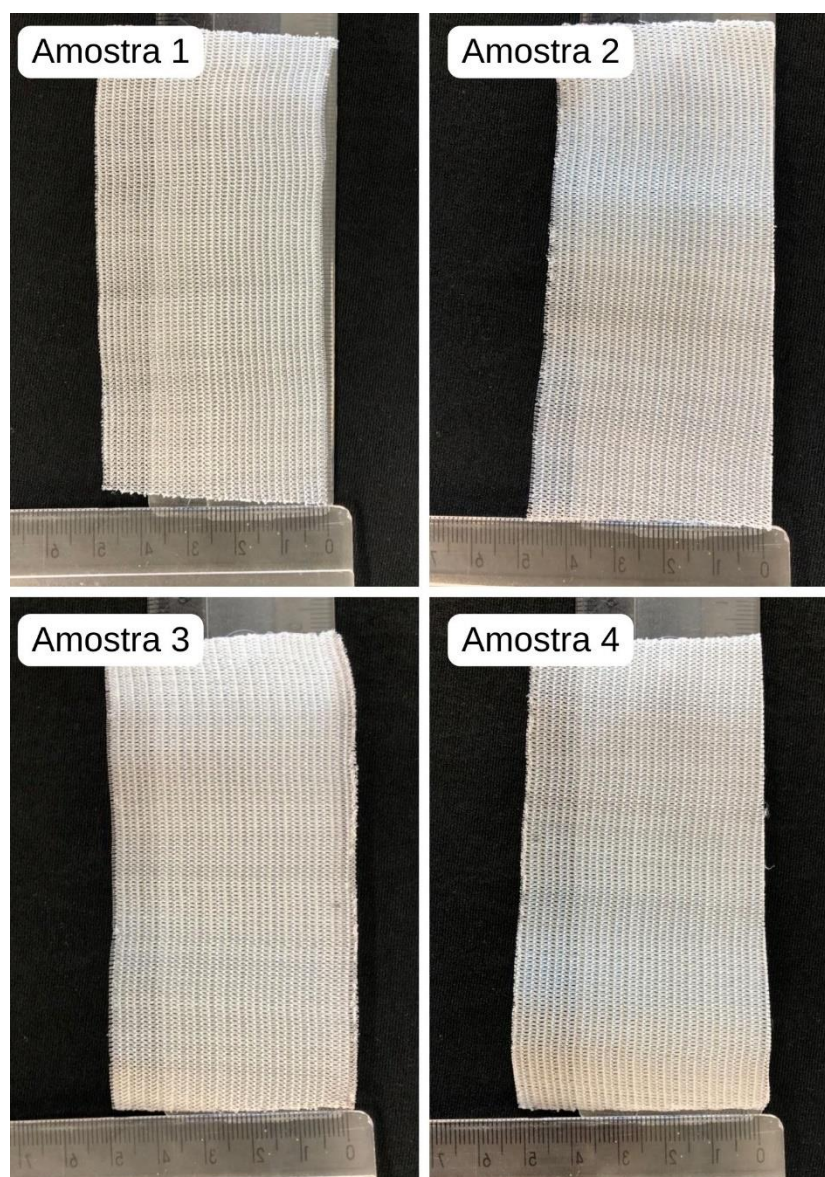
Figura 32 - Micrografias das amostras de malha de hérnia com ampliação 50X



Fonte: A Autora (2023).

Com o auxílio de uma régua graduada, foi possível uma melhor identificação de possíveis deformações e irregularidades das amostras, como na Figura 33 a seguir. Entretanto, tais irregularidades apresentam a mesma média de medidas para cada amostra, mostrando não ser suficiente para alterar os resultados dos testes.

Figura 33 - Deformação visual das amostras de hérnia



Fonte: A Autora (2023).

Apesar de o substrato têxtil apresentar uma boa resistência devido as propriedades do polipropileno e complexa estrutura oferecida pela malharia por urdume, tal estrutura possui uma tendência de trabalhar/deformar com facilidade, considerado uma deformação elástica, o que favorece para a aplicação desejada. Por ser uma malha, confere uma certa elasticidade, porém a estrutura não deixa o



filamento se desmalhar. A escolha da matéria-prima combinado com a estrutura da malha por urdume se mostra ideal para tal aplicação proposta, preservando as características necessárias ao decorrer da manipulação.

#### 4.2 ANÁLISE DO TEMPO DE DEGRADAÇÃO

Considerando a amostra inicial que foi dividida em quatro amostras, onde a primeira parte é reservada para comparativo, entende-se que temos três amostras a serem submetidas ao banho de degradação (pH próximo a 6.8) simulando o organismo humano, como mostra a Tabela 4 da metodologia a seguir.

Tabela 4 - Corte e distribuição das amostras.

<b>Amostra</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Tamanho (cm)</b>	<b>Observação</b>
<b>Amostra Inteira</b>	3,2709	10 x 20	Original a ser cortada.
<b>Amostra 1</b>	0,8125	5 x 10	Após pesada, será submetida ao teste de tração.
<b>Amostra 2</b>	0,7505	5 x 10	Após pesada, será submetida ao teste de tração.
<b>Amostra 3</b>	0,8370	5 x 10	Após pesada, será submetida ao teste de tração.
<b>Amostra 4</b>	0,8448	5 x 10	Após pesada, será submetida ao teste de tração.

Fonte: A Autora (2023).

Após as dezesseis semanas no banho de degradação, as amostras foram lavadas com água destilada e secas a temperatura ambiente. Após completamente secas, as amostras foram pesadas e comparadas à sua massa inicial, como mostra a Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Comparativo perda de massa.

<b>Amostra</b>	<b>Peso (g) Inicial</b>	<b>Peso (g) Após a solução</b>	<b>% Variação</b>
<b>Amostra 2</b>	0,7505	0,7503	0,03% -
<b>Amostra 3</b>	0,8370	0,8374	0,05% +
<b>Amostra 4</b>	0,8448	0,8474	0,31% +

Fonte: A Autora (2023).

Pode-se observar na tabela anterior que a amostra dois perdeu massa, se comportando de forma diferente das demais, pode-se considerar um erro operacional, ou balança, ou umidade do ambiente. As amostras três e quatro ganharam massa, mesmo que em percentuais diferentes. Tais comportamentos representam que a malha de polipropileno reage ao corpo, se modela e expande.

O Regain é o percentual de umidade absorvida pela fibra possui em relação ao seu peso seco até atingir o ponto de equilíbrio com a umidade relativa do ambiente. O polipropileno apresenta uma baixa absorção em relação as fibras naturais, entretanto, apresenta afinidade com o organismo humano, justificando-se a retenção/absorção de líquido das amostras três e quatro.

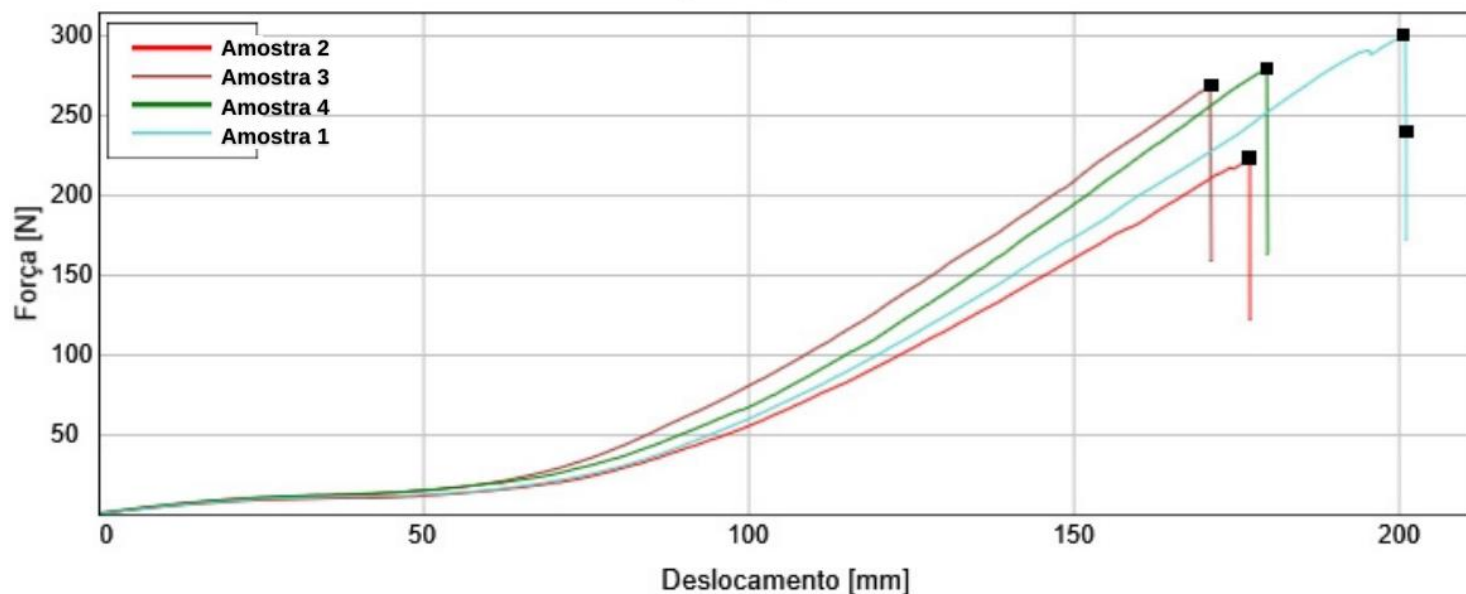
Ao longo da troca semanal da solução, foram observados alguns comportamentos, como desprendimento de pequenos pedaços do fio da borda da amostra cortada. Foi visto também uma camada de “gordura”, semelhante a um óleo na superfície da solução, a partir da quinta semana. O visual engordurado na superfície da solução era de se esperar, entende-se que o organismo humano produz essas substâncias a fim de interagir com o material.

#### 4.3 TESTE DE TRAÇÃO

O teste de tração avalia diversas propriedades mecânicas dos materiais, neste caso do polímero, através de características extraídas da análise do gráfico gerado, conhecido como diagrama tensão deformação. A interpretação dos dados foi realizada pelo Módulo de elasticidade, que é dado pela razão entre a tensão aplicada em um material pela sua deformação.

As quatro amostras foram submetidas ao teste de tração, seguindo a norma adaptada, com distância entre as garras de 5 cm (tamanho do corpo de prova). Pela norma, o alongamento de ruptura deve ser menor que 8%, apresentar 10% de taxa de alongamento e 20 mm/min de velocidade de extensão durante todo o teste. Para a interpretação, foram considerados os parâmetros de deslocamento e força como ilustra o Gráfico 1.

Gráfico 01: curva  
Corpo de prova 1 a 4



FONTE: A Autora (2023).

A amostra 1 obteve uma maior resistência em relação as demais, sendo previsível, uma vez que ela não foi submetida a solução de degradação e utilizada como referência comparativa para as demais amostras. A amostra 2 rompeu na altura da garra superior e não no corpo de prova, podendo indicar um erro operacional de posicionamento da amostra ou partes degradadas da amostra que se encontravam fragilizadas. A amostra 3 rompeu na garra inferior, no gráfico, mostra-se mais degradada que a amostra 2, porém teve o mesmo comportamento à nível de curva do gráfico. A amostra 4 também rompeu na garra, seu gráfico obteve um comportamento próximo a amostra três.

Pode-se compreender melhor os resultados pelo Módulo de Elasticidade, também conhecido por Módulo de Young, pois tem relação direta com a deformação elástica dos materiais, determinando se o material é mais ou menos suscetível a esse tipo de deformação. Analisando a curva de tensão-deformação, são observadas duas regiões de deformação, a primeira é pela deformação linear (deformação elástica - recuperável), e a segunda região é pela deformação não linear (deformação plástica - permanente).

Como dito anteriormente, a amostra 1 foi utilizada como referência de padrão por estar em seu estado original. Tal amostra não foi submetida ao banho de degradação, sendo assim, utilizada como comparativo para as amostras 2, 3 e 4.

Sendo assim, a amostra 1 possui módulo de Young mais alta em relação as outras amostras, o que é previsível, interpretada como uma maior resistência. Seu deslocamento e alongamento também são maiores. Pela força de Newton, temos que a amostra 1 é mais elevado, e por isso, possui uma maior resistência. A Tabela 6 possui os resultados analisados do gráfico, com as forças e deslocamentos.

Tabela 6 - Resultados das forças de deslocamento e Newton.

	<b>Força máxima (N)</b>	<b>Força Ruptura (N)</b>	<b>Deslocamento/ Deformação máximo (mm)</b>	<b>Deslocamento (F/A) Força máxima (mm)</b>	<b>Tensão máxima</b>
<b>Amostra 1</b>	299,75	239,63	201,17	200,7	
<b>Amostra 2</b>	223,14	223,14	177,13	177,1	
<b>Amostra 3</b>	268,49	268,12	171,21	171,1	
<b>Amostra 4</b>	279,13	278,82	179,89	179,83	

Fonte: A Autora (2023).

No gráfico, nos pontos aproximados a 50 N por 100 mm, é possível identificar uma curva de alongamento em que as amostras 3 e 4 estão acima da amostra 1, ilustrando uma melhor resistência ao alongamento por parte da amostra 1. Já a amostra 2 que se encontra um pouco mais abaixo na curva em relação a amostra 01, representa a menor resistência das amostras analisadas, o que pode se justificar pela sua perda de massa diferente das demais. A amostra 2 obteve resultados mais diferentes das outras amostras em todos os testes realizados, o que pode conferir como erro de máquina/operador ou variação da própria amostra, porém seu comportamento no geral foi bem similar para todos os testes, estando dentro dos desvios aceitáveis de experimentos.

## 5 CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado foi possível compreender o papel que a Engenharia Têxtil tem para os avanços na medicina e para a comunidade. Explorando diferentes áreas da saúde em que diferentes tecnologias têxteis são empregadas, mostrando uma infinidade de oportunidades de desenvolvimento. O presente estudo teve como objetivo avaliar o substrato têxtil não absorvível implantável (malha de hérnia) obtidos de fibra de polipropileno, analisando o processo de degradação similar ao organismo humano.

Foram explorados os materiais têxteis médicos em suas diferentes aplicações desde curativos e roupas cirúrgicas, até materiais de alta performance como órgãos artificiais. A fibra de polipropileno apresenta infinitas aplicações e se encontra presente no universo médico pela sua afinidade com o organismo humano, expondo os conceitos de biomateriais e materiais não absorvíveis. Os materiais têxteis podem ser divididos em implantáveis (que é o foco do trabalho), não implantáveis, extracorporais, saúde e higiene.

Para realizar a caracterização estrutural da malha de hérnia, foi identificado o tipo de laçada com o auxílio de microscópio, sua massa pelo peso, densidade das laçadas e polímeros, espessura, massa linear e gramatura. Foi avaliado quantitativamente o processo de aplicação no organismo humano, através do teste de degradação, teste de tração e perda de massa.

Como resultados da caracterização e análise da malha de polipropileno para tratamento de hérnia, constatou-se que se trata de uma malha por urdume com pontos de ligamento de tuch fechado e tricot fechado. Apresenta fio 100% polipropileno (PP), monofilamento 180  $\mu\text{m}$ , valor média de gramatura de 162,5  $\text{g}/\text{m}^2$  e 229,02 dTex. Após os testes de degradação e tração, observou-se uma perda na resistência do material, mas que não foi o suficiente para inibir sua eficiência para o tratamento de hérnias.

## 6 PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir das análises obtidas no presente trabalho de conclusão de curso, compreende-se que para futuros projetos de pesquisa podem ser abordados os tópicos:

- a) Faz-se necessário uma melhor validação da análise de degradação e teste de tração, uma vez que a quantidade de amostras não foi suficiente para mensurar quantitativamente e estatisticamente os testes, levando em conta as margens de erro.
- b) Realizar o estudo comparativo do substrato têxtil implantável absorvível e não absorvível.
- c) Pesquisar outros biomateriais como alternativa para o uso do polipropileno, realizando o comparativo entre as fibras.
- d) Verificação do tempo das condições da degradação em cada etapa, como por exemplo, a realização de todos os testes ao decorrer de cada semana do banho de degradação.

## 7 REFERÊNCIAS

AKTER; Shilpi; AZIM, Abu Yousuf Mohammad Anwaru. **Medical textiles: significance and future prospect in Bangladesh.** European Scientific Journal April 2014 edition vol.10, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/316890261\\_MEDICAL\\_TEXTILES\\_SIGNIFICANCE\\_AND\\_FUTURE\\_PROSPECT\\_IN\\_BANGLADESH](https://www.researchgate.net/publication/316890261_MEDICAL_TEXTILES_SIGNIFICANCE_AND_FUTURE_PROSPECT_IN_BANGLADESH). Acesso em: 20 mai. 2023.

AQUINO, M. Silva de. **Apostila de métodos e processos de manufatura da malha.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Têxtil Apostila de Métodos e Processos de Manufatura de Malha I Natal 2008 Malharia. [s.l: 2008.

ARAN BIOMEDICAL. Implantable **Medical Textile & Fabric Manufacturing Expertise.** Disponível em: <[https://www.aranbiomedical.com/medical-textiles/?gclid=CjwKCAjwx7GYBhB7EiwA0d8oe0gRjrn4EtGg-eRvkfUtTBe4-ZsMz\\_0hWAe5MJ7OB\\_r3dpDtbDvNhoCPWwQAvD\\_BwE](https://www.aranbiomedical.com/medical-textiles/?gclid=CjwKCAjwx7GYBhB7EiwA0d8oe0gRjrn4EtGg-eRvkfUtTBe4-ZsMz_0hWAe5MJ7OB_r3dpDtbDvNhoCPWwQAvD_BwE)>. Acesso em: 28 mai. 2023.

ARAN BIOMEDICAL. **Projeto personalizado, desenvolvimento e fabricação de implantes médicos.** Disponível em: <<https://www.aranbiomedical.com/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BERNARDO, M. PIASSI et al. Processamento e aplicação de biomateriais poliméricos: avanços recentes e perspectivas. **Quim. Nova**, v. 44, n. 10, 1311.

CALLIA, B. et al. **Coordenação do Programa Formare.** [s.l: 2007].

CHEUNG, T. W.; LI, L. **A review of hollow fibers in application-based learning: from textiles to medical.** Textile Research Journal, v. 89, n. 3, p. 237–253, 1 fev. 2019.

COSTA, Felipa Daniela Amaral da. **Dispositivo médico baseado em tecidos inteligentes.** Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Biomédica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2017.

DA, A. C. et al. **Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (pp) e poliestireno (ps): um estudo bibliográfico.**

FERREIRA, I. L. S. et al. **Aplicação de materiais têxteis na área da saúde.** [s.l: 2014.

GRAND VIEW RESEARCH. **Global Medical Textiles Market Size Report, 2021-2028.** Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/medical-textiles-market>>. Acesso em: 28 mai. 2023.

GRUPO NS. **Processo de formação dos tecidos de malha: trama e urdume.** Disponível em: <<https://www.ns.com.br/blog/noticias/processo-de-formacao-dos-tecidos-de-malha-trama-e-urdume/>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

ITPV. **Implantats with textile structure - ITVP Denkendorf EN**. Disponível em: <<https://www.itvp-denkendorf.de/en/products/implantats-with-textile-structure/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KAR, A. et al. **Wearable and implantable devices for drug delivery: applications and challenges**. Biomaterials Elsevier Ltd, , 1 abr. 2022.

KUASNE, A. M.; MACEDO, S. Ministério da Educação Secretaria De Educação Profissional E Tecnológica Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Santa Catarina Unidade Araranguá Primeira Edição. [s.l: 2013].

LI, G. et al. **Biodegradable weft-knitted intestinal stents: fabrication and physical changes investigation in vitro degradation**. Journal of Biomedical Materials Research - Part A, v. 102, n. 4, p. 982–990, 2014.

MEDTRONIC (BR). **Soluções para Hérnia**. Disponível em: <<https://www.medtronic.com/covidien/pt-br/products/hernia-repair.html>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MORREL, Andre Luiz Gioia et al. Hernioplastia inguinal transabdominal pré-peritoneal (TAPP) robótica: experiência inicial de 97 casos. 2020. **Rev Col Bras Cir** 47:e20202704.

MOTA, F. DANTAS; ABREU, ANA CLARA WEINERT. **Uso de malha de polipropileno na reconstrução de parede torácica após retirada de hemangiossarcoma-relato de caso**. Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Medicina Veterinária. 2021.

OMIDERM – ITG Medev. Disponível em: <<https://www.itgmedev.com.br/produtos/omiderm/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PLÁSTICO MODERNO. **O que é polipropileno? Para que serve? Os tipos, características e Uso**. Disponível em: <<https://www.plastico.com.br/polipropileno-entenda-tudo-sobre-este-material-o-que-e-para-que-serve-quais-os-tipos-de-polipropileno/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PORTUGAL TÊXTIL. **Nova legislação ameaça têxteis médicos**. Disponível em: <<https://www.portugaltextil.com/nova-legislacao-ameaca-texteis-medicos/>>. Acesso em: 29 mai. 2023.

RATNER, B. D. **Biomaterials: been there, done that, and evolving into the future**. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-062117-120940>, v. 21, p. 171–191, 5 jun. 2019.

RODRIGUES, D. O. Epidemiologia da esquistossomose em Barreiras Oeste da Bahia Brasil. **View project**. 2017.

ROHANI SHIRVAN, A.; NOURI, A. **Medical textiles. advances in functional and protective textiles**, p. 291–333, 1 jan. 2020.



ROHANI SHIRVAN, A.; NOURI, A.; SUTTI, A. **A perspective on the wet spinning process and its advancements in biomedical sciences.** European Polymer Journal, v. 181, p. 111681, 5 dez. 2022.

ROHANI SHIRVAN, A.; NOURI, A.; WEN, C. **Structural polymer biomaterials. structural biomaterials: properties, characteristics, and selection,** p. 395–439, 1 jan. 2021.

RUBBO, Roberto. **Malhas por urdume: características e estrutura têxtil.** Disponível em: <<https://audaces.com/pt-br/blog/malhas-por-urdume-caracteristicas-e-estrutura-textil>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SABER, D.; ABD EL-AZIZ, K. **Advanced materials used in wearable health care devices and medical textiles in the battle against coronavirus (covid-19): a review.** Journal of Industrial Textiles SAGE Publications Ltd, , 2021.

SANTOS, A. F. **Análise do Polipropileno (PP).** [s.l.: 2010.

SAÚDE DIGITAL. **Evonik e Bella Seno lançam tecnologia de implantes mamários impressos em 3D – Brasil Alemanha News.** Disponível em: <https://saudedigitalnews.com.br/19/12/2019/evonik-e-bellaseno-lancam-tecnologia-de-implantes-mamarios-impressos-em-3d/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SAÚDE E BEM ESTAR. **Hérnia abdominal - causas, sintomas, tratamento, cirurgia.** Disponível em: <<https://www.saudebemestar.pt/pt/clinica/cirurgia-geral/hernia-abdominal/>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SCHLOSSER, K. A. et al. **Ventral hernia repair: an increasing burden affecting abdominal core health. Hernia,** v. 27, n. 2, p. 415–421, 26 dez. 2022.

SHARIATINIA, Z. Pharmaceutical applications of chitosan. Advances in Colloid and Interface Science **Elsevier B.V.,** , 1 jan. 2019.

SPENCER, D. J. **Knitting technology: a comprehensive handbook and practical guide.** [s.l.] Technomic, 2001.

SZPAK, W.; FABIA, R.; GOMES, R.; ALMEIDA, José Lucas da Silva e. **Malharia de trama e urdume: uma abordagem da construção dos tecidos no software autocad.** 2017.

TEXTILE SPHERE. **Medical Textiles.** Disponível em: <<https://www.textilesphere.com/2020/03/medical-textiles.html>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

THADEPALLI, S. **Review of multifarious applications of polymers in medical and health care textiles.** Materials Today: Proceedings, v. 55, p. 330–336, 2022.

TRINDADE, E. N. **Uso de telas na cirurgia de hérnia inguinal.** 2010.

UTRABO et al., Carlos Alberto Lima. **Dentre as telas prolene®, ultrapro® e bard soft® qual apresenta melhor desempenho no reparo da parede abdominal?** ABCD Arq Bras Cir Dig 2021;34(1):e1577 Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/abcd/a/KPm3wSvgHDf7X6DTXkqnLQb/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

VENKURI. **Tela para hérnia abdominal.** Disponível em: <<https://www.venkuri.com.br/tela-hernia-abdominal>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ZAMAN, S. U. et al. Smart e-textile systems: A review for healthcare applications. **Electronics** (Switzerland)MDPI, , 1 jan. 2022.