

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO - CTE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL - DET
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Larissa Modesto Nascimento

**Análise da perda de luminosidade em fibras ópticas poliméricas inseridas em malhas
por trama**

Blumenau

2022

Larissa Modesto Nascimento

**Análise da perda de luminosidade em fibras ópticas poliméricas inseridas em malhas
por trama**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em 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.^a Dr.^a Fernanda Steffens
Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Mejia Rincon

Blumenau

2022

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

Nascimento, Larissa Modesto

Análise da perda de luminosidade em fibras ópticas
poliméricas inseridas em malhas por trama / Larissa
Modesto Nascimento ; orientador, Fernanda Steffens,
coorientador, Leonardo Mejia Rincon, 2022.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Têxtil inteligente. 3.
Malharia. 4. Fibra Óptica. 5. Monitoramento. I. Steffens,
Fernanda . II. Rincon, Leonardo Mejia. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil.
IV. Título.

Larissa Modesto Nascimento

**Análise da perda de luminosidade em fibras ópticas poliméricas inseridas em malhas
por trama**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 19 de dezembro de 2022.

Prof.^a Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.^a
Coordenador(a) do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Fernanda Steffens, Dr.^a
Orientador(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Dr.^a
Avaliador(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Alexandre Borges Valle, Dr.
Avaliador(a)
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2022

Este trabalho é dedicado à minha querida mãe,
família e amigos que sempre me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e seu corpo docente, em especial ao campus Blumenau, que me forneceu a base acadêmica necessária para que eu alcançasse este objetivo.

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dr.^a Fernanda Steffens, por quem tenho grande apreço, a toda sua dedicação para que este trabalho se concretizasse, as oportunidades ofertadas no decorrer da graduação e ao seu incansável desejo de ensinar. Ao meu coorientador Prof. Dr. Leonardo Mejia, deixo meu agradecimento também por todo seu auxílio para tornar este trabalho possível.

Agradeço a Deus, por todas as oportunidades que me possibilitaram alcançar este objetivo.

Agradeço em especial a minha mãe, Alexsandra, por todo esforço em tornar meus sonhos possíveis e me acompanhar nessa jornada. Aos meus avós, Salvador e Ângela, sou imensamente grata por todo amor, carinho e apoio. Agradeço também a minha família por me ensinarem o valor da educação e me incentivarem a seguir essa trajetória.

Agradeço ao meu namorado, Gabriel, que tem me apoiado e incentivado desde o nosso ensino médio e a minha sogra, Kelen, por todo carinho e suporte.

“Todo grande progresso da ciência resultou de uma
nova audácia da imaginação.”
(John Dewey)

RESUMO

Os têxteis inteligentes estão em destaque na indústria têxtil, com aplicação em diversas áreas técnicas, como medicina, arquitetura, esporte, fins estéticos, entre outros. Dentro deste conceito, as fibras ópticas são classificadas como têxteis inteligentes passivos e possuem grande atrativo para iluminação no vestuário e monitoramento de parâmetros fisiológicos. Embora o número de estudos na área tenha alavancado nos últimos anos, há poucas pesquisas que abordam a inserção de fibra óptica em tecidos de malha e o efeito causado pela flexão da formação da laçada na transmissão de sinal. Em vista disso, a finalidade deste trabalho é apresentar o cenário de aplicações das fibras ópticas por meio de técnicas têxteis em substratos fibrosos. Além disso, é também objetivo estudar novos métodos de inserção de fibras ópticas poliméricas em malhas monofrentura e analisar a perda de luminosidade, verificando a viabilidade para utilização dos métodos no desenvolvimento de *e-textiles*. Para isso, as malhas foram produzidas em tear manual retilíneo e dois métodos de inserção das fibras ópticas foram desenvolvidos, inserção por *inlay* e inserção na direção da fileira. A transmissão de luz foi verificada utilizando uma caneta laser conectada à fibra óptica de cada amostra. A emissão de luz foi captada através de fotos e analisadas no *software* PPIL para constatar e quantificar a perda de luminosidade em cada método de inserção. A microscopia de transmissão de luz foi realizada para avaliar a superfície da fibra óptica polimérica utilizada. Para ambos os métodos de inserção executados, *inlay* e fileira, o resultado obtido para transmissão de sinal foi satisfatório. No método *inlay*, três técnicas foram desenvolvidas: *inlay* 1x1, *inlay* com flutuação e percurso *inlay*. Para o método por fileira, foram realizados três procedimentos, definidos como PM1, PM2 e PM3. Comparando os métodos, a inserção por *inlay* apresentou menor emissão de luz e menor perda de luminosidade quando comparada a inserção por fileira PM2 e PM3. Tal resultado é muito interessante porque possibilita o desenvolvimento de malhas por trama a partir da utilização de fibras ópticas para aplicação nos mais diversos tipos de monitoramento.

Palavras-chave: Têxtil inteligente. Monitoramento. POF. Interação. Malharia.

ABSTRACT

Smart textiles are highlighted in the textile industry, with application in several technical areas, such as medicine, architecture, sports, aesthetic purposes, among others. Within this concept, optical fibers are classified as passive smart textiles and are very attractive for lighting clothing and monitoring physiological parameters. Although the number of studies in the area has been leveraged in recent years, there is little research that has addressed the insertion of optical fiber in knitted fabrics and the effect caused by the bending of loop formation on signal transmission. In view of this, the purpose of this work is to present the scenario of applications of optical fibers through textile techniques on fibrous substrates. Furthermore, it is also an objective to study methods of insertion of polymeric optical fibers in single knitted fabric and to analyze the loss of luminosity. For that, the knitted fabric were produced in manual flat knitting machine and two methods of insertion of the optical fibers were elevation, insertion by inlay and insertion by course direction. Light transmission was verified using a laser pen connected to the optical fiber of each sample. The light emission was captured through photos and signals in the PPIL software to verify and quantify the loss of luminosity in each insertion method. Light transmission microscopy was performed to evaluate the surface of the polymeric fiber optic used. For both executed, embedded and received insertion methods, the result obtained for signal transmission was continuous. In the inlay method, three techniques were developed: 1x1 inlay, floating inlay and inlay path. For the conducted method, three procedures were performed, defined as PM1, PM2 and PM3. Comparing the methods, insertion by inlay showed less light emission and less loss of brightness than insertion by course PM2 and PM3. This result is very interesting because it allows the development of weft knitted fabric from the use of optical fibers for monitoring.

Keywords: Smart Textile. Monitoring. POF. Interaction. Knitting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.	18
Figura 2 – Tecido plano (a); tecido de malha (b); não-tecido (c).	19
Figura 3 – Malha por trama (a); malha por urdume (b).	19
Figura 4 – Direito técnico da malha jersey (a); avesso técnico da malha jersey (b).	20
Figura 5 – Classificação dos têxteis inteligentes.	22
Figura 6 – Reflexão total da luz no núcleo da fibra óptica.	23
Figura 7 – Emissão lateral da luz. Fibra óptica tradicional (a); microperfurações no revestimento (b); macroflexão (c).	23
Figura 8 – Transmissão de sinal em fibras ópticas.	24
Figura 9 – Têxteis iluminados com fibra óptica pela técnica de tecelagem.	24
Figura 10 – Vestuário com fibra óptica tecida.	26
Figura 11 – Tafetá (a); sarja (b); cetim (c).	27
Figura 12 – Ponto carregado (a); ponto carregado com flutuação (b); <i>inlay</i> 1x1 (c); <i>inlay</i> no sentido da coluna (d).	27
Figura 13 – Aparelho para monitoramento de pacientes.	28
Figura 14 – POF integrada em geotêxtil de não-tecido.	29
Figura 15 – Vestido de malha da marca SALLA utilizando fibra óptica.	30
Figura 16 – Meia com fibra óptica (a); transmissão de luz pela fibra óptica inserida no calcanhar (b); configuração do equipamento para teste (c).	31
Figura 17 – Artigos publicados no período de cinco anos.	32
Figura 18 – Estrutura da metodologia.	34
Figura 19 – Tear Color 7 Mitsubishi.	34
Figura 20 – Produção da malha no tear.	35
Figura 21 – <i>Inlay</i> 1x1.	36
Figura 22 – <i>Inlay</i> com flutuação.	36
Figura 23 – Percurso <i>inlay</i> .	37
Figura 24 – Passagem tradicional do fio nos elementos do tear (a); raporte 1x1 (b).	37
Figura 25 – Adaptação da entrega de fio ao carro (a); raporte 1x1 (b).	38
Figura 26 – Adaptação da entrega de fio ao carro (a); raporte 2x1 (b).	39
Figura 27 – Cabine preta (a); cenário das fotos (b); fibra óptica conectada na caneta laser (c).	39

Figura 28 – Transmissão de luz: inlay 1x1 (a); inlay com flutuação (b); percurso inlay (c).	41
Figura 29 – Inserção <i>inlay</i> 1x1 (a); inserção <i>inlay</i> com flutuação (b).	42
Figura 30 – Comportamento da curva de densidade de cor para o percurso inlay. Fileira 1 (a); fileira 2 (b); fileira 3 (c); fileira 4 (d); fileira 5 (e).	42
Figura 31 – Comparação dos dados obtidos no <i>software</i> para as inserções pela técnica inlay.	45
Figura 32 – Interrupção da transmissão de luz.	45
Figura 33 – Transmissão de luz: PM2 com luz externa (a); PM2 na cabine preta (b); PM3 com luz externa (c); PM3 na cabine preta (d).	46
Figura 34 – Gráficos dos procedimentos: PM2 (a); PM3 (b).	47
Figura 35 – Comparação dos dados obtidos no software para os procedimentos.	48
Figura 36 – Reflexão total da luz (a); dispersão (b); flexão (c); perfuração (d); luminescência (e).	50
Figura 37 – Microscopia da POF em diferentes ampliações: 5x (a); 10x (b); 20x (c).	50
Figura 38 – Iluminação na extremidade (a); Iluminação no comprimento quando flexionado (b).	51
Figura 39 – Perda de luminosidade para os métodos de inserção.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade de cor em pixel para a técnica <i>inlay</i> .	44
Tabela 2 – Densidade de cor em pixels para a técnica inlay.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm	Centímetros
EMI	Interferência Eletromagnética
GI	<i>Graded index</i>
LABTEC	Laboratório de Tecidos e Malhas
LAMAE	Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural
µm	Micrômetro
PC	Polycarbonato
PM1	Procedimento Malha 1
PM2	Procedimento Malha 2
PM3	Procedimento Malha 3
PMMA	Polimetilmetacrilato
POF	Polymeric Optical Fiber
PPIL	Programa Avaliador de Perda de Intensidade Lumínica por Densidade de Cor
PS	Poliestireno
SI	<i>Step-index</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	OBJETIVOS	17
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	FIBRAS TÊXTEIS	18
2.2	TECNOLOGIAS TÊXTEIS	18
2.2.1	Tecidos de malha	19
2.3	TÊXTEIS INTELIGENTES	20
2.4	FIBRA ÓPTICA	22
2.5	TÉCNICAS DE INCORPORAÇÃO DE FIBRAS ÓPTICAS EM TÊXTEIS	26
2.6	APLICAÇÕES DE FIBRAS ÓPTICAS EM SUPERFÍCIES TÊXTEIS	28
2.7	APLICAÇÕES DE FIBRAS ÓPTICAS EM MALHAS	30
2.8	CONSIDERAÇÕES	31
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	MATERIAIS	33
3.1.1	Fibra óptica	33
3.1.2	Superfície têxtil	33
3.2	MÉTODOS	33
3.2.1	Desenvolvimento das malhas por trama	34
3.2.2	Fotografia	39
3.2.3	Análise de perda de luz	40
3.2.4	Microscopia	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	AVALIAÇÃO DA LUMINOSIDADE	41
4.1.1	Inserção por <i>inlay</i>	41
4.1.2	Inserção por fileira	45

4.1.3	Microscopia	49
4.1.4	Análises da iluminação	51
5.	CONCLUSÃO	53
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54
	REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria têxtil para além do vestuário, tem direcionado o cenário de pesquisas a novas tecnologias, apresentando inúmeras inovações na área da saúde, engenharia civil, arquitetura, transporte, entre outras. Neste sentido, os têxteis inteligentes tornaram-se destaque por possuírem propriedades que reagem a mudanças ambientais ou a estímulos mecânicos, térmicos, elétricos ou de outra natureza. O avanço nessa área proporcionou a presença, cada vez mais comum, de aplicações têxteis em sensores, comunicações e eletrônicos (FERREIRA et al., 2014).

A tecnologia *wearable*, que consiste em dispositivos eletrônicos vestíveis, passou a ser uma área de interesse crescente, dando origem aos *e-textiles*, uma nova geração de dispositivos dentro desta temática (AFROJ, 2020). A integração de um dispositivo eletrônico em uma peça de vestuário deve se preocupar com alguns parâmetros, como flexibilidade, leveza, conforto, condutividade, boa resistência à abrasão e tamanho adequado, visto que possivelmente haverá o contato direto e constante com o usuário. Em decorrência disso, há uma crescente tendência em fabricar todo o sistema eletrônico a partir de materiais têxteis (VISWANATHAN, 2019).

Entretanto, o desenvolvimento de sistemas completos a base de fibras têxteis enfrenta dificuldades para obter um produto que cumpra todos os requisitos mencionados (maleabilidade, flexibilidade, boa resistência mecânica, condutividade elétrica e resistência à água, entre outros (FERREIRA et al., 2014)). Para contornar isso, tem-se em progresso a criação de *e-textiles* utilizando fibras ou fios que conduzam eletricidade e sejam estáveis, leves e flexíveis, capazes de propagar os sinais enviados por toda a peça (AGUIAR, 2022).

No final da década de 90 surgiram relatos de pesquisas realizadas para produção de *e-textiles* a partir de fibras ópticas, com o objetivo de monitorar parâmetros fisiológicos (FERREIRA et al., 2014). O interesse no monitoramento fisiológico aumentou nos últimos anos. A literatura menciona, por exemplo, que esse interesse é verificado na área respiratória e cardíaca, devido aos sintomas de estresse e ansiedade que um simples exame de ressonância magnética causa em 30 % dos pacientes (LO PRESTI et al., 2017).

As fibras ópticas podem ser exploradas também para aplicações têxteis com a finalidade de efeitos visuais, como iluminação. A integração de fibras ópticas poliméricas oferece vantagens devido a sua leveza, custo e fácil manuseamento (KREBBER et al., 2012). Vários estudos abordam a integração de fibras ópticas poliméricas em substratos fibrosos por meio de tecnologias têxteis convencionais como tecelagem, costura e bordado. Já em relação à

integração destas fibras em estruturas de malha, há poucos estudos desenvolvidos (GUIGNIER et al., 2019). Essa deficiência de pesquisa na área da malharia é resultado, em grande parte, da dificuldade que se tem em adaptar as características da fibra óptica com as estruturas de malha, devido à flexão necessária para formação de laçadas. Durante as décadas de 70 e 80, estudos foram desenvolvidos para analisar os efeitos em fibras ópticas quando flexionadas. Tornou-se conhecimento comum, que as curvas fazem com que haja perda da energia propagada, podendo gerar quebra da fibra, o que interromperia o sinal, comprometendo sua eficiência (GRILLET et al., 2008). Entretanto, tem-se a necessidade de tornar possível a integração de fibras ópticas poliméricas durante a fabricação das malhas, assim como é realizado com fibras comuns, visto que malhas são estruturas muito utilizadas para aplicações próximas ao corpo, devido seu conforto (GUIGNIER et al., 2019).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a perda de luminosidade da fibra óptica polimérica quando inserida em tecidos de malha para o desenvolvimento de *e-textile*.

1.1.2 Objetivo específico

- (a) Integrar fibra óptica polimérica em malhas monofrontura por meio da inserção na direção da fileira introduzindo-a a partir de pontos simples, tecnologia *inlay* e pontos flutuantes
- (b) Investigar a viabilidade de cada método através da eficiência luminosa da fibra;
- (c) Avaliar e comparar os resultados obtidos para cada método.

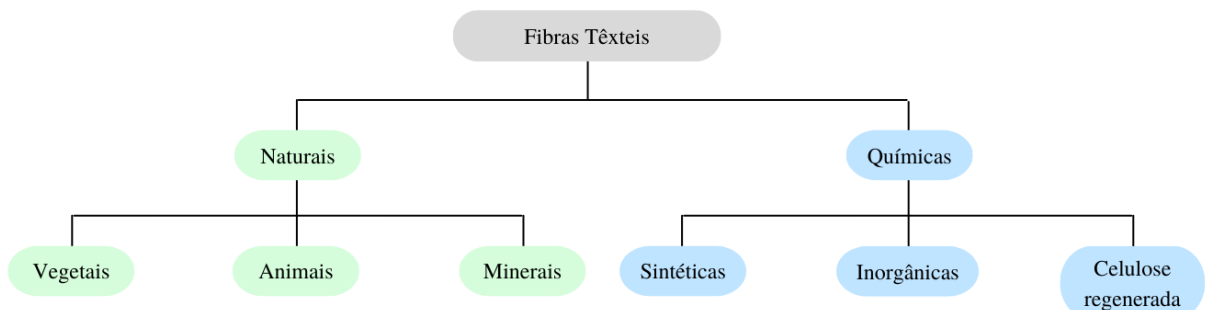
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção refere-se a revisão bibliográfica abordada neste trabalho. No primeiro momento, aborda-se conceitos de fibras e tecnologias têxteis, com ênfase na tecnologia de malharia. Em seguida, é apresentado o conceito e a classificação de têxteis inteligentes. Após, disserta-se sobre as classificações das fibras ópticas e suas aplicações gerais. Por fim, são apresentadas técnicas de incorporação e aplicações de fibras ópticas em materiais têxteis.

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

O mercado têxtil dispõe de uma grande variedade de fibras, com diferentes classificações e características (MATHER, 2011). A fibra têxtil possui uma elevada relação entre seu comprimento e diâmetro, podendo apresentar comprimento limitado, titulado como fibra, ou comprimento ilimitado, conhecido como filamento (AGUIAR, 2022). Estas fibras podem ser classificadas como naturais, que se subdividem em três classes: celulósicas, protéicas e minerais; ou manufaturadas, também divididas em três classes: fibras regeneradas, sintéticas e inorgânicas (MATHER, 2011). A Figura 1 ilustra a classificação das fibras têxteis.

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.

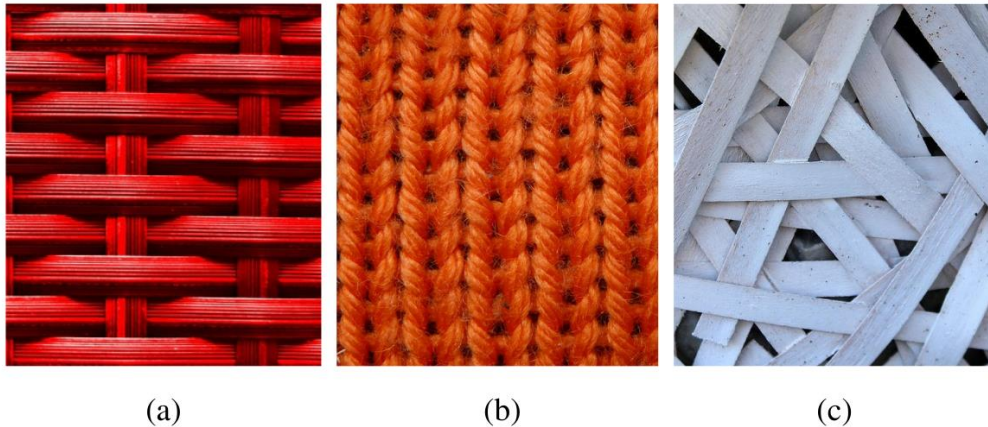


Fonte: Autora (2022).

2.2 TECNOLOGIAS TÊXTEIS

A indústria têxtil é formada por três grandes tecnologias no que se refere a formação de superfícies têxteis: tecelagem plana, malharia e não tecidos (PEREIRA, 2009). Cada grupo apresenta suas particularidades, características e conseqüentemente aplicações distintas, devido a maneira como as fibras e/ou fios são introduzidos. A estrutura formada por cada tecnologia está representada na Figura 2.

Figura 2 – Tecido plano (a); tecido de malha (b); não-tecido (c).



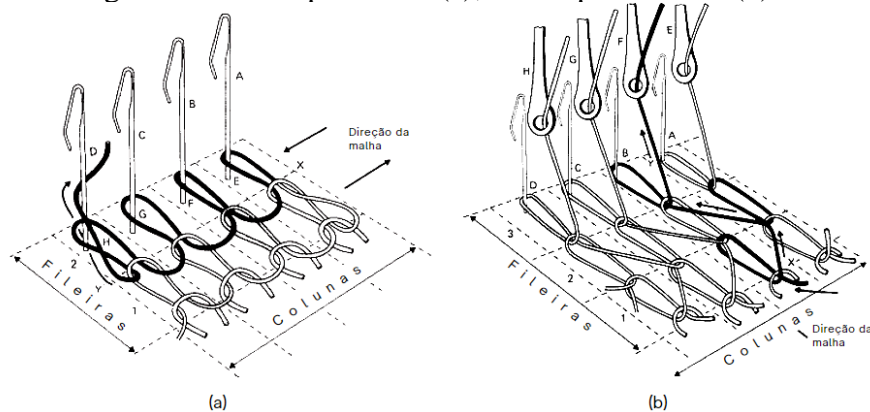
Fonte: Autora (2022).

Como é possível notar na Figura 2, tratam-se de estruturas bem diferentes, quando comparadas entre si.

2.2.1 Tecidos de malha

A característica elementar das malhas é a sucessão de laçadas consecutivas, que formam fileiras e colunas. A construção dessa estrutura pode ocorrer horizontalmente, classificada como malha por trama, ou verticalmente, classificada como malha por urdume (SPENCER, 2001). Na Figura 3 é possível observar a diferença na construção da malha causada pela direção em que ocorre a formação das laçadas.

Figura 3 – Malha por trama (a); malha por urdume (b).

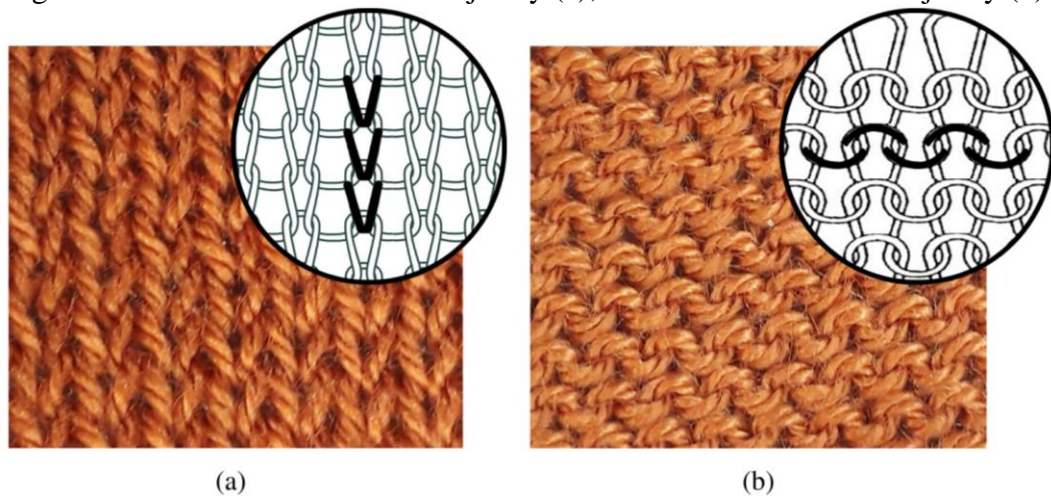


Fonte: Adaptado de Spencer (2001).

Existem quatro estruturas primárias de malhas por trama, a partir das quais as demais são formadas: jersey, rib, interlock e ponto esquerdo. A estrutura jersey é a mais popular e é produzida a partir de uma frontura de agulhas no tear, enquanto as demais estruturas são

produzidas em teares duplafrentura, variando a disposição das agulhas (SPENCER, 2001). A utilização desta estrutura é muito comum em meias e camisetas. No seu direito técnico é possível ver o aspecto de colunas que formam “Vs”, onde destacam-se as “pernas” das laçadas. No avesso técnico verificam-se as “cabeças” das laçadas, ressaltando a formação de semicírculos entrelaçados. É possível observar na Figura 4 os “Vs” presentes no direito técnico e os semicírculos no avesso técnico. Malhas produzidas em teares monofrentura, ou seja, derivadas de jersey, têm a tendência de enrolar nas laterais e possibilidade de ser desfeita partindo da primeira ou da última fileira produzida (SPENCER, 2001).

Figura 4 – Direito técnico da malha jersey (a); avesso técnico da malha jersey (b).



Fonte: Autora (2022).

2.3 TÊXTEIS INTELIGENTES

O conceito de têxteis inteligentes, tradução do inglês de *smart textiles*, foi introduzido no final da década de 90 e pode ser definido como têxteis capazes de sentir e responder às mudanças no meio em que se encontram (KONCAR, 2016). Os têxteis inteligentes correspondem à utilização de materiais com propriedades capazes de responder a estímulos por estresse mecânico, temperatura, agentes químicos ou de outras naturezas (KREBBER., 2012). O primeiro material têxtil inteligente foi um fio de seda com memória de forma (KONCAR, 2016). Com o avanço de pesquisas dentro desta temática, foram incluídos aos têxteis inteligentes materiais com funções de detecção e atuação, piezoelétricos, elétricos e magnéticos (FERREIRA et al., 2014).

Os têxteis inteligentes podem estar associados a questões estéticas e de melhoria de desempenho. Aqueles com finalidade decorativa ou estética possuem dispositivos eletrônicos

ou tratamentos químicos incorporados ao tecido, proporcionando mudanças visuais, como por exemplo, tecidos que brilham ou que mudam de cor. Já os têxteis inteligentes que melhoram o desempenho podem ter como função regular a temperatura corporal, reduzir a resistência ao vento e controlar a vibração muscular. Estes são utilizados, principalmente, para aplicações esportivas, militares e na área da saúde (VISWANATHAN, 2019). As principais funções atribuídas à têxteis inteligentes são a sensorização, processamento de dados, armazenamento e comunicação (FERREIRA et al., 2014).

Segundo Viswanathan (2019), a classificação dos têxteis inteligentes é dividida em três subgrupos: passivos, ativos e muito inteligentes.

- Os têxteis inteligentes passivos são capazes apenas de sentir o ambiente/usuário, funcionando como sensores. Estes correspondem à primeira geração de têxteis inteligentes e são os mais simples, como proteção ultravioleta para vestuário, tratamentos com plasma em substratos fibrosos e a utilização de sensores ópticos.
- Os têxteis inteligentes ativos integram a característica de sensorização do passivo, acrescido de uma função atuadora, capaz de reagir ao estímulo. São a segunda geração de têxteis inteligentes capazes de memorizar a forma, manter o efeito camaleão, regular a temperatura, entre outras funções.
- Já os têxteis muito inteligentes são capazes de sentir, reagir e adaptar o seu comportamento às circunstâncias. Formam a terceira geração de têxteis inteligentes e são os mais avançados, com um microcomputador embutido a um vestuário, possibilitando o desenvolvimento de jaquetas musicais e trajes espaciais.

A Figura 5 apresenta as classificações e alguns exemplos.

Figura 5 – Classificação dos têxteis inteligentes.

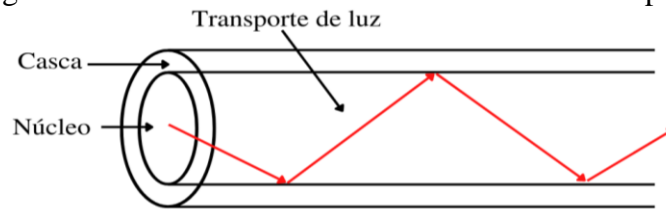


Fonte: Maestri (2022).

2.4 FIBRA ÓPTICA

As fibras ópticas são normalmente associadas à transmissão de dados a longas distâncias e redes de comunicação (MATHER, 2011). Essas fibras são aplicadas em diferentes áreas, como comunicações, medicina, astronomia e têxtil (EICHHORN et al., 2009). A fibra óptica precisa ter uma elevada transparência, pois essa propriedade dita a distância na qual o sinal pode ser transmitido com eficiência (MATHER, 2011). São constituídas por um núcleo (de vidro ou polímero) coberto por um material com índice de refração inferior ao índice de refração do núcleo. É essa diferença nos índices de refração que mantém a luz no núcleo da fibra. Esse fenômeno, ilustrado pelas setas vermelhas na Figura 6, é chamado de reflexão total e possibilita a propagação de luz por longas distâncias (SOUZA, 2015). A matéria-prima da fibra é quem determina a transparência, suas propriedades mecânicas, complexidade de fabricação e custo, definindo também as aplicações da fibra (EICHHORN et al., 2009). Com o desenvolvimento das fibras ópticas, as aplicações foram alcançando novas áreas e a sua propriedade de transmissão de sinal passou a ser utilizada em sensoriamento. Em comparação aos sensores elétricos, as fibras ópticas são muito atraentes não apenas por suas características de transmissão de informação e detecção, mas também por sua leveza, diâmetro reduzido, imunidade a interferência eletromagnética (EMI) e resistência a ambientes agressivos (MIN, 2021).

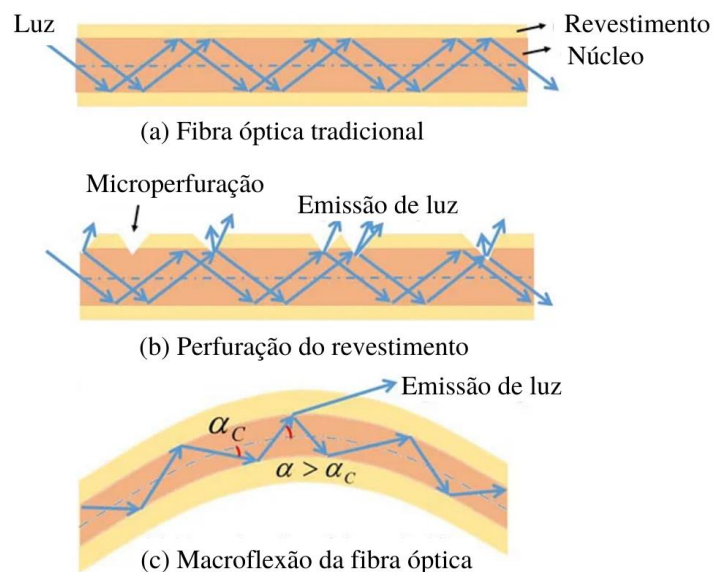
Figura 6 – Reflexão total da luz no núcleo da fibra óptica.



Fonte: Autora (2022).

As fibras ópticas são divididas em dois grupos, fibras de vidro e fibras poliméricas (Polymeric Optical Fiber - POF) (PFEIFFER, 2014). A fibra óptica de vidro foi utilizada pela primeira vez para transmissão de luz há mais de 150 anos e na década de 1960 foram desenvolvidas as fibras ópticas poliméricas. Em 1967 a empresa DuPont publicou com sua patente o conceito de têxteis utilizando POF para iluminação em tecidos (SELM, 2010). A fibra óptica processada para emissão de luz é formada com microperfurações em seu revestimento, permitindo a passagem de luz do núcleo pelo revestimento (Figura 7b). Outra alternativa para emissão de luz são as macroflexões (Figura 7c), onde o ângulo de propagação de luz α é maior que o ângulo crítico α_c (GONG, 2019). Ou seja, as curvas causadas na fibra óptica geram perdas na propagação de sinal, sem que haja perfurações no revestimento. Dessa forma, à medida que o diâmetro da curva vai aumentando, a perda de luz vai reduzindo e a reflexão para a extremidade da fibra torna-se maior (GRILLET, 2008).

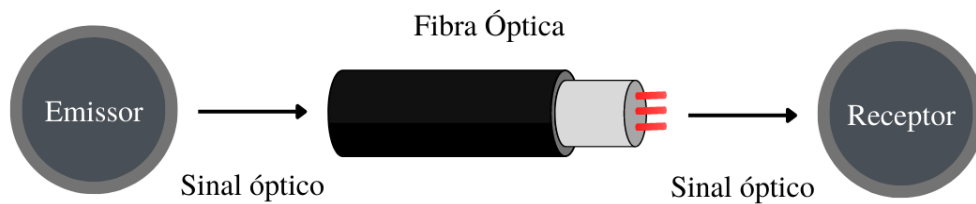
Figura 7 – Emissão lateral da luz. Fibra óptica tradicional (a); microperfurações no revestimento (b); macroflexão (c).



Fonte: Adaptado de Gong (2019).

As fibras ópticas poliméricas assemelham-se bastante às fibras têxteis tradicionais por conta de sua aparência fibrosa, podendo ser processada de forma semelhante aos filamentos têxteis. Além disso, as POFs são flexíveis, duráveis, leves, com diâmetro reduzido, econômicas e não sofrem interferências eletromagnéticas. Essas características as tornam excelentes materiais para serem incorporados a estruturas têxteis (GONG, 2019). A transmissão de luz em fibras ópticas incorporadas em substratos têxteis ocorre através da conexão a uma fonte de luz externa, como ilustrado na Figura 8 (SELM, 2010).

Figura 8 – Transmissão de sinal em fibras ópticas.



Fonte: Autora (2022).

De acordo com a classificação dos têxteis inteligentes (Figura 5), os substratos fibrosos que incorporam fibra óptica para iluminação ou sensorização são classificados como têxteis inteligentes passivos (VISWANATHAN, 2019; EL-SHERIF, 2004). A Figura 9 apresenta exemplos da iluminação proporcionada por fibras ópticas em têxteis.

Figura 9 – Têxteis iluminados com fibra óptica pela técnica de tecelagem.



Fonte: Gong (2019).

Dentre as duas classes de fibra óptica, a fibra óptica de vidro, produzida a partir de sílica (SiO_2), é a mais utilizada, normalmente empregada para comunicação (PFEIFFER, 2014; MIN, 2021). Quando aplicada para sensoriamento, essa fibra apresenta desvantagens por conta da sua rigidez, tendo uma baixa flexibilidade e chances de estilhaços, caso seja quebrada (MIN, 2021). A fibra de sílica é produzida por um processo de extrusão por fusão, com base em um processo que utiliza elevada temperatura e um rápido resfriamento para formar um material amorfo (MATHER, 2011). O diâmetro dessas fibras é em torno de 125 a 250 μm , sendo impossibilitadas de apresentarem diâmetros superiores, devido a propriedade física da sílica, que tem a sua rigidez aumentada quando mais espessa (PFEIFFER, 2014; EICHHORN et al., 2009). Logo após serem resfriadas, as fibras são revestidas com duas camadas de um polímero protetor, protegendo as fibras de forças mecânicas e químicas (PFEIFFER, 2014). A elevada transparência e o núcleo reduzido das fibras ópticas de vidro as tornam ideais para serem aplicadas em telecomunicação, onde as distâncias e as taxas de transmissão de dados são elevadas. A fibra óptica de vidro também é usada em aplicações médicas e sensores (EICHHORN et al., 2009).

Quanto às fibras ópticas poliméricas, os polímeros mais utilizados para a fabricação são o polimetilmetacrilato (PMMA), o policarbonato (PC) e o poliestireno (PS, este, utilizado em menor escala) (MATHER, 2011). O PMMA apresenta maior transparência entre os polímeros usados (EICHHORN et al., 2009). As fibras ópticas poliméricas são subdivididas em duas classes: fibras *step-index* (SI), que apresentam um núcleo de índice de refração constante e mais elevado e fibras *graded index* (GI), que tem uma diminuição gradual do índice de refração (PFEIFFER, 2014, EICHHORN et al., 2009). O processo de formação do filamento pela técnica de extrusão da SI-POF é muito semelhante aos processos convencionais de fiação por fusão para fibras químicas. Para a fabricação de fibras GI-POF há cinco processos: polimerização em gel de superfície; centrifugação; difusão; reações fotoquímicas e extrusão de múltiplas camadas (PFEIFFER, 2014). Comparadas às fibras de sílica, as POFs podem ter diâmetros maiores sem perder a flexibilidade. O diâmetro maior aumenta as tolerâncias nos conectores, favorecendo a redução do custo da fibra. Além disso, em relação às fibras de sílica, as POFs têm maior flexibilidade, baixo módulo de Young e biocompatibilidade (MIN, 2021). Devido as suas propriedades, a aplicação das fibras ópticas poliméricas é mais comum em transmissão de luz a curta distância, como em redes locais instaladas em carros (EICHHORN et al., 2009).

2.5 TÉCNICAS DE INCORPORAÇÃO DE FIBRAS ÓPTICAS EM TÊXTEIS

Para incorporar as fibras ópticas em um vestuário, é preciso considerar a conexão com a fonte de luz, deixando pontas soltas, para que posteriormente possam ser empacotadas e fixadas a esta fonte (CHEN, 2020). Existem diferentes técnicas têxteis aptas para incorporar as fibras ópticas em substratos fibrosos, como tecelagem, malharia, costura e bordado (GONG, 2019). Na Figura 10 observa-se a inserção de fibra óptica por intermédio da tecnologia de tecelagem plana em uma peça de vestuário.

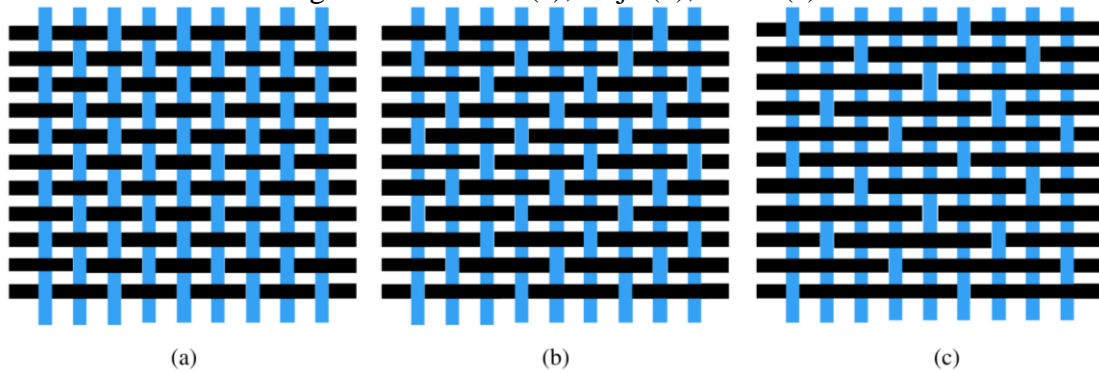
Figura 10 – Vestuário com fibra óptica tecida.



Fonte: Chen (2019).

Para o método em que a incorporação acontece por meio de tecelagem plana, a fibra óptica sofre flexão com o cruzamento dos fios perpendiculares a ela. A padronagem do tecido influencia de maneira significativa a eficiência e o desempenho da fibra óptica (KHALIL, 2003), além de interferir nas propriedades mecânicas e de monitoramento da mesma. Por exemplo, as fibras ópticas do tipo *sidelight*, em que ocorre a emissão lateral de iluminação ao longo do comprimento, devido a perda de luz controlada, apresentam melhor propriedade de emissão quando inseridas no raporte de cetim, comparada aos raportes de tafetá ou sarja (GONG, 2019). Isso ocorre porque o frisado no cetim é menor que na sarja e menor que no tafetá, nesta ordem. A Figura 11 exemplifica a inserção da fibra óptica (fios azuis) nos três raportes base de tecelagem.

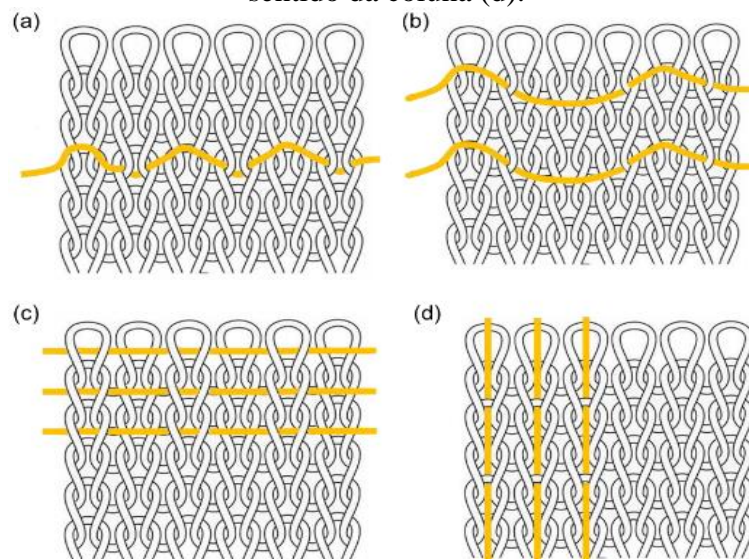
Figura 11 – Tafetá (a); sarja (b); cetim (c).



Fonte: Autora (2022).

A malharia é outra tecnologia que pode ser usada para incorporar fibras ópticas. Nas estruturas de malha por trama, as fibras ópticas são inseridas no sentido da fileira, que consiste no conjunto consecutivo de laçadas na direção horizontal. As fibras ópticas em estruturas de malha sofrem maior flexão do que em estruturas de tecido plano, por conta do formato das laçadas, tendendo inclusive a romper (CHEN, 2019). Entretanto, para que ocorra sua introdução a partir da tecnologia de malharia, normalmente as fibras ópticas são inseridas na estrutura de malha através da tecnologia *inlay*, reduzindo consideravelmente a flexão exercida sobre as fibras (GONG, 2019). Na Figura 12 o fio amarelo ilustra a fibra óptica inserida por diferentes métodos.

Figura 12 – Ponto carregado (a); ponto carregado com flutuação (b); *inlay* 1x1 (c); *inlay* no sentido da coluna (d).



Fonte: Gong (2019).

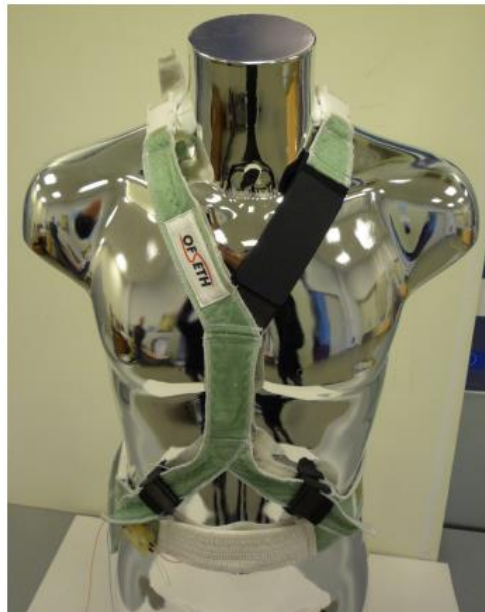
A tecnologia *inlay* é utilizada na malharia por trama para inserir fios na estrutura, sem que esses fios sejam submetidos a laçadas. Neste método, a fibra óptica é introduzida entre as

laçadas da malha. Essa tecnologia é normalmente aplicada em meias de compressão com os fios elastoméricos. No entanto, contrário ao comportamento dos fios elastoméricos, a fibra óptica não possui elasticidade, restringindo a extensibilidade da malha proveniente de suas laçadas. Ainda assim, a técnica *inlay* é vantajosa pois reduz a tensão e o atrito sobre a fibra óptica, evitando rupturas que afetem a transmissão de sinal (CHEN, 2019; GUIGNIER, 2019).

2.6 APLICAÇÕES DE FIBRAS ÓPTICAS EM SUPERFÍCIES TÊXTEIS

Várias aplicações de fibra óptica em têxteis inteligentes estão sendo propostas para monitoramento de respiração e batimentos cardíacos. Na grande maioria, as sugestões apresentam soluções em acessórios específicos fabricados para serem usados junto ao vestuário, como cinta elástica ou material adesivo. Há a fabricação de têxteis inteligentes com a introdução de fios a partir da técnica de tecelagem, proporcionando maior conforto ao usuário (KOYAMA, 2018). A Figura 13 apresenta um aparelho de monitoramento para pacientes durante ressonância magnética com sensor de respiração torácica (fibra óptica embutida na faixa de cor preta) e um sensor de respiração abdominal (fibra óptica embutida na faixa de cor branca localizada sobre o abdômen).

Figura 13 – Aparelho para monitoramento de pacientes.



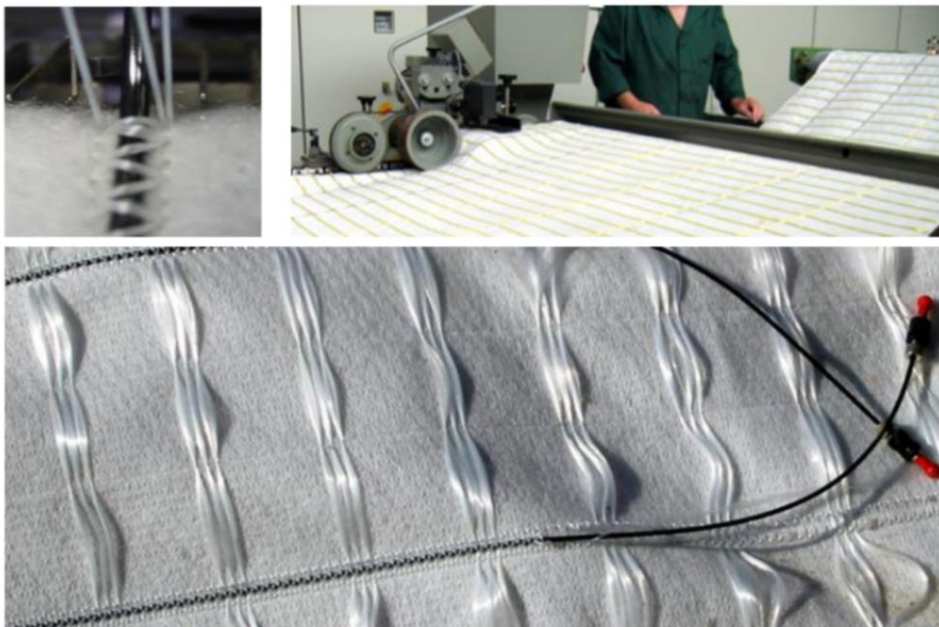
Fonte: Krebber (2012).

A integração de dispositivos utilizando fibra óptica em tecidos para aplicação próximo à pele possuem excelentes propriedades ópticas e térmicas para aplicação em fototerapia,

tratamento que alivia dores, lesões nos tendões, doenças metabólicas e reparação de tecidos humanos. Nesse caso, o comprimento de onda selecionado pode atingir diferentes efeitos terapêuticos, pois diferentes comprimentos de onda alcançam várias profundidades de penetração nos tecidos humanos (GONG, 2019).

Os geotêxteis são mantas de não-tecido utilizadas em barragens, aterros e ferrovias, com a função de separar, filtrar, reforçar e proteger o solo (KREBBER, 2012; NTC, 2022). A incorporação de fibras ópticas em mantas geotêxteis permite o monitoramento da deformação mecânica, tensão, temperatura, umidade, medição da integridade e da saúde estrutural. Para essa aplicação, utilizou-se inicialmente fibras de vidro, mas por conta da sua baixa resistência a elevadas deformações mecânicas, seu limite para a medição baseada no espalhamento de Brillouin (interações entre ondas de luz e vibrações mecânicas dentro de um material) era atingido com deformação de 1 %. Como alternativa, a utilização de POF tornou-se bem mais atrativa por apresentar maior elasticidade, alta tensão e capacidade de medir deformações de mais de 40%. A POF é excelente para medições de curta distância, aplicada em locais onde já se espera ter elevada deformação mecânica (KREBBER, 2012). Observa-se, na Figura 14, a integração da fibra óptica polimérica a partir da técnica de costura sobre um geotêxtil.

Figura 14 – POF integrada em geotêxtil de não-tecido.



Fonte: Adaptado de Krebber (2012).

2.7 APLICAÇÕES DE FIBRAS ÓPTICAS EM MALHAS

A incorporação de fibras ópticas em estruturas de malha ainda é pouco abordada em pesquisas científicas (GUIGNIER, 2019). Uma grande dificuldade está na orientação da fibra ao ser inserida, sendo mais prático inserir a POF verticalmente, devido a rigidez da fibra. A rigidez restringe a maleabilidade do tecido, permitindo dobras paralelas a direção da inserção, mas dificultando dobras perpendiculares. O vestido SALLA (Figura 15) é um exemplo de como a fibra óptica ao ser inserida horizontalmente pode prejudicar o caimento do vestuário, projetando partes do vestido (CHEN, 2019).

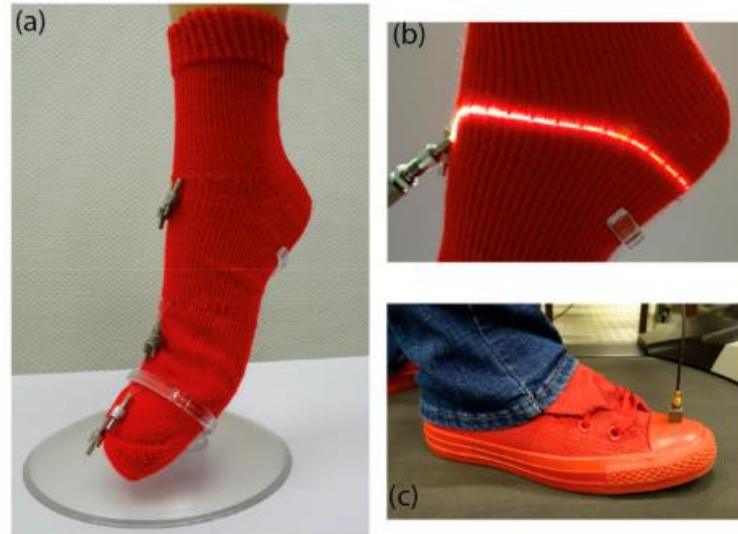
Figura 15 – Vestido de malha da marca SALLA utilizando fibra óptica.



Fonte: Chen (2019).

A fibra óptica polimérica tem sido aplicada em tecidos de malha não só com fins de transmissão de luz, mas também para sensoriamento fisiológico do corpo. Uma meia com incorporação de POF introduzida através da técnica *inlay* foi desenvolvida com o intuito de monitorar o pé de pessoas que possuem diabetes, capaz de medir a pressão e o atrito dos pés com a meia durante práticas como caminhadas. A fibra foi inserida em três regiões de pressão do pé: calcanhar, meio e ponta do pé (GUIGNIER, 2019). A Figura 16 apresenta a meia desenvolvida com fibra óptica inserida pela técnica *inlay*.

Figura 16 – Meia com fibra óptica (a); transmissão de luz pela fibra óptica inserida no calcanhar (b); configuração do equipamento para teste (c).

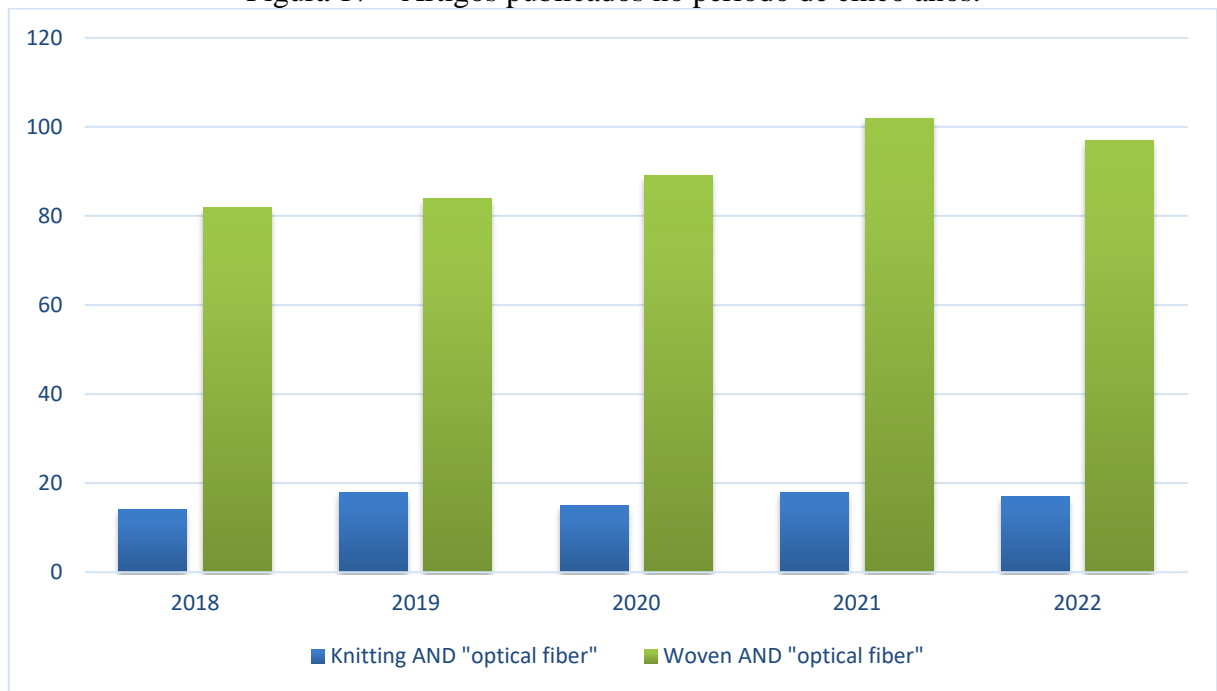


Fonte: Guignier (2019).

2.8 CONSIDERAÇÕES

De acordo com as pesquisas realizadas na revisão bibliográfica, que abordam aplicações de fibras ópticas em substratos fibrosos a partir de diferentes técnicas de desenvolvimento de superfícies têxteis (tecelagem, não-tecido e malharia), dentre os trabalhos que se obteve acesso, nota-se um volume mais expressivo de inserção utilizando a tecnologia de tecelagem e a técnica de costura, quando comparada a tecnologia de malharia. O gráfico apresentado na Figura 17 demonstra, numericamente, a diferença do volume de estudos presentes nas bases de dados “*Science Direct*” e “*Web of Science*” nos últimos cinco anos, ao utilizar como palavras chaves de pesquisa os termos *Knitting AND “optical fiber”* (relacionado à malharia) e *Woven AND “optical fiber”* para tecelagem.

Figura 17 – Artigos publicados no período de cinco anos.



Fonte: Autora (2022).

Independente da técnica utilizada, verifica-se que não há estudos na literatura que contemplem análises da perda de luminosidade, informação interessante para avaliar a eficiência de transmissão de luz e, conseqüentemente, de dados, principalmente quando a fibra óptica é empregada no monitoramento dos mais diversos tipos de utilizadores. Portanto, são justificativas que reforçam o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção é destinada à descrição dos materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, referente a transmissibilidade de luz em fibras ópticas poliméricas após serem inseridas em tecidos de malha por trama.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Fibra óptica

Utilizou-se fibra óptica polimérica da marca CHINLY, com diâmetro de 0,25 mm e núcleo produzido de polimetilmetacrilato (PMMA).

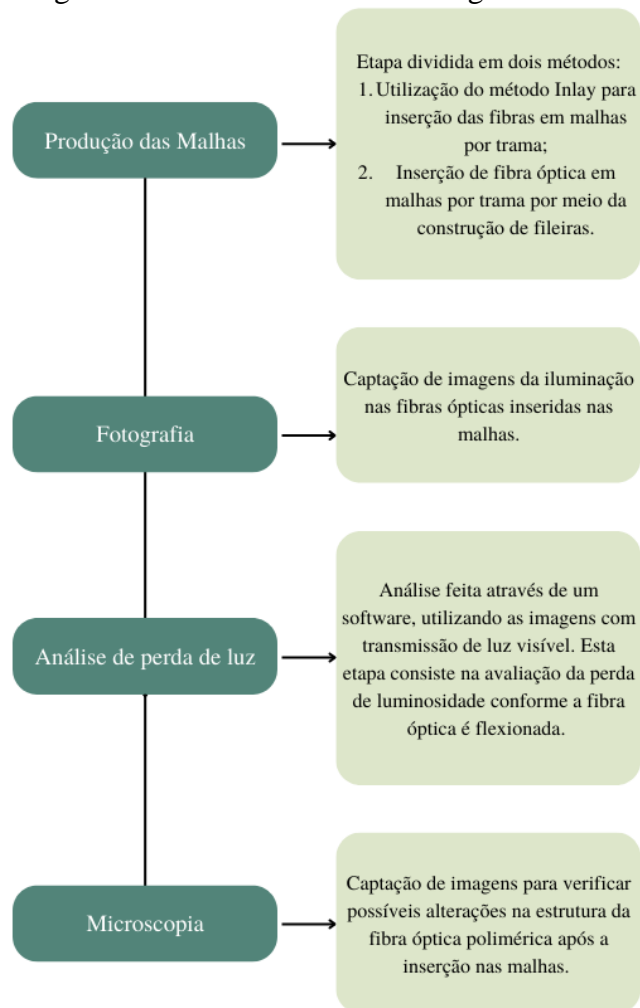
3.1.2 Superfície têxtil

Para o desenvolvimento deste trabalho foram produzidas malhas por trama monofrentura em tear retilíneo manual, utilizando fio 100 % algodão com o título 145 Tex.

3.2 MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em grande parte no Laboratório de Tecidos e Malhas (LABTEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Blumenau. O diagrama com a estrutura do trabalho é apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Estrutura da metodologia.



Fonte: Autora (2022).

3.2.1 Desenvolvimento das malhas por trama

As malhas foram produzidas no tear retilíneo manual Color 7, da marca Mitsubishi, apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Tear retilíneo manual Color 7 Mitsubishi.



Fonte: Autora (2022).

Foram realizados dois métodos de inserção da fibra óptica nas malhas, denominados como método por *inlay* e método por fileiras.

3.2.1.1 Inserção utilizando a técnica *inlay*

Para o desenvolvimento das malhas, estipulou-se inicialmente um padrão de tamanho para as mesmas, onde todas as amostras foram elaboradas com 30 colunas, 60 fileiras e comprimento de laçada igual a 1,13 cm. As amostras produzidas foram malhas jersey, utilizando o fio 100% algodão, como demonstrado na Figura 20. Após a produção das malhas, seguiu-se para a etapa de inserção da fibra óptica. Devido ao tear utilizado para esta pesquisa ser monofrentura, não foi possível inserir a POF pela técnica *inlay* através do mesmo. Dessa maneira, realizou-se a inserção da fibra óptica de forma manual para esta técnica. A fibra óptica foi inserida de três maneiras diferentes, em triplicata.

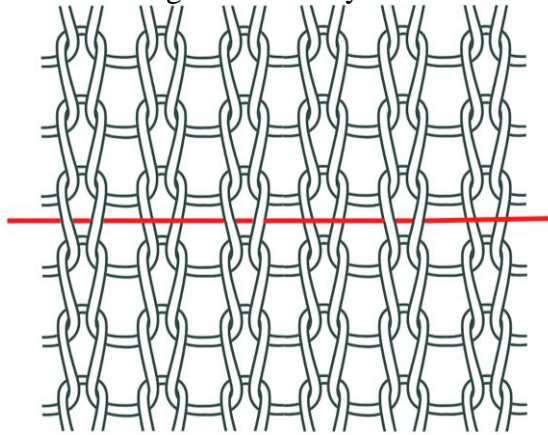
Figura 20 – Produção da malha no tear.



Fonte: Autora (2022).

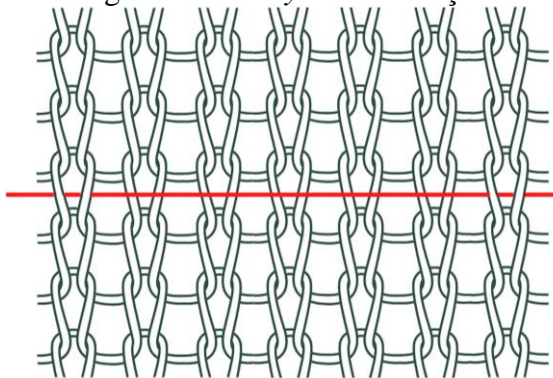
O primeiro modo seguiu o conceito básico da técnica *inlay*, entrelaçando o fio na direção das fileiras, entre as colunas, como exemplificado na Figura 21. Dessa forma, a fibra óptica alternou entre o direito técnico (frente) e avesso técnico (verso) em cada coluna. A fibra óptica inserida foi previamente cortada em um tamanho padrão de 30 cm de comprimento. A inserção foi realizada de forma que as pontas da POF permanecessem livres, com margem de 10 cm para cada lado, prontas para receber o sinal da fonte e transmitir até o final do seu comprimento.

Figura 21 – Inlay 1x1.



Fonte: Autora (2022).

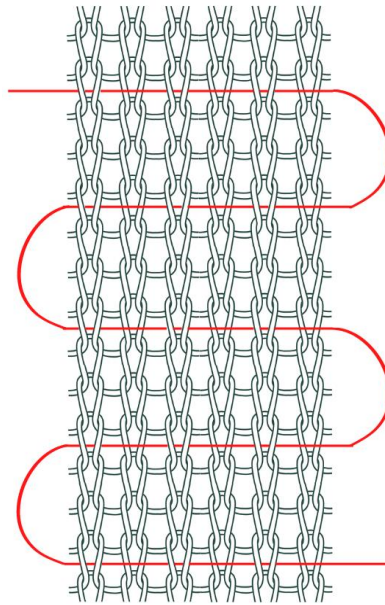
No segundo modo, a fibra óptica polimérica foi inserida na malha a partir de pontos com flutuações pelo direito técnico com intervalo de cinco colunas. Para este método, a POF para este modo também foi previamente cortada com 30 cm de comprimento, com 10 cm de margem em cada lado. O desenho apresentado na Figura 22 exemplifica a inserção da fibra óptica nas amostras.

Figura 22 – *Inlay* com flutuação.

Fonte: Autora (2022).

O último modo desenvolvido para este método consistiu na inserção de um comprimento maior de fibra óptica (85 cm), onde o fio foi entrelaçado pelas colunas, semelhante ao primeiro modo, mas sem que houvesse ao final da fileira uma ponta livre, e sim a continuação do processo de inserção em um intervalo de três fileiras consecutivas, repetindo-se por quatro voltas. A Figura 23 demonstra a maneira como foi realizada a inserção.

Figura 23 – Percurso inlay.



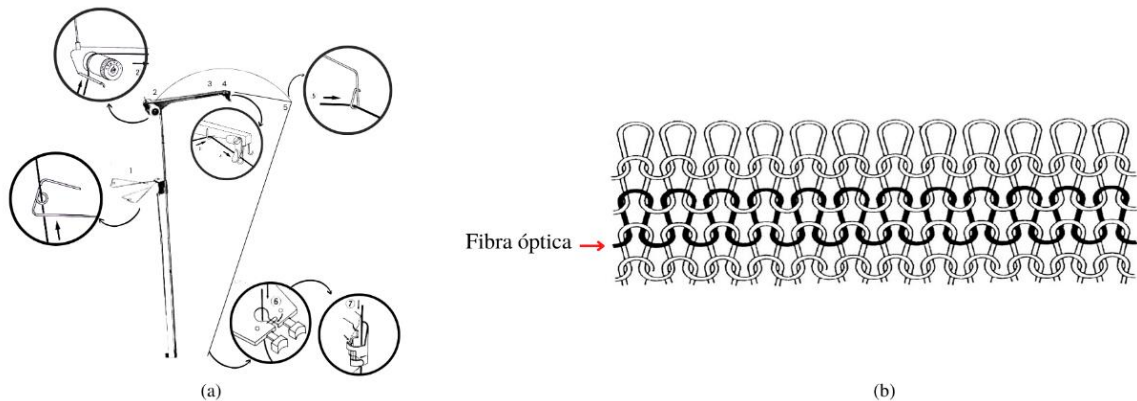
Fonte: Autora (2022).

3.2.1.2 Inserção por fileira

Neste método, três formas de inserção foram testadas para obter-se o melhor resultado de transmissão de luz, visto que o atrito entre o material fibroso e os elementos de máquina durante a formação de laçadas são condições que prejudicam o desempenho da fibra óptica.

No procedimento denominado PM1, a fibra óptica foi inserida diretamente na fileira, a partir da formação de pontos simples em uma malha com 30 colunas e comprimento de laçada de 1,13 cm. A fibra óptica foi posicionada no tear como indicado para fios contrastantes comuns, mantendo constante atrito com as partes metálicas do equipamento. Durante a inserção, a fibra óptica sofreu ruptura e quebras em todo o seu comprimento. A Figura 24 ilustra a maneira como foi realizada a inserção.

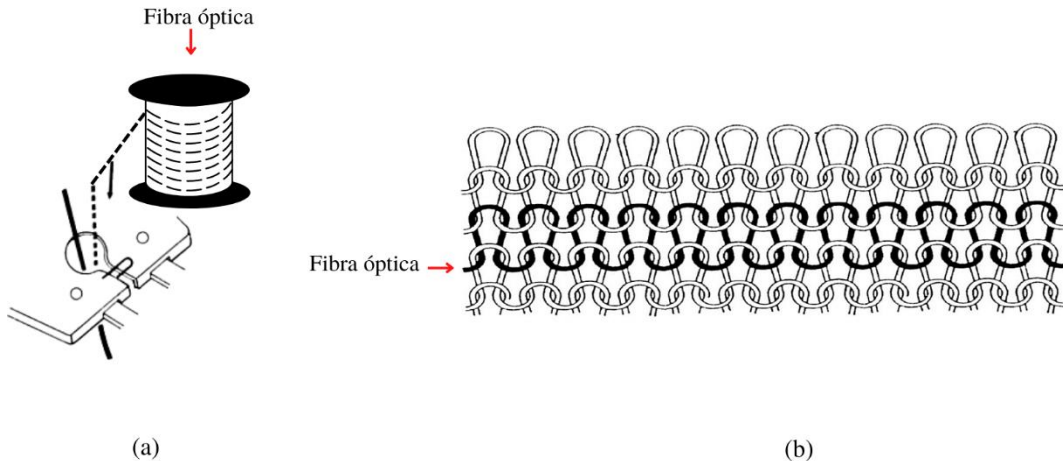
Figura 24 – Passagem tradicional do fio nos elementos do tear (a); raporte 1x



Fonte: Autora (2022).

No procedimento intitulado PM2, reduziu-se a quantidade de colunas na malha para 12. A entrega do fio de fibra óptica ao alimentador foi adaptada, reduzindo o contato com os elementos metálicos do tear, sendo entregue diretamente ao carro do equipamento (Figura 25.a). O comprimento de laçada para a POF foi alterado para 1,25 cm, enquanto o fio 100 % algodão foi mantido o mesmo comprimento de laçada de 1,13 cm. A inserção da POF foi concluída durante toda a fileira, sem rupturas e quebras.

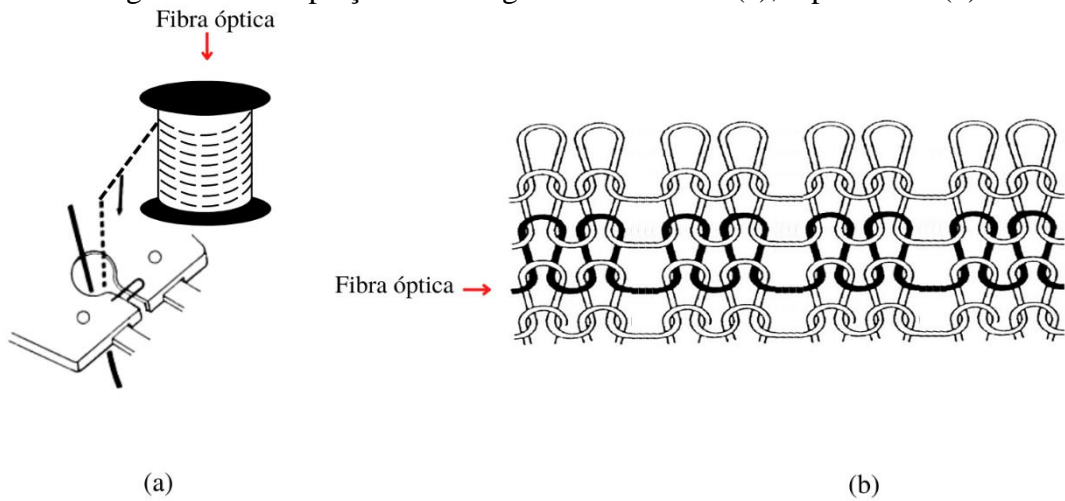
Figura 25 – Adaptação da entrega de fio ao carro (a); raporte 1x1 (b).



Fonte: Autora (2022).

Devido ao resultado positivo obtido no procedimento PM2, onde a fibra óptica não se rompeu, a adaptação de entrega de fio e o comprimento de laçada da POF foram mantidos para o procedimento PM3, mudando desta vez a quantidade e configuração de seleção de agulhas. Desenvolveu-se uma malha com 8 colunas e a seleção de agulhas foi realizada com um raporte de duas agulhas acionadas e uma em repouso. A POF foi inserida na fileira sem sofrer rupturas ou quebras. É possível observar na Figura 26 a entrega adaptada da POF (a) e a seleção das agulhas (b).

Figura 26 – Adaptação da entrega de fio ao carro (a); raporte 2x1 (b).

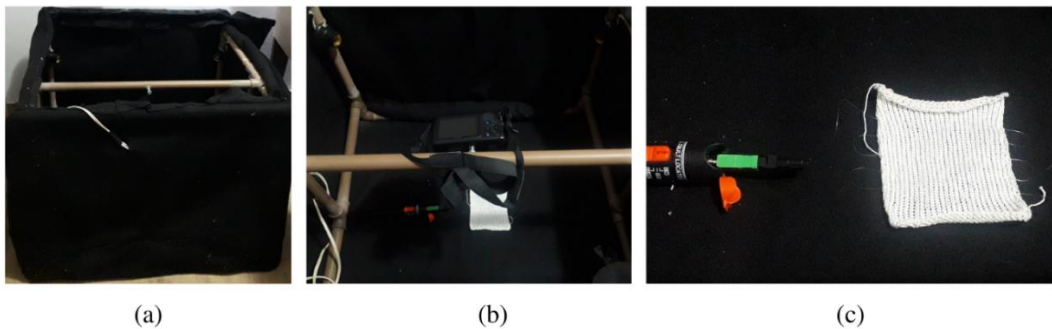


Fonte: Autora (2022).

3.2.2 Fotografia

A transmissão de luz entre duas extremidades da fibra óptica ocorre no núcleo por meio da reflexão total, entretanto uma parte do sinal luminoso é degradado durante o caminho. Essa perda de luz pode ser ocasionada principalmente por impurezas contidas no polímero do núcleo, microperfurações ou por macroflexões. Em ambientes com iluminação externa, a emissão de luz proveniente da fibra óptica torna-se pouco visível. Para melhor visualização da iluminação da POF, o ambiente deve estar escuro. Além da iluminação reduzida ao mínimo possível, as fotos foram realizadas dentro de uma cabine preta, mantendo assim o ambiente ideal para a realização das imagens sem interferência de luz externa. A câmera utilizada ficou fixada na cabine para que todas as fotos fossem realizadas na mesma distância, para manter-se um padrão. Todas as amostras analisadas foram conectadas à caneta *laser* e colocadas na mesma posição, com a fonte de luz posicionada à esquerda das amostras e a extremidade final à direita. A Figura 27 apresenta os equipamentos utilizados na captura de imagens.

Figura 27 – Cabine preta (a); cenário das fotos (b); fibra óptica conectada na caneta laser (c).



Fonte: Autora (2022).

3.2.3 Análise de perda de luz

Para as análises da perda de luminosidade das fibras ópticas poliméricas ao serem inseridas em malhas por trama, foi utilizado o *software* PPIL desenvolvido pelo Prof. Dr. Leonardo Mejia Rincon, da Universidade Federal de Santa Catarina. O *software* foi desenvolvido para avaliar a luminosidade em uma dissertação de mestrado que realizou inserções de fibras ópticas através da tecnologia de costura em malhas. O Prof. Dr. Leonardo Mejia, coorientador deste trabalho de conclusão de curso, compartilhou seu *software* para uso nesta pesquisa que busca, semelhantemente, detectar os efeitos na transmissibilidade de luz em fibras ópticas, estas inseridas no processo de produção das malhas.

A análise no *software* é realizada através da leitura por imagem da densidade de cor em pixel em uma área selecionada. Ao carregar a imagem no *software*, o mesmo divide a área em pequenos retângulos e faz a leitura da densidade em pixel presente em cada retângulo, gerando ao final um gráfico que representa a intensidade de luz da fibra óptica na área supracitada. Os picos formados ao longo da distância percorrida indicam maior densidade de cor, enquanto os vales indicam menor densidade. Quando a curva se encontra na posição $y=0$, significa que não há transmissão de luz no local.

3.2.4 Microscopia

A análise microscópica das fibras ópticas poliméricas foi realizada no Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural (LAMAE) da UFSC, em Blumenau. O equipamento utilizado foi o microscópio óptico ZEISS Axio Lab. A1, que realiza análises de defeitos de material. As amostras foram ampliadas em 5, 10 e 20 vezes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentado os resultados e as discussões dos experimentos realizados. Inicialmente, aborda-se os resultados obtidos através do *software* PPIL, com os dados de densidade de cor e perda de luminosidade para cada método. Em seguida, apresenta-se os resultados das imagens obtidas por microscopia. Por fim, disserta-se sobre a comparação dos resultados obtidos para cada método de inserção estudado.

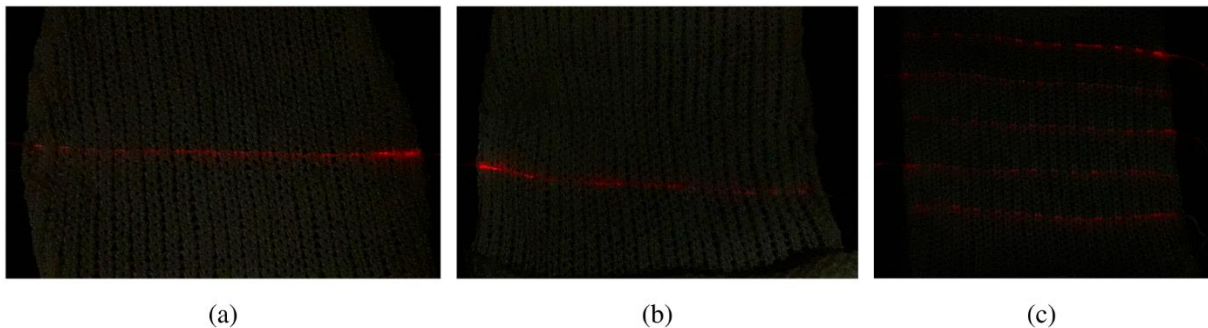
4.1 AVALIAÇÃO DA LUMINOSIDADE

Analisou-se as imagens através do *software* PPIL para avaliar, por meio de dados numéricos, o método que apresenta maior eficiência de transmissibilidade de luz.

4.1.1 Inserção por *inlay*

O resultado da transmissão de luz para cada método de inserção pela técnica *inlay* é apresentado na Figura 28.

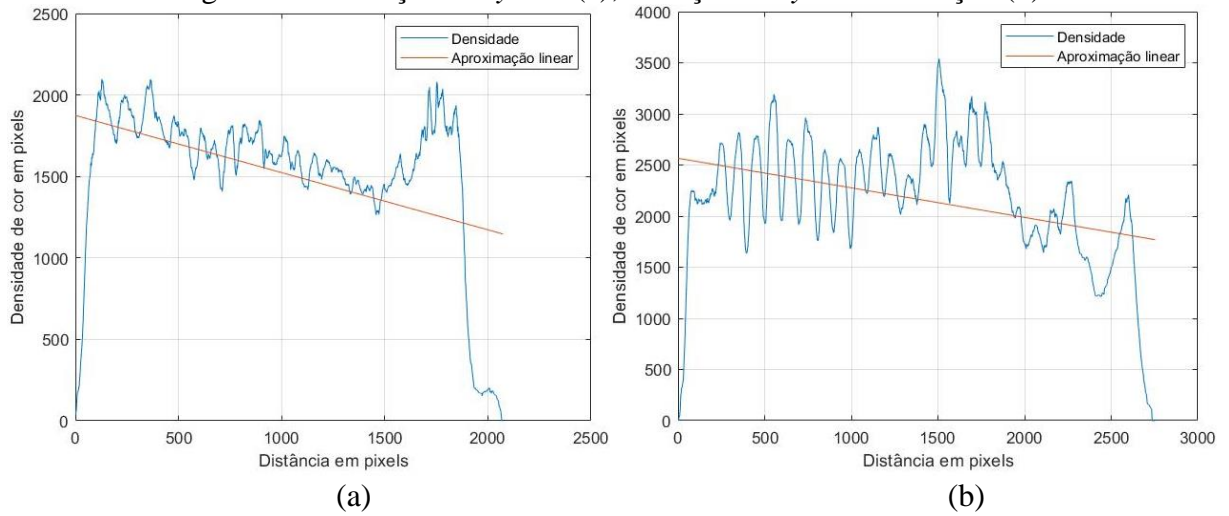
Figura 28 – Transmissão de luz: *inlay* 1x1 (a); *inlay* com flutuação (b); percurso *inlay* (c).



Fonte: Autora (2022).

A Figura 29 apresenta a curva formada para os métodos de inserção *inlay* 1x1 e *inlay* com flutuação.

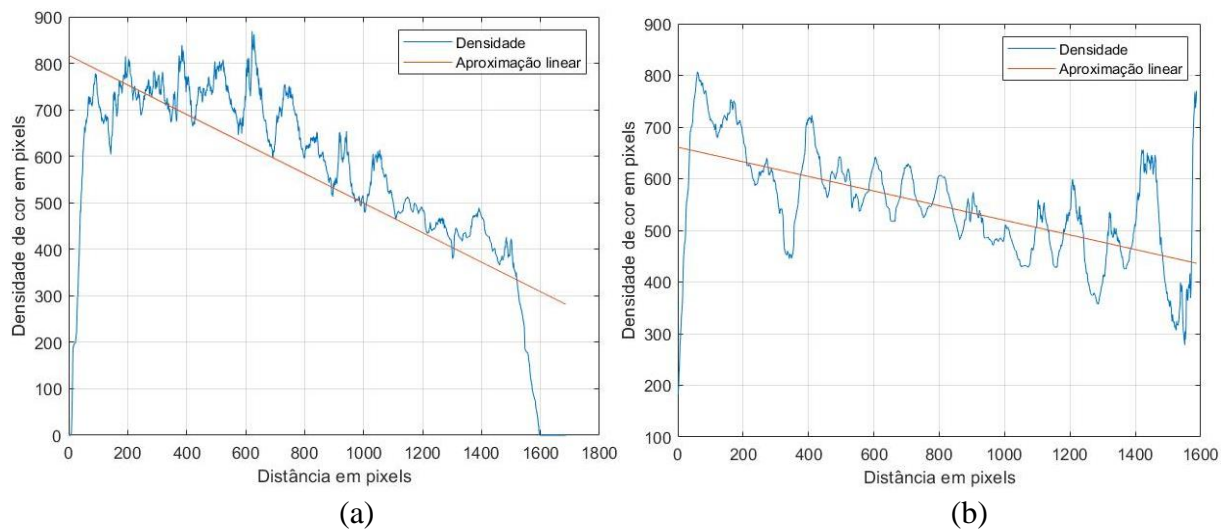
Figura 29 – Inserção *inlay* 1x1 (a); inserção *inlay* com flutuação (b).

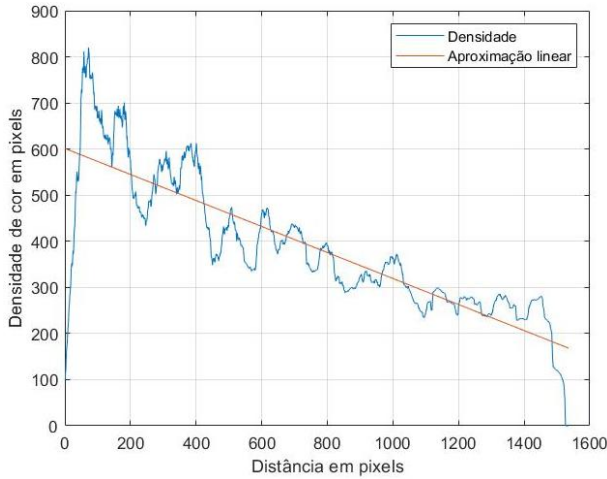


Fonte: Autora (2022).

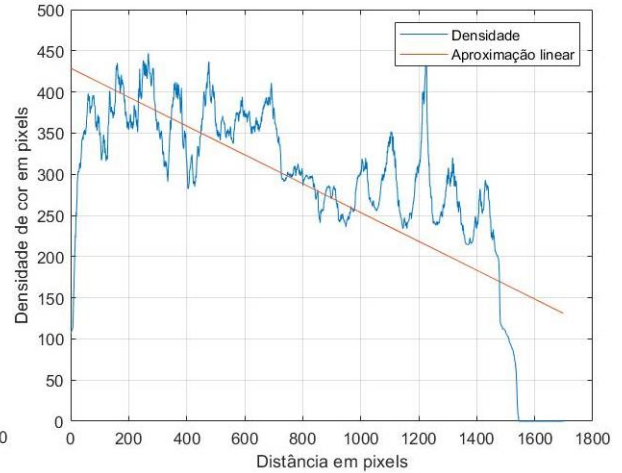
Para a inserção nomeada de percurso *inlay*, a análise realizada foi diferente das demais, devido ao caminho formado pela fibra óptica nas cinco fileiras da malha, ilustrada na Figura 23. A Figura 30 apresenta as curvas para cada fileira.

Figura 30 – Comportamento da curva de densidade de cor para o percurso *inlay*. Fileira 1 (a); fileira 2 (b); fileira 3 (c); fileira 4 (d); fileira 5 (e).

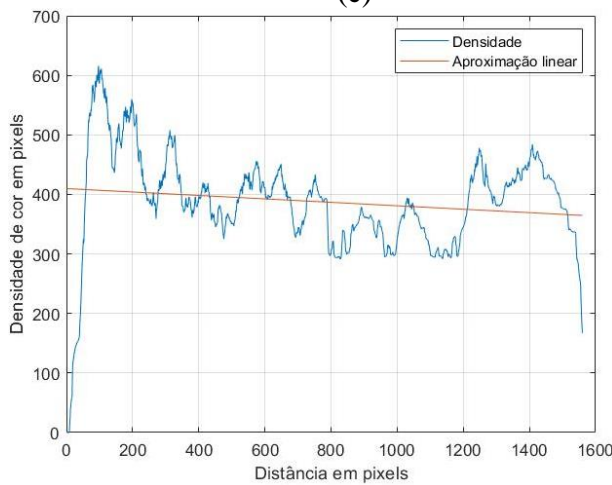




(c)



(d)



(e)

Fonte: Autora (2022).

A perda de luminosidade para cada amostra é dada na Tabela 1 pelo resultado da equação $X_1 - X_2$. Para o método *inlay* 1x1 e *inlay* com flutuação, a posição X_1 é a posição inicial do gráfico correspondente à distância 1 em pixel e a posição X_2 é uma distância padronizada para medir a densidade final, igual a 2000 pixel. Os valores de X_1 e X_2 foram retirados da aproximação linear.

Houve maior dificuldade para a captação de imagens da emissão de luz para as amostras do percurso *inlay*, tornando o processo distinto. A distância da câmera foi ajustada para aumentar o campo de visão. A luz externa do ambiente também afetou de maneira considerável a realização das fotos. Essas complicações para realização da etapa de fotografia foram refletidas nos resultados observados no gráfico, onde os valores obtidos estão bem abaixo dos valores encontrados para os outros dois métodos. Além disso, a forma de leitura no *software* precisou ser adequada ao tipo de inserção, registrando a densidade de cor para cada fileira em

que a POF foi inserida. Portanto, para o método denominado percurso *inlay*, X_1 correspondeu a posição $X=1$ medida para a fileira 1 e X_2 a posição $X=1250$ medida para a fileira 5, a fim de analisar a diferença de densidade por todo o comprimento da fibra óptica. Observa-se, na Figura 30, que a curva de densidade de cor não tem um comportamento contínuo, apresentando valor inicial maior que o valor final da fileira anterior, devido à macroflexão formada em cada intervalo de fileira, resultando em uma intensidade de luz maior no início do curso.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes a cada tipo de inserção realizada pela técnica *inlay*.

Tabela 1– Densidade de cor em pixel para a técnica *inlay*.

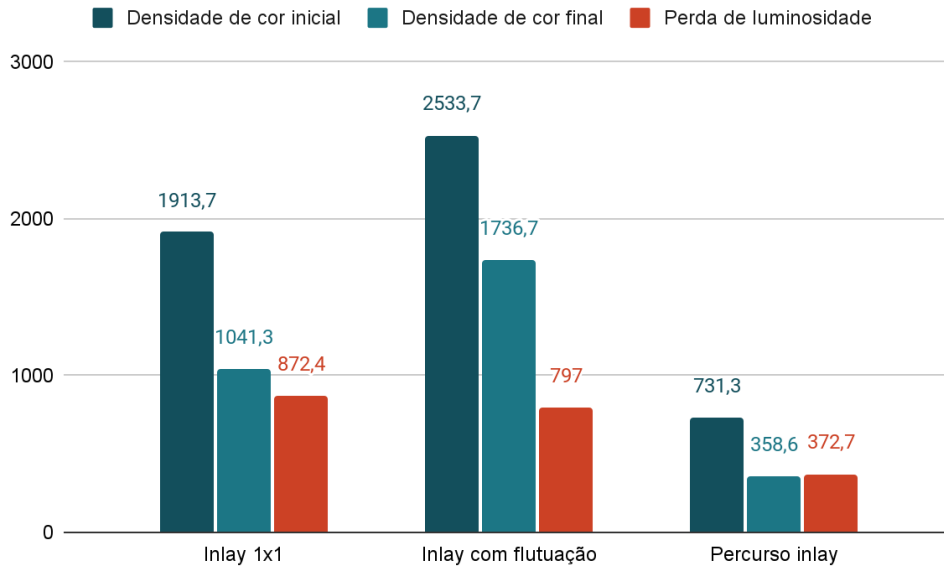
Amostras	<i>Inlay 1 x 1</i>			<i>Inlay com flutuação</i>			<i>Percurso inlay</i>		
	X_1	X_2	X_1-X_2	X_1	X_2	X_1-X_2	X_1	X_2	X_1-X_2
1	2033	814,8	1218,2	2010	1031	979	738,9	455,7	283,2
2	1874	1172	702	2566	1987	579	638,5	248,2	390,3
3	1834	1137	697	3025	2192	833	816,7	372	444,7
Média	1913,7	1041,3	872,4	2533,7	1736,7	797	731,3	358,6	372,7

Fonte: Autora (2022).

A Figura 31 apresenta a comparação da avaliação média de perda de luz entre as inserções pela técnica *inlay*. Esperava-se, devido a quantidade reduzida de curvas formadas, que a perda de luminosidade fosse menor para as amostras de inserção por *inlay* com flutuação. Entretanto, o resultado obtido indicou menor perda para as amostras com o percurso *inlay*. Este resultado não está de acordo com a literatura, visto que à medida que a distância entre a extremidade e a fonte emissora aumenta, menor é a densidade de cor, indicando a perda de luz no comprimento. Isto pode ser decorrente das adaptações realizadas para as condições fotográficas de captação da iluminação no percurso *inlay*. Estas alterações são notadas na intensidade de luz observada durante a captação de imagens, como prova a densidade de pixel processada pelo *software* apresentada na Tabela 1, com valor inicial e final menor quando comparada ao *inlay* com flutuação e ao *inlay 1x1*, nesta ordem. Avaliando a intensidade de luz,

as amostras do método inlay com flutuação apresentaram os valores mais elevados, indicando iluminação mais intensa.

Figura 31 – Comparação dos dados obtidos no *software* para as inserções pela técnica inlay.

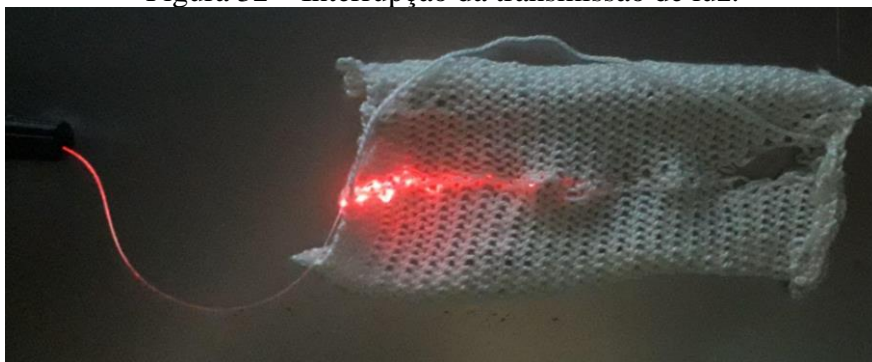


Fonte: Autora (2022).

4.1.2 Inserção por fileira

A inserção da fibra óptica através do procedimento PM1 apresentou falha na transmissibilidade de luz devido ao rompimento da POF durante a execução do ensaio. Na Figura 32 é possível observar o início da transmissão de luz (lado esquerdo) com emissão lateral intensa. Essa intensidade vai decaindo, até ser interrompida devido ao contato intenso entre a fibra, durante a formação da laçada, e elementos do tear. Ao aproximar-se do final da malha (lado direito), a POF é rompida, causando defeito na malha. Este resultado foi observado nas três amostras produzidas.

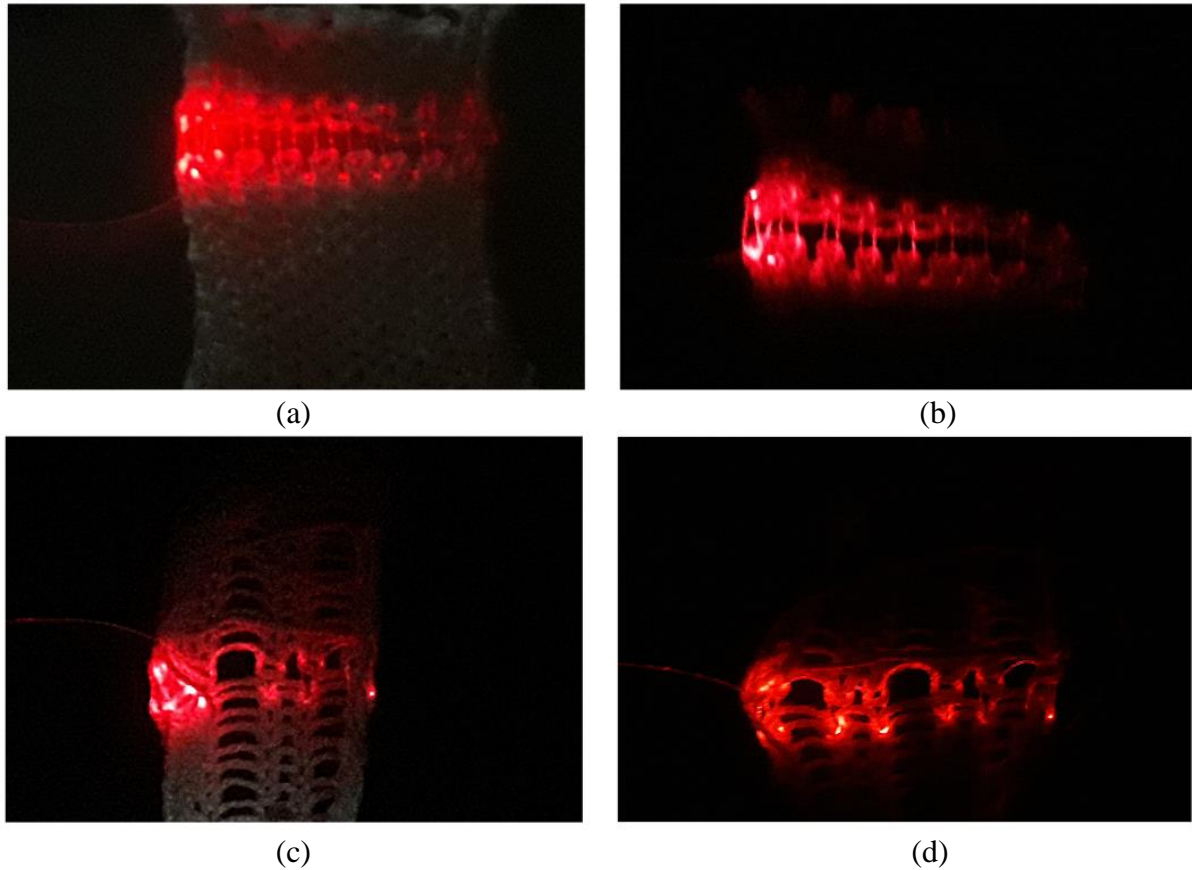
Figura 32 – Interrupção da transmissão de luz.



Fonte: Autora (2022).

Os procedimentos PM2 e PM3 foram selecionados para a análise no *software*, devido a transmissão completa de luz de uma extremidade a outra, como demonstra a Figura 33.

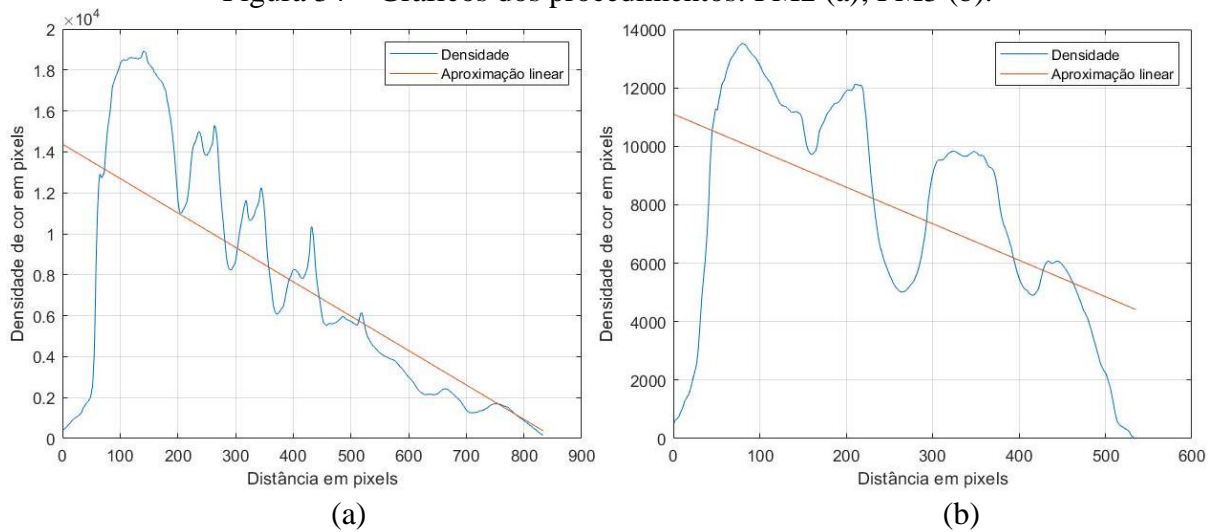
Figura 33 – Transmissão de luz: PM2 com luz externa (a); PM2 na cabine preta (b); PM3 com luz externa (c); PM3 na cabine preta (d).



Fonte: Autora (2022).

A Figura 34 apresenta os gráficos gerados no *software* PPIL de ambos os procedimentos, para demonstrar o comportamento da curva de densidade de cor.

Figura 34 – Gráficos dos procedimentos: PM2 (a); PM3 (b).



Fonte: Autora (2022).

Ao analisar os gráficos da Figura 34, que demonstram o comportamento observado para as três amostras de cada método, confirma-se a perda de luminosidade gradual no decorrer da distância, que é observado ao conectar a fonte emissora na amostra. A curva de densidade de cor é formada por picos e vales, acompanhando a formação das laçadas, podendo notar que no gráfico (a) há mais picos e vales que no gráfico (b), o que é justificável, por haver mais laçadas em PM2. Cada pico representa o aumento de emissão de luz, enquanto os vales representam sua redução. Essa variação na intensidade de luz está relacionada ao ângulo de propagação de luz, que aumenta conforme o diâmetro da curva (formada pela “cabeça” das laçadas) diminui. A distância em pixels entre o gráfico PM2 e PM3 também se difere por conta da largura da malha formada em cada procedimento, que foi de 4 cm e 3,5 cm, respectivamente.

A densidade de cor no ponto X_1 indica a quantidade de luz que está escapando do núcleo no início da inserção. Conforme aumenta a distância do ponto X_1 e aproxima-se do ponto X_2 a intensidade de luz vai decaindo, por conta da perda de luminosidade durante o trajeto. Essa perda de luminosidade é agravada conforme ocorre a formação de laçadas, por conta das macroflexões que as curvas causam. Essa teoria é comprovada com o resultado obtido de perda de intensidade na amostra PM2, que é maior que o resultado obtido para PM3 (onde há sempre o intervalo de uma agulha não solicitada), devido ao maior número de laçadas que causam as macroflexões.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da densidade de cor referente às amostras dos dois procedimentos. Os valores foram obtidos utilizando a aproximação linear gerada no

gráfico, nas posições $X_1 = 1$ e $X_2 = 500$, mantendo como padrão a mesma distância em pixel para análise.

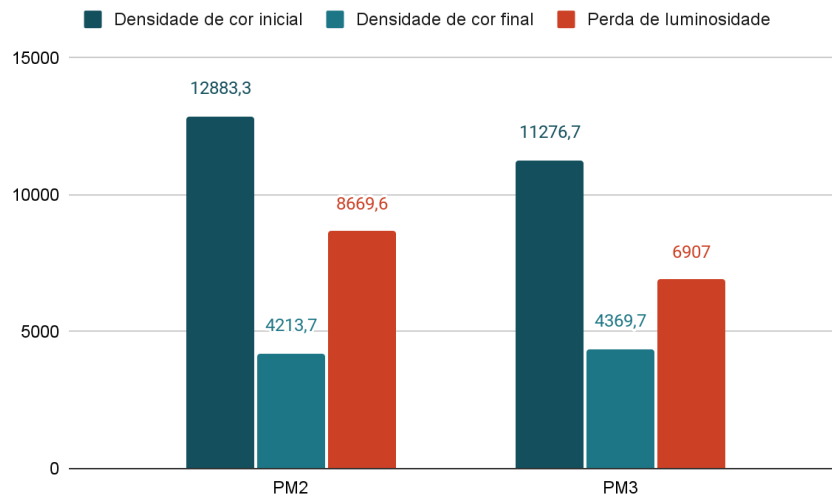
Tabela 2 – Densidade de cor em pixels para a técnica inlay

Amostras	PM2			PM3		
	X_1	X_2	$X_1 - X_2$	X_1	X_2	$X_1 - X_2$
1	11440	2094	9346	11830	3459	8371
2	14360	5977	8383	11090	4854	6236
3	12850	4570	8280	10910	4796	6110
Média	12883,3	4213,7	8669,6	11276,7	4369,7	6907

Fonte: Autora (2022).

A Figura 35 apresenta a comparação da avaliação média de luz entre os dois procedimentos.

Figura 35 – Comparação dos dados obtidos no software para os procedimentos.



Fonte: Autora (2022).

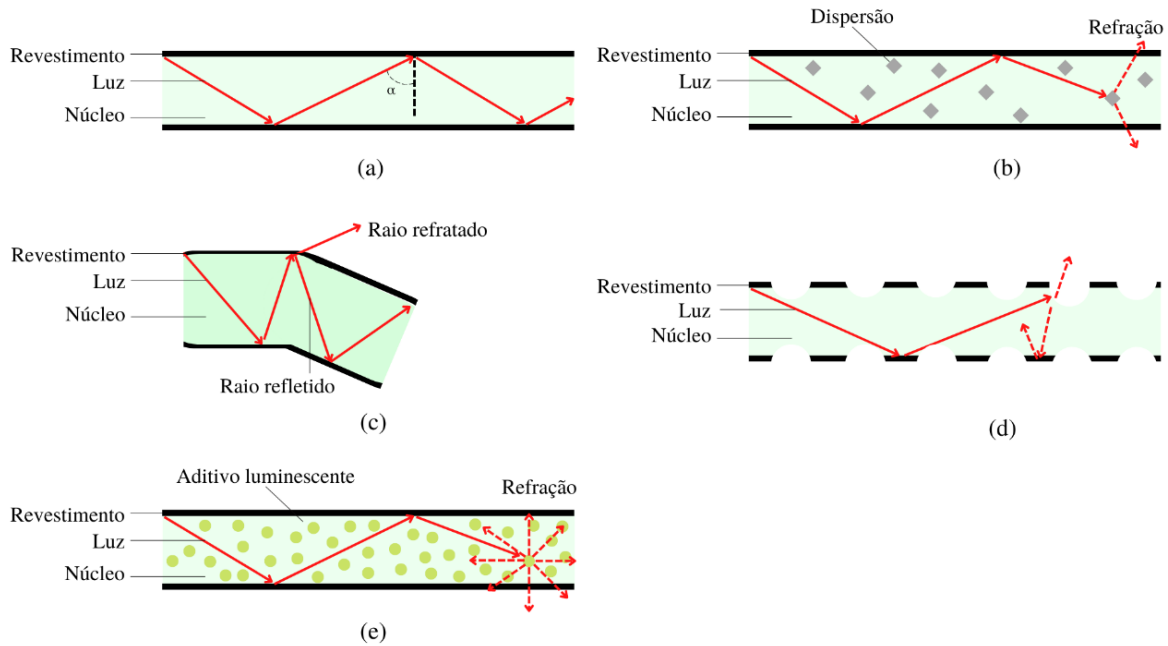
4.1.3 Microscopia

A emissão lateral de luz, responsável pela iluminação da fibra óptica ao longo do seu comprimento, ocorre quando a luz transmitida no núcleo da fibra é deslocada para a superfície, evitando a reflexão total. Em suma, há três maneiras de evitar a reflexão total: aumentar o índice de refração do revestimento, diminuir o índice de refração do núcleo ou alterar o ângulo, mudando a trajetória da luz. O método mais utilizado para emissão lateral é alterando o ângulo, podendo ser abordado de quatro maneiras diferentes (KALLWEIT, 2021).

- Dispersão em massa: integração de centros de dispersão (substâncias ou dopantes) na POF para alterar o caminho do raio de luz;
- Flexão: as curvas forçam o deslocamento da luz para a superfície, através de microcurvas, onde o raio da curva (R) está na mesma faixa ou menor que o raio da POF (r), ou através de macrocurvas, com raio da curva (R) maior que o raio (r);
- Perfurações: irregularidades na interface núcleo-revestimento alteram o ângulo levando a refração;
- Luminescência: materiais luminescentes que alteram o caminho dos raios de luz. Em POFs, uma parte da luz é refletida totalmente no núcleo, outra parte dos raios não cumpre a condição e é refratada.

A Figura 36 apresenta o comportamento dos raios emitidos em cada método de emissão lateral abordados.

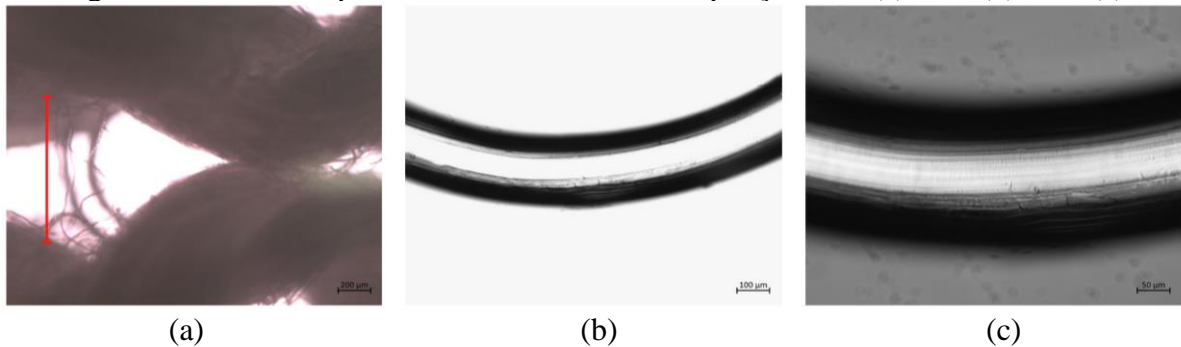
Figura 36 – Reflexão total da luz (a); dispersão (b); flexão (c); perfuração (d); luminescência (e).



Fonte: Autora (2022).

A microscopia foi realizada com o objetivo de caracterizar o tipo de emissão lateral gerada na fibra óptica polimérica. Através da análise, não foi identificado a presença de micro perfurações na POF e nem de irregularidades após a inserção da fibra que justificasse a emissão lateral de luz pela categoria de perfuração. A descrição do produto fornecida pelo fabricante não indicou qualquer aditivo integrado à fibra, item necessário para a emissão lateral por dispersão ou por luminescência. Dessa forma, confirmou-se o efeito de macroflexões apresentado na literatura, sendo esta a razão para a iluminação da POF nas amostras. A Figura 37 apresenta as imagens realizadas no microscópio, com ampliação de 5, 10 e 20 vezes, respectivamente.

Figura 37 – Microscopia da POF em diferentes ampliações: 5x (a); 10x (b); 20x (c).

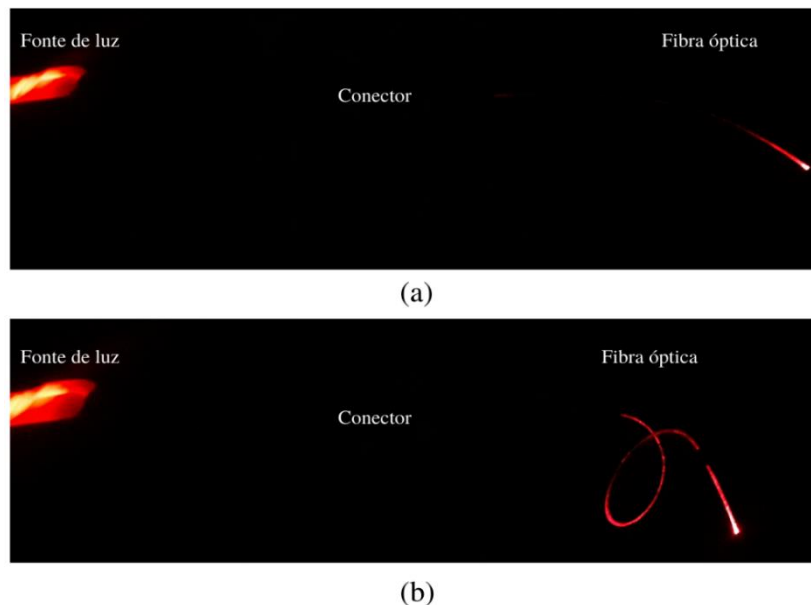


Fonte: Autora (2022).

4.1.4 Análises da iluminação

Segundo Grillet (2008), as macroflexões formadas na fibra óptica quando submetida a curvas ao longo de seu comprimento, são responsáveis pela perda de luminosidade durante a transmissão de sinal de uma extremidade a outra. Este efeito de flexão possibilita a visualização da emissão de luz na POF pelo seu comprimento (GONG,2019). A Figura 38 comprova o efeito de iluminação por conta das macroflexões, possibilitando observar na imagem (a) a fonte emissora conectada a fibra óptica polimérica, em um ambiente sem luz externa, enviando o sinal para a extremidade, sem iluminar o percurso. Já na imagem (b) a fibra óptica é flexionada em seu comprimento, iluminando o local afetado.

Figura 38 – Iluminação na extremidade (a); Iluminação no comprimento quando flexionado (b).



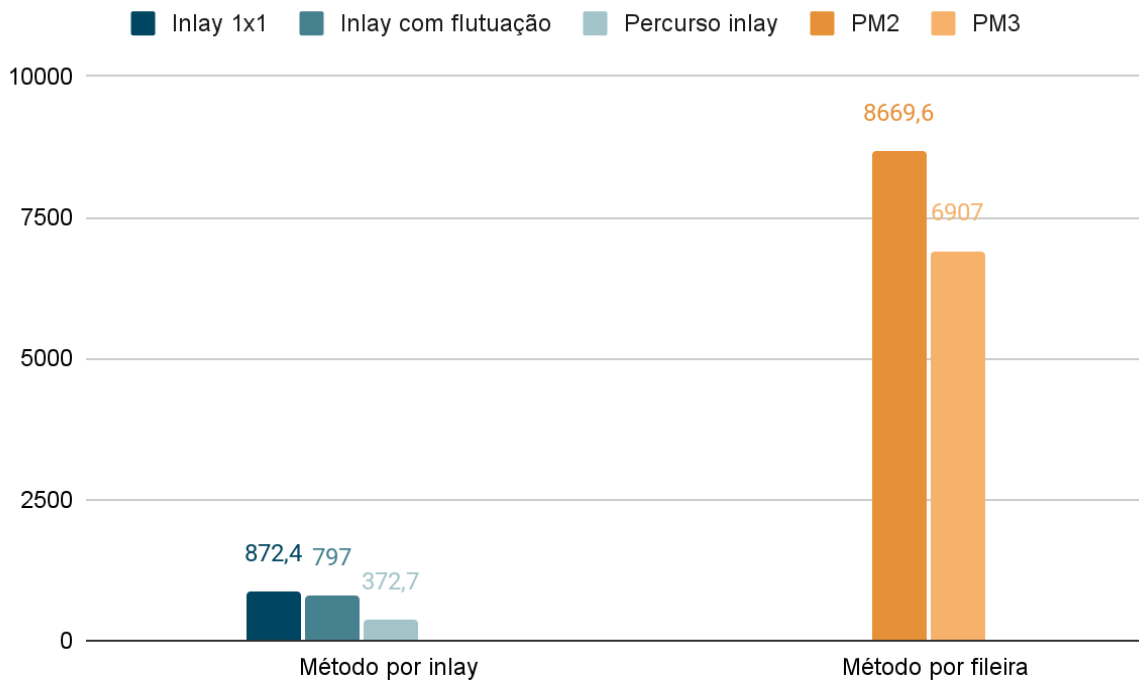
Fonte: Autora (2022).

Durante a etapa de fotografias, notou-se que a fibra óptica introduzida na malha pela técnica de *inlay*, apresentava luz visível apenas na extremidade. Havia a emissão de luz com baixa intensidade, quase imperceptível, impossibilitando o registro da mesma. Buscando alternativas que possibilitassem a captação das imagens para utilizar posteriormente no *software*, foi identificado que com uma quantidade controlada de luz externa, era possível visualizar através da câmera a iluminação ao longo do comprimento da POF.

Já para as amostras em que a fibra óptica foi a própria laçada da estrutura, as macroflexões causadas possibilitaram a iluminação de todo o comprimento, com fácil visualização em ambiente com ou sem luz externa. Essa diferença de intensidade de luz liberada

tornou-se ainda mais notória ao realizar as análises no *software* PPIL, com grande diferença nos valores de densidade de cor e de perda de luz para os dois métodos. A Figura 39 apresenta a comparação da média de avaliação de luz entre para as amostras com inserção por *inlay* e para as amostras com inserção por fileira.

Figura 39 – Perda de luminosidade para os métodos de inserção.



Fonte: Autora (2022).

A transmissão de luz na fibra óptica possibilita a iluminação em vestuários e constata a capacidade de transmissão de dados para monitoramento. Em relação a utilização de POF para iluminação em vestuários, o método por fileira apresenta melhor resultado quanto a intensidade de luz visível, sem que haja a necessidade do processo da fibra com microperfurações. A perda de luminosidade para este método é elevada quando comparada à técnica *inlay*, mas apresentou eficiência em transmitir o sinal até a extremidade da fibra óptica. Já para a aplicação de fibras ópticas com função de monitoramento, prioriza-se a transmissão de sinal com o mínimo de perda durante o caminho, evidenciando o método por *inlay* mais adequado para essa finalidade.

5. CONCLUSÃO

A partir deste trabalho de conclusão de curso, evidenciou-se a importância dos têxteis inteligentes para o desenvolvimento de novos produtos e melhoria do desempenho de materiais existentes. Através da literatura, foi apresentada as propriedades e características desses materiais, suas classificações e diferentes aplicações. Este trabalho concentrou-se nas funções estéticas e de monitoramento através de fibras ópticas.

Com o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se conceitos técnicos de malharia para desenvolvimento de malhas monofratura em um tear manual. Aplicou-se a técnica *inlay* para inserção de fios, adequando aos equipamentos disponíveis para pesquisa.

Foi verificada a perda de luminosidade em fibras ópticas poliméricas, desenvolvendo métodos e utilizando *software* desenvolvido exclusivamente para a análise necessária. Esta análise possibilitou quantificar a perda de luz, informação não encontrada na literatura em estudos com POF. Esses dados são vantajosos para aplicações em monitoramento.

A análise possibilitou também avaliar os métodos desenvolvidos para inserção da fibra óptica, demonstrando a melhor aplicação de produto para cada método, com base nos resultados obtidos de perda de luminosidade. A pesquisa comprovou, ainda, que é possível integrar fibras ópticas poliméricas por meio da tecnologia de malharia, controlando o comprimento de laçada e o raporte da malha.

Com as imagens realizadas no microscópio de transmissão de luz, caracterizou-se a emissão lateral de luz obtida com a fibra óptica utilizada para este trabalho e verificou-se que o atrito entre a POF e os elementos do tear não resultou em irregularidades na superfície da fibra.

Por fim, a pesquisa realizada comprovou a possibilidade de transmissão de dados em fibras ópticas inseridas em malhas, ao obter sucesso na transmissão de luz no percurso criado entre a fonte emissora e a extremidade final, sendo o método *inlay* mais favorável para essa finalidade, de acordo com os resultados obtidos.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Partindo deste trabalho de conclusão de curso, é possível indicar algumas sugestões para pesquisas futuras.

- Realizar teste de abrasão para avaliar a perda de luminosidade com o atrito da fibra e o corpo durante o uso;
- Comparar a perda de luminosidade em fibras ópticas poliméricas inseridas por tecnologia de tecelagem, com as inserções por tecnologia de malharia;
- Estudar a inserção de fibra óptica polimérica em malhas utilizando tear eletrônico.

REFERÊNCIAS

- AFROJ, S.; TAN, S.; ABDELKADER, A. M.; NOVOSELOV, K. S.; KARIM, N. **Highly Conductive, Scalable, and Machine Washable Graphene-Based E-Textiles for Multifunctional Wearable Electronic Applications**. *Advanced Functional Materials*, 2020.
- AGUIAR, C. R. L. **Engenharia Têxtil: uma abordagem simplificada**. Florianópolis: Editora da Ufsc, 2022.
- CHEN, A.; TAN, J.; HENRY, P.; TAO, X. **The design and development of an illuminated polymeric optical fibre (POF) knitted garment**. *Journal of the Textile Institute*, 2019.
- EICHHORN, S. J.; HEARLE, J. W. S.; JAFFE, M.; KIKUTANI, T. **Handbook of textile fibre structure: natural, regenerated, inorganic and specialist fibres**. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2009.
- EL-SHERIF, M. **Smart fabrics: integrating fiber optic sensors and information networks**. *Wearable EHealth Systems for Personalised Health Management*, 2004.
- FERREIRA, A. J. S.; FERREIRA, F. B. N.; OLIVEIRA, F. R. **Têxteis Inteligentes – Uma breve revisão da literatura**. *REDIGE*, v. 5, n. 01, 2014.
- GONG, Z.; XIANG, Z.; OUYANG, X.; ZHANG, J.; LAU, N.; ZHOU, J.; CHAN, C. C. **Wearable fiber optic technology based on smart textile: A review**. *Materials*, 2019.
- GRILLET, A.; KINET, D.; WITT, J.; SCHUKAR, M.; KREBBER, K.; PIROTTE, F.; DEPRÉ, A. **Optical Fiber Sensors Embedded Into Medical Textiles for Healthcare Monitoring**. *IEEE Sensors Journal*, 2008.
- GUIGNIER, C.; CAMILLIERI, B.; SCHMID, M.; BUENO, M.; ROSSI, R. **E-Knitted textile with polymer optical fibers for friction and pressure monitoring in socks**. *Sensors (Switzerland)*, 2019.
- KALLWEIT, J.; PÄTZEL, M.; PURSCHE, F.; JABBAN J.; MOROBEID, M.; GRIES, T. **An Overview on Methods for Producing Side-Emitting Polymer Optical Fibers**. *Textile*, 2021.
- KOYAMA, Y.; NISHIYAMA, M.; WATANABE, K. **Smart Textile Using Hetero-Core Optical Fiber for Heartbeat and Respiration Monitoring**. *IEEE Sensors Journal*, 2018.
- KONCAR, V. **Smart Textiles and Their Applications**. Elsevier Ltd., 2016.
- KREBBER, K.; LIEHR, S.; WITT, J. **Smart technical textiles based on fibre optic sensors**. *OFS2012 22nd International Conference on Optical Fiber Sensors*, 2012.
- LO PRESTI, D.; MASSARONE, C.; FORMICA, D.; GIURAZZA, F.; SCHENA, E. SACCOMANDI, P.; CAPONERO, M.; MUTO, M. **Respiratory and cardiac rates**

monitoring during MR examination by a sensorized smart textile. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings, 2017.

MAESTRI, G. **Efeito piezoelétrico em têxteis inteligentes utilizando malhas por trama.** Blumenau: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.

MATHER, R. R.; WARDMAN, R. H. **The chemistry of textile fibres.** Royal Society of Chemistry, 2011.

MIN, X.; HU, X.; PEREIRA, L.; SOARES, M. S.; SILVA, S. C. B.; WANG, G.; MARTINS, L.; QU, H.; ANTUNES, P.; MARQUES, C.; LI, X. **Polymer optical fiber for monitoring human physiological and body function: A comprehensive review on mechanisms, materials, and applications.** Optics and Laser Technology, 2021.

NTC (Brasil). **Manta Geotêxtil.** Disponível em: <https://www.ntcbrasil.com.br/manta-geotextil/>. Acesso em: 04 ago. 2022.

PEREIRA, G. S. **Materiais e processos têxteis.** Araranguá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009.

PFEIFFER, A. S.; MECNIKAB, V.; BECKERSB, M.; GRIESB, T.; JOCKENHOEVEL, S. **Optical Fibers.** Handbook of Smart Textiles, 2014.

SELM, B.; GÜREL, E. A.; ROTHMAIER, M.; ROSSI, R.; SCHERER, L. J. **Polymeric optical fiber fabrics for illumination and sensorial applications in textiles.** Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2010.

SOUZA, V. A. **Comunicação por fibra óptica.** Clube de Autores, 2015.

SPENCER, D. J. **Knitting Technology: A comprehensive handbook and practical guide.** Woodhead Publishing Limited and Technomic Publishing Company Inc, 2001.

VISWANATHAN, S. M. **E-textile and its applications.** International Journal of Engineering Science and Computing, 2019.