

UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS LIMPAS

NATANI APARECIDA DO BEM

**INOVAÇÃO NA MODA POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D:
ASPECTO TÉCNICO-FUNCIONAL DE UM NÃO TECIDO
SOB A PERSPECTIVA AMBIENTAL**

MARINGÁ
2021

NATANI APARECIDA DO BEM

**INOVAÇÃO NA MODA POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D:
ASPECTO TÉCNICO-FUNCIONAL DE UM NÃO TECIDO
SOB A PERSPECTIVA AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnológicas Limpas da Universidade Cesumar, UniCesumar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas.

Orientador(a): Dra. Luciana Cristina Soto Herek
Rezende

Coorientador(a): Dra. Edneia Aparecida De Souza
Paccola

MARINGÁ
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D631i Do Bem, Natani Aparecida.

Inovação na moda por meio da impressão 3D: aspecto técnico-funcional de um não tecido sob a perspectiva ambiental / Natani Aparecida Do Bem. – Maringá-PR: UNICESUMAR, 2021.

97 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Cristina Soto Herek Rezende.

Coorientadora: Profa. Dra. Edneia Aparecida de Souza Paccola.

Dissertação (mestrado) – Universidade Cesumar - UNICESUMAR, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, Maringá, 2021.

1. Caimento. 2. Filamento sustentável. 3. Manufatura aditiva. I. Título.

CDD – 677.02864

Roseni Soares – Bibliotecária – CRB 9/1796
Biblioteca Central UniCesumar

Ficha catalográfica elaborada de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM TECNOLOGIAS LIMPAS

Curso recomendado pela CAPES, reconhecido pela Portaria MEC nº 609, de 14/03/2019 - D.O.U. 18/03/2019.

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos dezoito dias do mês de fevereiro do ano de 2021, às nove horas na Universidade Cesumar-UNICESUMAR realizou-se a prova de Defesa de Dissertação, sob título: INOVAÇÃO NA MODA POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D: ASPECTO TÉCNICO-FUNCIONAL DE UM NÃO TECIDO SOB A PERSPECTIVA AMBIENTAL, de autoria do (a) Candidato (a) **NATANI APARECIDA DO BEM**, aluno (a) do Programa/Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, em nível de Mestrado. A Comissão Examinadora esteve constituída pelos professores doutores: LUCIANA CRISTINA SOTO HEREK REZENDE- Professor (a) Orientador (a), Presidente, LUIZ FELIPE MACHADO VELHO- Primeiro Membro Da Banca e MARIZILDA DOS SANTOS MENEZES - Segundo Membro Da Banca. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a Comissão Examinadora considerou o(a) candidato(a):

() Aprovado(a) sem alterações (X) Aprovado(a) com alterações () Reprovado(a)

E, para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão.

Orientadora-Presidente:

Prof^a. Dr^a. Luciana Cristina Soto Herek Rezende

1º Examinador:

Prof. Dr Luiz Felipe Machado Velho

2º Examinador:

Prof^a. Dr^a. Marizilda Dos Santos Menezes
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)

Mestrando (a):

"Sou contra uma moda que não dure. É o meu lado masculino. Não consigo imaginar que se jogue uma roupa fora, só porque é primavera."

Coco Chanel

Ao meu pai e à minha mãe que sempre me apoiaram e contribuíram de forma significativa para a conclusão da dissertação.

Ao meu esposo pelo companheirismo, incentivo e paciência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

À Universidade Cesumar - UniCesumar, por ter-me possibilitado desenvolver este trabalho e pela concessão da bolsa institucional.

Aos meus pais, pelo fornecimento de sua residência para a execução deste trabalho.

Ao meu amigo de infância Marcos, que me ajudou ao longo dessa caminhada com seu conhecimento aplicado a pesquisa.

Ao meu companheiro João, que sempre me apoiou e nunca me deixou desistir.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da UniCesumar, em especial a prof^a. Dr^a. Luciana Cristina Soto Herek Rezende pela paciência e ensinamentos.

Aos funcionários do laboratório Maicon e Laura, pelo auxílio na realização das impressões e análises das amostras.

A prof^a. Dr^a. Flávia Reitz pelo auxílio nas análises estatísticas, que foram de extrema relevância para o trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	O PANORAMA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E O MEIO AMBIENTE.....	20
3.2	INDÚSTRIA 4.0 – INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA MODA.....	22
3.3	IMPRESSÃO 3D.....	25
3.3.1	Impressão 3D na Moda	27
3.3.2	Filamentos para impressão 3D	32
3.3.3	Ácido polilático (PLA)	34
3.3.4	Degradação do PLA	35
3.4	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS TECIDOS	36
3.4.1	Fibras Têxteis	36
3.5	CONSTRUÇÃO DO NÃO TECIDO IMPRESSO EM 3D.....	36
3.5.1	Caimento e Drapeabilidade do Tecido	45
4	METODOLOGIA	47
4.1	IMPRESSÃO DAS AMOSTRAS EM 3D.....	49
4.2	TESTE DE DEGRADABILIDADE	51
4.2.1	Coleta e preparo das amostras	51
4.2.2	Preparo do solo	52
4.2.3	Ensaio de degradabilidade	53
4.2.3.1	Controle do solo	53
4.2.3.2	Verificação das amostras	54
4.3	TESTE DE DRAPEABILIDADE.....	54

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	IMPRESSÃO DAS AMOSTRAS (FDM).....	58
5.2	TESTE DE DEGRADABILIDADE.....	60
5.3	ANÁLISE VISUAL DA DEGRADABILIDADE DOS TECIDOS.....	67
5.3.1	Tecidos Convencionais	67
5.3.2	Análise Visual dos Não Tecidos Impressos em 3D	74
5.4	TESTE DE DRAPEABILIDADE.....	78
	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo para as revoluções industriais.....	23
Figura 2 - Tecidos nos padrões desenvolvidos por Jiri Evenhuis e Janne Kyttanen.....	28
Figura 3 - Peças de alta costura desenvolvida por Iris Van Harpen.....	30
Figura 4 – Classificação das fibras têxteis	37
Figura 5 - Malha impressa em 3D	40
Figura 6 – Diferentes geometrias para impressão 3D de não tecido (a) quadrado; (b) triangular 1; (c) laçadas 4 alças; (d) laçadas 3 alças; (e) molas; (f) triangular 2; (g) tecido triângulo; (h)caracol	41
Figura 7 – Detalhes da jaqueta bomber, construída pela Danit Peleg.....	43
Figura 8 - Diferentes configurações do módulo utilizado na impressão da jaqueta bomber (quadrada, hexagonal, triangular).....	43
Figura 9 - Variações da altura do módulo (do menor para o maior)	44
Figura 10 - Repetição do padrão e resultado impresso.....	44
Figura 11 - Metodologia aplicada ao estudo	47
Figura 12 - Geometrias utilizadas na impressão das amostras – (A) Triangle Textile, (B) Customizable Chain Mail, (C) Flexible lace	50
Figura 13 – Fluxograma de desenvolvimento do teste de drapeabilidade.....	56
Figura 14 - Ilustração da graduação da altura das dobras do tecido – (A) Configuração da aba graduadora, (B) Projeção do laser na linha da aba graduadora	57
Figura 15 - Amostras impressas em PLA rígido - (A) Geometria 1; (B) Geometria 2; (C) Geometria 3	59
Figura 16 - Amostras impressas em PLA flexível - (A)Geometria 1; (B) Geometria 2; (C)Geometria 3	59
Figura 17 - Degradação do tecido plano 100% poliéster (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias;	68
Figura 18 - Degradação do tecido plano 100% algodão - (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	69
Figura 19 - Degradação do tecido plano 50%algodão 50%poliéster - (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias.....	70
Figura 20 - Degradação da malha 100% poliéster (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	71

Figura 21 - Degradação da malha 100% algodão (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	72
Figura 22 - Degradação da malha 50% algodão 50% poliéster - (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	73
Figura 23 - Degradação do não tecido impresso em PLA rígido GEO 1 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	74
Figura 24 - Degradação do não tecido impresso em PLA rígido GEO 2 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	75
Figura 25 - Degradação do não tecido impresso em PLA rígido GEO 3 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	75
Figura 26 - Degradação do não tecido impresso em PLA flexível GEO 1 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	76
Figura 27 - Degradação do não tecido impresso em PLA flexível GEO 2 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	77
Figura 28 - Degradação do não tecido impresso em PLA flexível GEO 3 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias	77
Figura 29 - Graduação do caimento grupo 1 (malha e tecido plano) – (A) Malha confort (100% algodão), (B) Helanca (100% poliéster), (C) Oxfordine (100% poliéster).....	80
Figura 30 - Graduação do caimento grupo 2 (tecido plano e malha) – (A) Tricoline (100% algodão); (B) Tricoline mista (50% algodão 50% poliéster); (C) Moletom peluciado (50% algodão 50% poliéster)	81
Figura 31 - Graduação do caimento grupo 3 (não tecido impresso em 3D) – (A) Geometria 2 – PLA Flexível; (B) Geometria 2 – PLA rígido; (C) Geometria 1 – PLA rígido.....	82
Figura 32 - Graduação do caimento grupo 4 (não tecido impresso em 3D) – (A) Geometria 1 – PLA flexível; (B) Geometria 3 – PLA flexível; (C) Geometria 3 – PLA rígido.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perda de massa e área por degradação em solo dos tecidos 100% algodão.	60
Tabela 2 - Perda de massa e área por degradação em solo dos tecidos 100% poliéster.	62
Tabela 3 - Perda de massa e área por degradação em solo dos tecidos 50% algodão 50% poliéster.	63
Tabela 4 - Perda de massa e área por degradação em solo dos não tecidos (Geometria 1).	64
Tabela 5 - Perda de massa e área por degradação em solo dos não tecidos (Geometria 2).	65
Tabela 6 - Perda de massa e área por degradação em solo dos não tecidos (Geometria 3).	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos das técnicas utilizadas na manufatura aditiva	26
Quadro 2 - Peças do vestuário impressas em 3D	29
Quadro 3 - Classificação de produtos impressos em 3D na moda e seus respectivos usos	31
Quadro 4 - Definições dos filamentos poliméricos mais utilizados na impressão 3D.....	33
Quadro 5 - Definição das estruturas têxteis	38
Quadro 6 – Parâmetros utilizados para a impressão das amostras em 3D	49
Quadro 7 – Classificação das amostras utilizadas no teste de degradabilidade	52
Quadro 8 - Classificação das amostras utilizadas no teste de drapeabilidade.....	55
Quadro 9 - Valores em centímetros das graduações de largura e altura.	79
Quadro 10 - Valores em centímetros das graduações de largura e altura	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
ISO	Organização Internacional de Regulamentação
MA	Manufatura Aditiva
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PLA	Ácido Polilático
SLA	Stereolithography
STL	Surface Tessellation Language
SLS	Selective Laser Sintering
TPU	Poliuretano termoplástico

RESUMO

A indústria têxtil tem buscado alternativas que influenciam na produção de matéria-prima com vistas a redução do impacto ambiental, contribuindo para a construção de um consumo sustentável. Dentro deste cenário, surge o alinhamento com a indústria 4.0, trazendo a inovação aliada a impressão 3D, com o uso de filamentos sustentáveis. Buscando integrar a sustentabilidade à indústria têxtil, este trabalho teve por objetivo investigar a drapeabilidade e a degradabilidade de um não tecido impresso em 3D. Para tal, foram desenvolvidas amostras pela técnica de modelagem por deposição fundida (*Fused Deposition Modeling* - FDM), do não tecido com polímero derivado do ácido polilático, apresentados nas versões flexível e rígido em diferentes geometrias, a fim de analisar a drapeabilidade, comparando-os às fibras têxteis naturais e sintéticas, com base nos parâmetros metodológicos apresentados por Harbs et al. (2018), e pela normativa ABNT; NBR 14238:1999. Os resultados apontaram que a geometria influencia diretamente no caimento do não tecido. O mesmo ocorre com relação a degradabilidade, onde foi possível observar que a amostra 2 do não tecido impresso em PLA flexível apresentou maior perda de massa e de área, 13,4% e 46,5%, respectivamente. Já para o ensaio de degradação foi observado que os tecidos naturais apresentaram maior perda de massa, podendo chegar até a 60% da massa inicial. Diante disso, percebe-se que, a geometria do não tecido pode contribuir para melhor caimento e aplicabilidade dessa tecnologia em peças comerciais. Além disso, a presença de componentes naturais na composição dos tecidos e dos não tecidos, é um fator que contribui de forma significativa para o processo de degradação em um curto período de tempo.

Palavras-chave: Caimento; Filamento sustentável; Manufatura aditiva.

ABSTRACT

Textile industry has been looking for alternatives that influence the production of raw materials with a view to reducing the environmental impact, contributing to the construction of sustainable consumption. Within this scenario, alignment with industry 4.0 emerges, bringing innovation combined with 3D printing, with the use of sustainable filaments. Seeking to integrate sustainability into the textile industry, this work aimed to investigate the draping and degradability of a 3D printed non-woven fabric. For this purpose, they were developed by the fused deposition modeling technique (Fused Deposition Modeling - FDM), of the non-woven with polymer derived from polylactic acid, to implement in flexible and rigid versions in different geometries, in order to analyze the drapeability, comparing them to natural and synthetic textile fibers, based on general methodological parameters by Harbs et al. (2018), and the ABNT regulation; NBR 14238: 1999. The results showed that a geometry directly influences the nonwoven trim. The same occurs in relation to degradability, where it was possible to observe that sample 2 of the non-woven printed on flexible PLA Presentation with greater loss of mass and area, 13.4% and 46.5%, respectively. As for the degradation test, it was observed that the natural tissues with the greatest loss of mass, reaching up to 60% of the initial mass. Therefore, it is clear that the geometry of the nonwoven can contribute to a better fit and applicability of this technology in commercial pieces. In addition, the presence of natural components in the composition of fabrics and nonwovens is a factor that significantly contributes to the process of degradation in a short period of time.

Keywords: Fit; sustainable filament; Additive manufacturing.

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, a busca pela sustentabilidade tem ganhado destaque mundialmente, visando todos os setores, inclusive o têxtil, conforme afirma Gonçalves et al. (2020).

No setor têxtil os processos produtivos merecem atenção, pois atividades que englobam plantio e fabricação das matérias-primas até a poluição causada pela grande quantidade de produtos do vestuário que, muitas vezes, são incinerados ou descartados de forma indevida, causando impactos significativos no planeta (PAL; GANDER, 2018).

Desta forma, surge um movimento que promove os valores que visam a sustentabilidade na moda, com diferentes objetivos a serem seguidos, representando uma descontinuidade do modelo de produção atual pela ruptura dos valores e objetivos da moda baseada no consumo (WOODSIDE, 2019).

Niinimäki (2015) argumenta que o desenvolvimento sustentável na moda se torna possível na vertente do valor ambiental dos produtos, que engloba os materiais utilizados na fabricação, com o objetivo de criar ações e materiais que contribuam para esse processo, envolvendo discussões que permeiam toda a cadeia têxtil, principalmente a fabricação de tecidos.

As iniciativas que influenciam a produção de matérias-primas que visam a sustentabilidade na indústria têxtil, tem contribuído para o desenvolvimento tecnológico, como forma de proporcionar novas perspectivas à indústria da moda, por meio de técnicas produtivas mais eficientes (ARMSTRONG, 2015).

A adoção gradual de tecnologias emergentes no sistema de produção, segundo Falani; De Aguiar; Dal Forno (2020), tem tornado a indústria 4.0 uma realidade nas indústrias. Com a inserção de novos meios de fabricação, como a impressão 3D, cada vez mais presente na fabricação de têxteis do vestuário, conforme afirma Pereira e Romero (2017).

Nesse sentido, para Perry (2018) a impressão de têxteis em 3D tem sido uma alternativa sustentável, quando comparada ao modo de fabricação convencional da indústria da moda que engloba diferentes setores, desde o cultivo das fibras até o produto final.

O vestuário impresso em 3D por meio da técnica de manufatura aditiva (MA) em modelagem por deposição fundida (FDM) já é realidade, segundo Kuhn e Minuzzi (2015) presente no mercado da moda, como o trabalho da designer Danit Peleg, que desenvolveu uma coleção completa com cinco modelos de peças que variam de roupas e até mesmo sapatos, impressos em FDM, com filamento de poliuretano termoplástico (TPU).

Nos últimos anos, devido a atenção dada a redução da poluição ambiental, o uso de plásticos biodegradáveis e renováveis ganharam destaque por apresentarem um tempo de vida útil reduzido quando comparado aos plásticos comuns. Dentre eles, o poliácido lático (PLA), é o primeiro plástico que atende a perspectiva sustentável, além de poder ser usado como filamento na impressão 3D (MURARIU E DUBOIS, 2016).

No contexto tecnológico, a impressão 3D no vestuário fornece novas perspectivas em relação ao design e exclusividade dos produtos, além de ser uma alternativa sustentável. Esse tipo especial de vestuário tem levantado questões acerca do atendimento das necessidades de consumo, em conformidade a atributos funcionais do vestuário convencional, tais como, conforto e flexibilidade (VANDERPLOEG; LEE; MAMP, 2017).

Embora ainda não seja um substituto dos tecidos convencionais, é importante que o desenvolvimento de um material têxtil impresso em 3D possa apresentar semelhança a uma matéria-prima convencional, como caimento e flexibilidade (PERRY, 2018).

Portanto, para o desenvolvimento de uma peça de roupa flexível é necessário o desenvolvimento de uma geometria que proporciona uma boa elasticidade e fluidez ao material impresso. Por meio de estudos realizados com base em estruturas por Gürcüm et al. (2018), quando utilizados filamentos mais rígidos como o PLA.

Alinhada à perspectiva dos avanços do crescimento tecnológico e sustentável na moda, tais ações, devem estar direcionadas à adoção dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), pautados em suas três dimensões, econômica, social e ambiental, visando o estímulo de ações nas principais áreas de importância para a sobrevivência da humanidade e do planeta (NAÇÕES UNIDAS, 2019).

Os padrões da sustentabilidade aliado aos ODS surgem como uma alternativa para a regularização e busca por práticas mais conscientes, principalmente no setor de matérias-primas, embora não seja totalmente sustentável (SALCEDO, 2014).

Assim, a presente pesquisa se faz importante no sentido de contribuir com a redução dos resíduos gerados durante o processo de fabricação de têxteis, promovendo um não tecido impresso com matéria prima degradável, como alternativa sustentável para produção do vestuário.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a degradabilidade e a drapeabilidade de um não tecido impresso em 3D.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir e prototipar o não tecido degradável usando a técnica por *Fused Deposition Modeling* (FDM);
- Caracterizar o têxtil produzido com relação aos aspectos técnicos e funcionais;
- Analisar e comparar o impacto ambiental do não tecido impresso em 3D aos têxteis convencionais;
- Verificar a viabilidade das análises realizadas por meio de estudos comparativos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O PANORAMA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E O MEIO AMBIENTE

A cadeia de abastecimento da moda é gerida por suprimentos especializada em artigos têxteis e do vestuário, caracterizada pela mão de obra intensiva de grande abrangência e elevado grau de poluição ambiental, comparado às cadeias de abastecimento de outros setores (BENTAHAR; BENZIDIA, 2018).

A indústria têxtil segundo Diddi et al. (2019), enquanto um dos setores mais tradicionais e complexos do mundo, apresenta grandes impactos ambientais durante toda a fase da produção e no consumo dos produtos. Isso ocorre pois, do ponto de vista ambiental além da poluição dos processos de fabricação, uma grande quantidade de recursos naturais é consumida de forma excessiva.

Fletcher (2016) ainda aponta que esses são aspectos que contribuem para que a indústria da moda, seja considerada um dos setores da economia mundial que mais demanda ações sustentáveis, além de ser o segundo ramo industrial de maior impacto no meio ambiente.

Grande parte deste feito, dá-se a medida na qual a moda se tornou passageira, a rotatividade no varejo aumentou e impulsionou a minimização da vida útil das roupas, que foi diminuindo gradativamente devido às tendências de comportamento e consumo (WOODSIDE, 2019).

Com tecidos baratos, exploração de trabalhadores com salários baixos, e consumidores vítimas das tendências dispostos em uma cadeia global, o modelo produtivo atual tem apresentado grandes preocupações, especialmente quando se trata da característica da fabricação de produtos do vestuário, sendo denominado de *fast fashion* (TODESCHINI et al., 2017).

Segundo Fletcher (2016), o nascimento do *fast fashion* abrange muitos negócios em todo o mundo, atendendo a demanda do mercado por novidades atrelado à um padrão de produção e consumo de forma onipresente, padronizada, projetada para ser barata e fácil para produzir, com materiais e mão de obra de baixo custo e com curto tempo de duração.

Nesse sentido, o consumo de *fast fashion* para Todeschini et al. (2017), apresenta desvantagens em relação a sustentabilidade ambiental e social. Isso ocorre devido a sua relação com as tendências e o consumo de forma momentânea de produtos projetados para satisfazer o desejo imediato do consumidor, contribuindo para o julgamento de estar ou não na moda.

Nos últimos anos, as ideias associadas a moda estabeleciam um panorama entre o rápido e o lento, ambos, destinados a definição do modo produtivo de diferentes empresas, que buscavam atender ao crescimento econômico focado na ética e nos aspectos ecológicos (NISHIMURA; SCHULTE; GONTIJO, 2019).

Segundo Woodside (2019), no final da década de 1990, o design sustentável começou a ser difundido no mundo devido à preocupação das empresas em minimizar os impactos ambientais em quase todos os segmentos, repensando na geração e na redução de resíduos, contribuindo para o consumo consciente e sustentável.

Nesse contexto, os modelos de negócios sustentáveis têm estreitado ações que desaceleram a produção, visando o fechamento do ciclo produtivo durante a fabricação do produto por meio do seu design, e de outras ações que contribuam para a redução do impacto ambiental do sistema da moda (PAL; GANDER, 2018).

Porém, o sistema da moda segundo Fletcher (2016), não deve desacelerar tão rapidamente, mas sim, moldar sua cadeia para atuar de forma sustentável, desde o planejamento do projeto até o fornecimento do produto ao consumidor. Englobando toda a cadeia produtiva, dado a implantação do sistema *slow fashion* por algumas empresas.

O termo *slow fashion* originou-se a partir do movimento alimentar *slow food* - forma sustentável para a produção e consumo de alimentos -, surgindo contra a padronização, englobando aspectos acerca do prazer de criar, inventar, inovar e consumir (NISHIMURA; SCHULTE; GONTIJO, 2019).

Para Coutinho e Kauling (2020), o sistema *slow fashion* é pautado em processos nocivos ao ambiente, que defende o uso e a fabricação de produtos duradouros a fim de serem consumidos de forma lenta, promovendo a estabilidade a longo prazo e o equilíbrio entre os sistemas econômico, social e ecológico, por meio de uma mudança profunda e duradoura na moda.

O *slow fashion* vai além do oposto ao *fast fashion*, com soluções sustentáveis com base nas estratégias de design, na produção, consumo, uso e reutilização, dentre outros aspectos, que fazem parte do sistema global da moda, e que apresentam um grande desafio em potencial para o desenvolvimento do movimento (NIINIMÄKI, 2015).

Segundo Todeschini et al. (2017), para efetivação do movimento *slow fashion*, são necessárias mudanças de hábito dos consumidores, viabilizando a priorização das experiências embutidas nos produtos, a valorização do trabalho e da matéria-prima, e principalmente a sensibilização em relação aos impactos que a moda rápida tem causado no ambiente.

Outra vertente que pode ser abordada a fim de efetivar práticas sustentáveis e integrar-se ao sistema *slow fashion*, são as inovações tecnológicas por meio da indústria 4.0, estas que segundo Dilberoglu et al. (2017), contribuem para a construção de produtos do vestuário com um viés sustentável, onde, tecnologia e moda caminham juntas seja no uso de novos materiais ou até mesmo na melhora dos existentes.

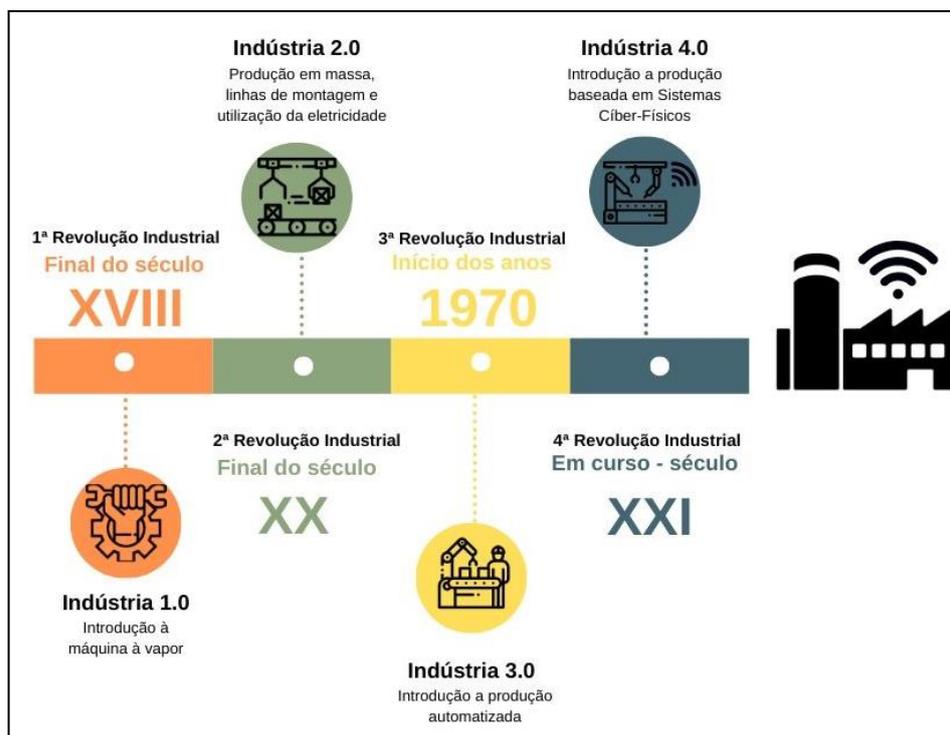
3.2 INDÚSTRIA 4.0 – INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA MODA

A indústria 4.0 surgiu como uma iniciativa que associa os representantes de negócios, políticos e a academia, visando fortalecer a competitividade da indústria internacional por meio de estratégias tecnológicas que tem por objetivo a informatização dos processos produtivos (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015).

Com a presença da tecnologia digital no processo de manufatura, segundo Zhong; Klotz; Newman (2017), ocorreram mudanças decisivas no setor industrial que contribuíram para a evolução dos conceitos que definem a indústria 4.0 como sendo a quarta revolução industrial. Essa indústria, cujo foco é a produtividade, pode ser comparada às três revoluções industriais que ocorreram nos últimos séculos, que representaram um forte impacto nos processos resultando no aumento da produtividade e eficiência destes por meio de avanços tecnológicos, como o motor a vapor, a eletricidade e a tecnologia digital (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A primeira revolução aprimorou sua eficiência por meio do uso da energia a vapor, a segunda teve foco no aumento da produtividade por meio da energia elétrica, e a terceira ficou marcada pela automação, produção eletrônica e a tecnologia da informação. Já na quarta às mudanças tecnológicas que permeiam a fabricação digital, a comunicação em rede e as tecnologias de computação, segundo Erol et al. (2016) (FIGURA 1).

Figura 1 - Linha do tempo para as revoluções industriais



Fonte: Adaptado de Sakurai e Zuchi (2018).

Nesse sentido, o desenvolvimento tecnológico, a automação e a ligação do local de fabricação em uma cadeia de suprimentos abrangente, dá espaço às fábricas inteligentes, na qual as mudanças mais profundas ocorrem em setores categorizados em seis áreas diferentes, como indústria, produtos e serviços, modelos de negócios e mercado, economia, ambiente de trabalho e desenvolvimento de habilidades (PEREIRA E ROMERO, 2017).

A quarta revolução industrial para Weyer et al. (2015), é um sistema complexo que vem sendo pesquisado devido a introdução de avanços relevantes e de grande influência no setor industrial relacionado à fábricas inteligentes. Nestas fábricas a procura por produtos mais complexos e inteligentes passaram a ser configuráveis, atendendo as necessidades do usuário, por meio de inovações e sistemas que os tornam responsivos e interativos, otimizando a cadeia de valor e o ciclo de vida do produto (FALANI; DE AGUIAR; DAL FORNO, 2020).

A inovação inserida nesse novo conceito industrial apresenta uma conexão dos meios produtivos de forma flexível, abrangendo toda a cadeia de distribuição, afetando diretamente as organizações. Arelado a isso, estão os desafios enfrentados pelos avanços tecnológicos da digitalização e automação, que têm sido aplicados junto a sustentabilidade em seus modelos de negócios por algumas organizações (EROL et al., 2016).

Logo, a contribuição da indústria 4.0 nos processos de produção impacta positivamente em diferentes áreas industriais, devido aos aspectos que atuam no aprimoramento e qualidade de produtos e serviços, transformando o atual ambiente de trabalho. No entanto, as mudanças geradas pela indústria 4.0 refletem na inovação e nos desafios para as organizações devido a transformação digital que afeta de forma significativa os sistemas produtivos (PEREIRA E ROMERO, 2017).

Diante disso, os modelos de negócios sustentáveis têm sido pautados na projeção de produtos que ofereçam longevidade, reparo e reciclagem em seu ciclo de vida, de modo que a sustentabilidade engloba a eficiência do produto, a matéria-prima e a reciclagem, contribuindo para a mudança da cadeia de suprimentos, por meio de negócios sustentáveis (DE MAN; STRANDHAGEN, 2017).

A inovação sustentável e os novos modelos de negócios segundo Franciosi et al. (2018), advêm dos principais elementos que o configuram como um negócio sustentável que possua valor e proposição, atendendo a cadeia de suprimentos e a interface com o cliente.

O que ocorre com as empresas que lidam com essas questões é o fato de que para alguns, esses fatores acabam sendo insustentáveis enquanto modelo de negócio, pois visam o modelo que financeiramente é bem-sucedido, como é o caso dos modelos que não se enquadram nos padrões de sustentabilidade (HOLMSTRÖM et al., 2016).

Sendo assim, esse novo modelo de negócio, segundo De Man e Strandhagen (2017), só será possível se houver a integração do produto com o seu design, como meio de promover sua obsolescência substituindo-os por novos, de forma que os consumidores não se vejam na opção de reciclá-lo ou repará-lo antes de substituí-lo, em especial os produtos de moda que seguem as tendências de mercado.

Com isso, a inserção da sustentabilidade ao processo produtivo torna-se possível por meio das estratégias de produção relacionadas a eficiência, suficiência e consistência, considerando também o ciclo: reduzir, reutilizar e reciclar, por meio do uso de matérias-primas duráveis, seguindo os parâmetros necessários para um ciclo de vida de forma circular (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A exemplo disso, na indústria têxtil tem surgido a demanda por novos fios, tecidos, têxteis inteligentes e produtos que apresentam inovações tecnológicas, como é o caso da impressão 3D. Esses por sua vez, estão embutidos nas cadeias produtivas que encaminham para o viés produtivo que agregue valor ao planeta e a sociedade, atuando rumo a produção sustentável (KUHN; MINUZZI, 2015).

Nesse contexto, as tendências embutidas no conceito de indústria 4.0 na moda e no desenvolvimento de produtos tem explorado a personalização do cliente. Direcionando os usuários a personalização do seu próprio produto que, conseqüentemente, transforma o perfil dos consumidores, centralizando o foco dos produtos na exclusividade (SHUN; ZHAO, 2017).

Embora a indústria da moda tenha apresentado avanços em relação a manufatura aditiva, dados significativos quanto ao desenvolvimento da quarta revolução industrial no setor vem sendo apresentados. Isso ocorre devido às vantagens que esse serviço oferece, como o tempo de fabricação e os custos reduzidos, associados à embalagem e ao transporte (KIM et al., 2019).

Neste cenário, segundo Dilberoglu et al. (2017), os têxteis inteligentes impressos em 3D podem ser aplicados em diferentes setores, como eletrônicos vestíveis com monitoramento de frequência cardíaca e comunicações de alta velocidade, vestíveis com fins de proteção para soldados, bombeiros e astronautas, roupas esportivas exclusivas que gerenciam a temperatura corporal, bandagens inteligentes e luvas de realidade virtual. Tudo isso devido a multicomponentes inovadores por deposição de polímeros funcionais ou materiais inteligentes em têxteis, sem comprometer a qualidade e flexibilidade do tecido.

3.3 IMPRESSÃO 3D

A manufatura aditiva popularmente conhecida em diferentes setores da indústria pelo termo de impressão 3D, surge como um novo processo de fabricação industrial, que se caracteriza pela fabricação de um produto de forma tridimensional por meio da deposição sucessiva de materiais, como, plástico, metal, cerâmica ou mesmo células vivas, camada por camada (VANDERPLOEG; LEE; MAMP, 2017).

Para Dilberoglu et al. (2017), a impressão 3D é considerada uma das mais importantes inovações tecnológicas dos últimos anos, por oferecer a oportunidade de criar objetos complexos com a redução de processos, custo, materiais, dentre outros desafios da manufatura tradicional.

O Quadro 1 apresenta os sete termos utilizados na categorização de fabricação de manufatura aditiva, dentre eles, segundo Shun e Zhao (2017), destacam-se a Estereolitografia (*Stereolithography* - SLA), Sinterização Seletiva a Laser (*Selective Laser Sintering* - SLS) e Modelagem de Deposição Fundida (*Fused Deposition Modeling* - FDM).

Quadro 1 - Conceitos das técnicas utilizadas na manufatura aditiva

Técnicas	Definição
Foto polimerização Vat	um líquido foto polímero é curado camada a camada por meio de uma luz /fonte;
Jateamento de material	gotículas de material são depositadas em uma placa para construir a camada;
<i>Binder Jetting</i>	uma ligação líquida é depositada seletivamente para unir os materiais em pó;
Extrusão de material	o material é dispensado através de um bico por aquecimento;
Fusão em pó	a energia térmica é usada para fundir seletivamente as regiões de pó;
Laminação de folhas	as folhas de material são coladas e cortadas na forma desejada (camada) para criar o produto;
Deposição Direta de Energia	os materiais são fundidos por meio de energia térmica concentrada, enquanto eles são depositados.

Fonte: Adaptado de Stein (2017).

Dentre os métodos utilizados na impressão 3D, os mais aplicáveis aos produtos de moda segundo Vanderploeg, Lee e Mamp (2017), estão, SLA, SLS e a FDM. A modelagem por deposição fundida caracteriza-se por seu processo de fácil uso e boa relação de custo em função do benefício. O processo consiste em uma tecnologia baseada em extrusão, que tem como matéria prima um filamento sólido que é gradualmente aquecido e extrudado por um bico, que expulsa o material camada por camada, sobre uma plataforma (SANTANA et al., 2018).

Segundo Mellor; Hao; Zhang (2014), a manufatura aditiva na técnica FDM, tem sido um dos avanços tecnológicos do setor do vestuário que mais chama atenção, devido a capacidade de redução de custos em algumas etapas da produção, como o design e a mão-de-obra, principalmente para os produtos personalizados.

A tecnologia da impressão 3D é reconhecida pela sua capacidade produtiva que permite uma empresa trabalhar com uma linha de produção sem itens em estoque, pois, os produtos fabricados por esse processo requerem uma quantidade menor de matéria-prima, e apresentam uma redução significativa na geração de resíduos (KUHN; MINUZZI, 2015).

Além de aprimorar a personalização e fabricação dos produtos em massa, diante das perspectivas ambiental, social e econômica, Shun e Zhao (2017) afirmam que por meio de processos tecnológicos é possível transformar a manufatura em um processo sustentável.

Diante disso, a impressão 3D é um meio de contribuir para a redução do impacto ambiental devido a fabricação de produtos com matérias-primas biodegradáveis, que seguem um modelo de ciclo de vida mais curto, comparado a outros produtos impressos em outros materiais (YAP; YEONG, 2014).

Desta forma, segundo Vanderploeg; Lee; Mamp (2017), a tecnologia da impressão 3D pela técnica de FDM impulsiona o desenvolvimento de uma produção doméstica, com novos materiais incorporados na fabricação de produtos, revolucionando os processos fabris, com o desenvolvimento de fibras e tecidos feitos a partir da impressão 3D, passando a fazer parte do setor do vestuário.

3.3.1 Impressão 3D na Moda

Nos últimos anos a impressão 3D tem sido destaque no mercado da tecnologia e inovação, e em especial tem chamado atenção nos desfiles de moda e em outros produtos do vestuário, como joias, calçados e acessórios. O uso dessa tecnologia possibilitou o desenvolvimento de objetos que eram impossíveis de fabricar em processos convencionais, tornando-se útil para as áreas criativas devido a alta qualidade e eficiência do produto final (YAP; YEONG, 2014).

Nesse sentido, Vanderploeg; Lee; Mamp (2017), afirmam que a criação de produtos vestíveis com a tecnologia de impressão 3D surge como uma alternativa para melhorar o design dos produtos, oferecendo exclusividade aos consumidores, por meio de avanços que tornem possível a produção de materiais respiráveis e flexíveis, semelhantes aos tecidos convencionais.

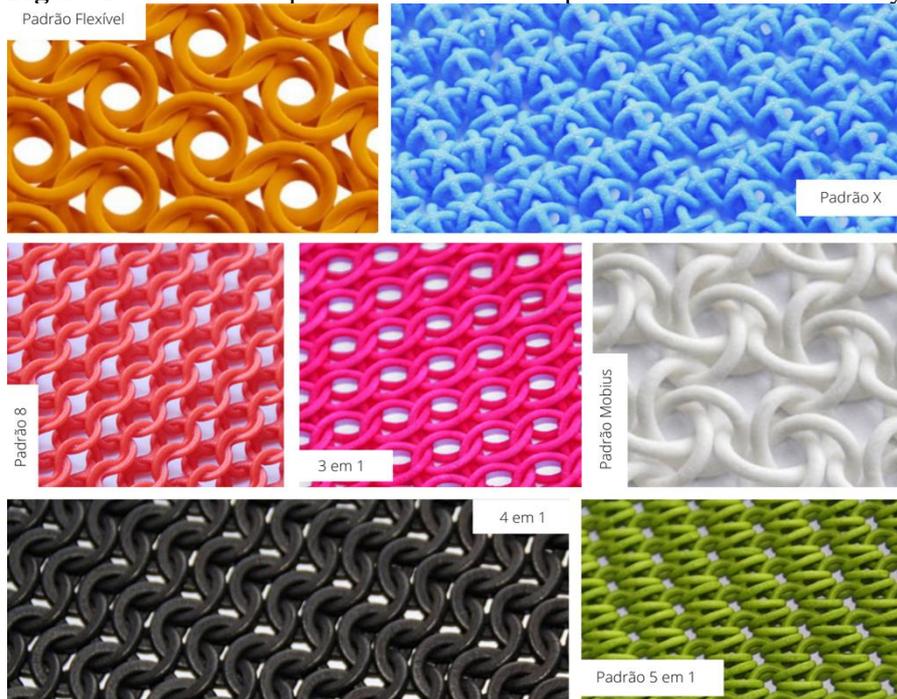
Um dos desafios que segundo Yap e Yeong (2014), permeiam a fabricação de roupas impressas é a maciez e o conforto. Portanto, a indústria da moda se vê presente em um estágio inicial de fabricação de produtos impressos em 3D, devido às peças terem suas características influenciadas por uma combinação de três elementos: matéria-prima, estrutura e processo.

Além destes elementos, o desenvolvimento de produtos se depara com outras dificuldades, como a correção e adaptação da modelagem, e ao projeto de design. Isso ocorre, pois, o projeto de design pode interferir na eficiência da prototipagem do produto, e principalmente no avanço da fabricação em massa (KUHN; MINUZZI, 2015).

Nos últimos anos, segundo Shun e Zhao (2017), a indústria da moda tem promovido a inovação por meio de formas que integrem novos métodos de fabricação, gerando muita discussão acerca do uso da tendência tecnológica da impressão 3D. Mesmo havendo uma série de estudos relacionados a impressão 3D na indústria da moda, grande parte tem sido voltada aos métodos de produção das peças, enquanto poucos visam oferecer à adaptação dessa tecnologia.

Os tecidos impressos em 3D surgiram inicialmente nos anos 2000 por Jiri Evenhuis e por Janne Kyttanen no ano de 2003. Diferente dos tecidos convencionais que passam pelo processo de tecelagem, o material é produzido em plásticos individuais, formando conjuntos móveis de micro ou meso formas produzidas no mesmo processo de fabricação, em diferentes padrões geométricos como apresentado por Lussenburg (2014) (FIGURA 2).

Figura 2 - Tecidos nos padrões desenvolvidos por Jiri Evenhuis e Janne Kyttanen



Fonte: 3D Systems - Disponível em: <https://au.3dsystems.com/blog/foc/foc-textiles-to-permanent-collection-at-moma> (adaptado). Acesso em 20 nov. 2019.

Paralelo as estruturas têxteis apresentadas, os produtos dispostos no Quadro 2 traz um resumo das aplicações da impressão 3D em produtos do vestuário, evidenciando a potencialidade do uso deste método de fabricação na indústria da moda.

Quadro 2 - Peças do vestuário impressas em 3D

Design							
Produto	<i>Black Drape Dress</i> por Jiri Evenhuis e o designer Janne Kyttanen	N12 por <i>Continuum Fashion</i>	<i>In Bloom Dress</i> por XYZ Workshop	<i>Nervous System's</i>	Coleção <i>Crystallization</i> por Iris Van Herpen, 2010 no Amsterdam Fashion Week	Danit Peleg <i>Danit's 3D printed graduate collection</i>	Julia Koerner
Método	Estrutura semelhante a malha, com anéis de bloqueio	Placas circulares, conectados por cordas finas	Baseado em um padrão de costura, construído por partes	Composto por 1.320 peças articuladas, impresso como peça única	Colab com Neri Oxman e Materialize para criar peças geométricas complexas	Desenvolvido com arquivos disponíveis em plataforma online, impressos em casa	Peças sem costura que podem ser montadas
Material	Nylon	Nylon	PLA	Nylon	TPU 92A-1	TPU - FilaFlex	PA-12 (Poliamida)
Processo	SLS	SLS	FDM	SLS	SLS	FDM	3D PolyJet

Fonte: Adaptado Kuhn; Minuzzi (2015); Tapia (2016)

Diante das informações apresentadas no Quadro 2, pode-se afirmar que os produtos impressos em 3D que mais ganharam destaque dentro da indústria do vestuário, foram os vestidos, tops, roupas íntimas e até figurino. Embora sejam reconhecidos no mundo da moda, ainda são protótipos não comercializados em larga escala em sua maioria (KUHN; MINUZZI, 2015; TAPIA, 2016).

Shun e Zhao (2017), afirmam que a confecção de roupas com a tecnologia de impressão 3D tem gerado uma grande discussão acerca da cadeia de suprimentos. Alguns estilistas da alta costura utilizam essa tecnologia para expressarem novos materiais e técnicas, por meio de formas conceituais nas passarelas, acreditando no potencial para tornar-se um meio viável a ser utilizado em peças do vestuário.

Um exemplo notável inclui a designer holandesa, Iris Van Harpen, considerada uma das pioneiras a adotar a impressão 3D em vestuário, que trabalha com peças conceituais em seus desfiles e produtos fabricados sob medida, segundo Yap; Yeong (2014) (FIGURA 3).

Figura 3 - Peças de alta costura desenvolvida por Iris Van Harpen



Fonte: Iris Van Herpen - Disponível em: <https://www.irisvanherpen.com/behind-the-scenes/crystallization> (Adaptado). Acesso em 20 nov. 2019.

Desde o primeiro vestido impresso em 3D até as criações mais recentes, nota-se uma variedade de produtos do vestuário impressos. Em decorrência disso, Vanderploeg, Lee e Mamp, (2017) apontam que as novas tecnologias possibilitam diferentes aplicações devido às características como, maior flexibilidade, movimento, diferencial tátil ou visual da peça final.

Perry (2018), aponta que dessas características, a flexibilidade é a propriedade mais importante para os têxteis, e está relacionada com a estrutura/design ou matéria-prima utilizada. A estrutura é o que de fato contribuirá para flexibilidade da peça, que aliada a materiais flexíveis como elastômeros resultaram em um produto com movimento.

Neste sentido, torna-se necessário investigar os materiais e designs das peças de vestuário impressas em 3D, distintas conforme o uso, segundo estudos propostos por Lussenburg (2014) (QUADRO 3).

Quadro 3 - Classificação de produtos impressos em 3D na moda e seus respectivos usos

Categorias	Utilização
Componentes decorativos	Conectados a tecido / vestuário, sem função técnica
Componentes funcionais	Conectados a tecido / vestuário e tem uma função técnica. Exemplos disso são zíperes e outros tipos de fechamento.
Acessórios	Objetos totalmente impressos que podem ser usados, mas não roupas, como joias ou bolsas.
Material têxtil	Peça impressa em 3D que se comporta como um tecido e pode ser usado como tal. Isso difere das peças parciais, pois ainda precisa ser alterado para uma forma diferente.
Roupa parcial	Quase uma peça de roupa completa, embora ainda precisa de algumas alterações. Um exemplo disso é o padrão de impressão peças que precisam ser montadas após a impressão.
Roupa completa	Peça pronta para vestir completamente impresso.

Fonte: Adaptado de Lussenburg (2014).

Complementar ao estudo de Lussenburg (2014), Tapia (2016), apresenta uma classificação de materiais têxteis em quatro níveis diferentes, sendo; vestuário, têxteis, fios e fibras. Estes que ao tratar de um produto do vestuário, engloba os quatro níveis a partir da mesma matéria-prima. Já a impressão 3D, requer a fabricação independente de cada um dos níveis, devido a estrutura e design característico de cada um.

Uma das vantagens da impressão 3D é a personalização dos produtos em relação a sua forma, o que faz com que cada vez mais seja explorada pela indústria têxtil para o desenvolvimento de coleções de moda (SHUN; ZHAO, 2017).

Mas, além das vantagens, segundo Martens e Ehrmann (2017), há ainda alguns aspectos a serem melhorados, pois a maioria dos materiais disponíveis atualmente não apresentam a flexibilidade, resiliência e resistência a tração suficiente para acomodar o conforto ao usuário e o movimento ao corpo.

Vanderploeg, Lee e Mamp (2017), apontam que os estudos sobre a impressão 3D, apresentam benefícios ao setor, se considerados no desenvolvimento de produtos por meio dessa tecnologia, enquanto uma nova ferramenta de design. Pois, além de oferecer benefícios,

como tornar possível a criação de roupas personalizadas, possibilita a construção virtual de produtos reduzindo etapas da produção.

O potencial de redução de processos, o ciclo de vida do produto, bem como, a quantidade material residual de produtos impressos em 3D, apresentam resultados significativos para a contribuição com a sustentabilidade, quando comparado aos têxteis convencionais (DILBEROGLU et al., 2017).

Perry (2018) ainda afirma que a impressão 3D pode complementar ou substituir as formas de manufaturas tradicionais, operando em um sistema circular inter-relacionado, atendendo a características de produtos convencionais por meio da matéria-prima e processo de impressão.

Por fim para criação de peças a serem produzidas por uma impressora 3D, é necessário o uso de um software de modelagem 3D, além disso, é necessário o uso de um filamento, sendo os mais comuns o PLA e o filamento flexível, utilizado comumente em impressoras de técnica FDM (DE MAN; STRANDHAGEN, 2017).

3.3.2 Filamentos para impressão 3D

Dentro da manufatura aditiva existem diferentes materiais para cada técnica de impressão 3D. Embora o foco principal sejam os materiais plásticos/ polímeros - os mais utilizados na manufatura aditiva -, há também outros materiais que apresentam potencial conforme a área na qual será aplicado posteriormente (DILBEROGLU et al., 2017).

Os materiais utilizados na manufatura aditiva são classificados segundo Lee e Hong (2016), como termoplásticos, pó, resina, metal e cerâmica. No entanto, o termoplástico é considerado limitado quando se trata da impressão de produtos mais elaborados. Portanto, deve-se utilizar um material que contenha as propriedades que atendam as características desejadas para o produto.

A técnica FDM de impressão 3D utiliza em seu processo filamentos de polímeros termoplásticos. Estes são compostos por uma cadeia de moléculas que quando exposto a elevadas temperaturas tomam forma e são estabilizados pela temperatura ambiente, além de possuir características que possibilita submetê-lo ao processo de reciclagem, por ser um material flexível e resistente (HAMOD, 2015).

Dentro dos termoplásticos estão os polímeros e resinas que podem ser usados em forma líquida, sólida, gasosa ou em pó, além de outros materiais feitos a partir fibras naturais e sintéticas, que incluem o algodão, polímeros de nylon e couro. Estes, são decorrentes dos avanços que tem exigido a introdução de fibras têxteis na fabricação de produtos impressos em 3D (VANDERPLOEG; LEE; MAMP, 2017).

O Quadro 4 apresenta as características dos materiais mais utilizados na técnica FDM, considerando os estudos de Hunt et al. (2015), que apresentam alguns dos tipos de polímeros que podem ser usados para impressão em 3D.

Quadro 4 - Definições dos filamentos poliméricos mais utilizados na impressão 3D

Polímero	Sigla	Definição
Acrilonitrila Butadieno Estireno	ABS	O filamento é composto por um tipo de plástico derivado do petróleo. É um dos mais utilizados na MA por ser flexível e resistente.
Poli Ácido Láctico	PLA	O polímero pertence à família dos termoplásticos, é considerado um material biodegradável, oriundo de fonte renovável é considerado vantajoso em relação a sustentabilidade, considerado fácil para trabalhar no processo de MA.
Politereflato de Etileno	PET	Termoplástico formado por reações de ácido tereftalato e o etileno glicol. É um dos termoplásticos mais produzidos devido suas propriedades mecânicas, térmicas e seu baixo custo.
Polietileno de Alta Densidade	PEAD	Embora seja pouco utilizado na impressora 3D, este polímero é considerado um dos melhores para ser usado em impressões FDM, por ser resistente.
Polipropileno	PP	É um material fácil de ser moldado, possui uma boa qualidade de impressão 3D, por ser resistente a altas temperaturas de fusão, além de ser um material rígido e resistente a impactos.
Elastômero Termoplástico	TPE	Filamento flexível indicado para objetos que precisam ter muito desgaste, usado geralmente para produtos que precisam dobrar ou esticar.
Poliuretano Termoplástico	TPU	Variação do TPE, é um polímero extremamente versátil e permite a fabricação desde produtos mais rígidos à elastoméricos/borrachosos.

Fonte: Adaptado de Lussenburg (2014).

Conforme visualizado no Quadro 4, a variedade de materiais considerados sustentáveis para uso na impressão 3D é pequena, o que pode se tornar uma barreira para o uso em larga escala. Para tal, seria viável o uso de biopolímeros de origem natural e renovável, ao invés de plásticos a base de óleo fóssil, visando oferecer uma oportunidade para o desenvolvimento de uma economia sustentável e de reciclagem por meio da impressão 3D (WIJK; WIJK, 2015).

Segundo Tenhunen et al. (2018), a técnica de FDM é a mais comum para a impressão de têxteis com polímeros termoplásticos, em especial o PLA, porém pode vir a comprometer a

maciez e flexibilidade devido a rigidez do material. Já para impressão SLS o uso de TPU poderia ser adotado para fabricação de tecidos macios, para serem aplicados na moda.

Embora existam diferentes polímeros termoplásticos, e diferentes meios de impressão 3D, o filamento termoplástico feito de PLA, segundo Lee e Hong (2016), é o que apresenta melhor resultado na impressão 3D, devido ao baixo custo e as características de biodegradabilidade, conforme apresentado no tópico a seguir.

3.3.3 Ácido polilático (PLA)

O ácido polilático (PLA) é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo e biodegradável, sintetizado a partir do ácido lático extraído de fontes renováveis não fósseis como o: milho, trigo, batata, melão de cana, beterraba etc. Obtido por meio da fermentação com microrganismos e processos de polimerização, o ácido polilático (PLA) pode ser produzido a partir do amido de forma sustentável e ecológica (CAKIR; AYCICEK; AKINCI, 2018).

O PLA é uma das matérias-primas mais utilizadas para a impressão 3D devido a sua variedade de benefícios, como, não toxicidade, biodegradabilidade, facilidade de processabilidade, baixo custo, excelente mecânica e a característica ecológica de suas rotas de síntese a partir de recursos renováveis (GUVENDIREN et al., 2016).

Além disso, o material oriundo do PLA é considerado um bioplástico, que são plásticos construídos de base biológica ou biodegradáveis com propriedades similares aos plásticos convencionais, mas que oferecem benefícios adicionais, como a reciclagem orgânica, e o tempo de decomposição (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Ainda se tratando das propriedades do PLA, Castro-Aguirre et al. (2016), aponta que as propriedades óticas, mecânicas e térmicas do PLA são equivalentes aos polímeros convencionais, como o Polipropileno (PP), Politereflato de Etileno (PET) e Poliestireno (OS), que possibilita aumentar sua gama de aplicações comerciais. Embora ainda apresente algumas limitações, como baixa tenacidade, flexibilidade e resistência ao impacto, que podem ser melhoradas através da preparação de blendas com outros polímeros (SAINI; ARORA; KUMAR, 2016).

Segundo Wang et al. (2017), na impressão 3D o PLA é considerado o biopolímero mais viável para utilização em filamentos, por oferecer grande potencial para a fabricação de produtos com formas complexas, consideradas inatingíveis por meios convencionais de processamento de polímeros. Além de gerar pouco resíduo durante o processo de impressão e permitir melhor coloração e estética aos produtos impressos (PASPALI et al., 2018).

Com a difusão do PLA, houve uma evolução das técnicas de produção que possibilitou a aplicação desse material nas indústrias têxteis, passando a ser aplicado em fibras para roupas e embalagens descartáveis (MURARIU; DUBOIS, 2016; SAINI; ARORA; KUMAR, 2016).

Embora o uso de PLA em peças do vestuário seja limitado devido a necessidade da flexibilidade, a combinação de diferentes tipos de tecidos com a impressão 3D pode tornar-se uma boa solução para o desenvolvimento de têxteis inteligentes e inovadores, sem que haja o comprometimento da qualidade e flexibilidade do tecido (GUVENDIREN et al., 2016).

Desta forma, a utilização do filamento na impressão de têxteis flexíveis para o vestuário, se dá, segundo Gürçüm et al. (2018), por meio dos recursos técnicos de design, como a geometria – forma e posição das figuras. A fim de, apresentar mecanismos de articulação para que o desenvolvimento e construção da estrutura têxtil alcance a flexibilidade pretendida.

Mesmo diante das adversidades em relação ao uso do PLA, a impressão 3D de têxteis usando materiais de base biológica oferece a vantagem de um produto com design personalizado. Além da característica biodegradável de forma sustentável e renovável, por meio de áreas que incluem custo reduzido e suprimentos eficientes, mas apresenta desafios em relação a produção em larga escala (MARTENS; EHRMANN, 2017).

Além disso, observa-se um aumento no interesse por polímeros biodegradáveis como substitutos aos plásticos utilizados, visando atender a problemática do consumo e descarte desses materiais. Embora sejam tomadas medidas alternativas como a reciclagem, incineração e reaproveitamento, ainda não resolvem o problema da redução do descarte desses materiais (PASPALI et al., 2018).

3.3.4 Degradação do PLA

O processo de degradação segundo Da Silva e Calvão (2017) é constituído por um processo físico, químico ou bioquímico que resulta na decomposição de um material e seus

elementos constituintes. Quando auxiliada por microrganismos, resulta em uma biomassa devido a mineralização do material, tornando-se um processo de biodegradação, que ocorre em três etapas: (1) Biodeterioração, combinação de muitos fatores degradativos como: degradação mecânica, degradação térmica e degradação devido à presença de umidade, oxigênio, luz ultravioleta e poluentes ambientais; fatores que resultam em uma superfície de microrganismos no material; (2) Biofragmentação, aumento de microrganismos, estes, secretam enzimas e radicais livres, que quebram macromoléculas em oligômeros, dímeros e monômeros; (3) Assimilação, liberação de sais minerais devido a nova biomassa e vários metabólitos usados por microrganismos (DA SILVA; CALVÃO, 2017).

O processo de biodegradação depende da composição química do polímero e também do ambiente em que ele está exposto. Além disso, há outros fatores importantes que influenciam a taxa de biodegradação do material como, a presença de microrganismos, a disponibilidade de oxigênio, a quantidade de água disponível, temperatura e ambiente químico (pH) (DE MACEDO; BARBOSA; ROSA, 2017).

Segundo Guimarães et al. (2019), ácido polilático PLA é considerado um biopolímero compostável, no entanto o mesmo requer mecanismos controlados para que aconteça o processo de degradação, por meio de temperatura elevada em torno de 50° à 70°C, e ambiente úmido, ou seja, com presença de água.

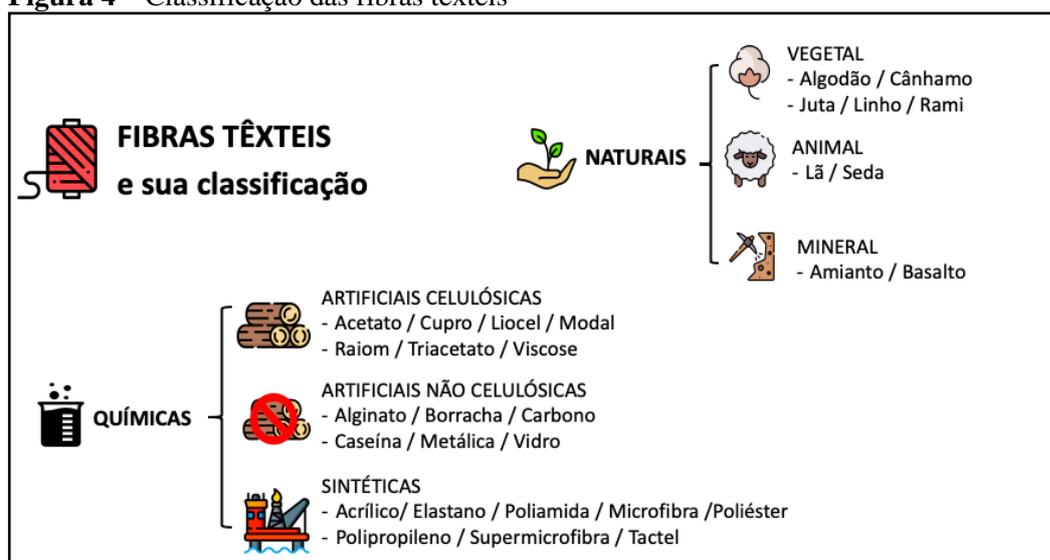
3.4 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS TECIDOS

3.4.1 Fibras Têxteis

A qualidade de um tecido utilizado no vestuário é atestada por propriedades e características que irão permitir avaliar se este é adequado ou não à produção têxtil de cada segmento. Para tal, no Brasil os tecidos são regulamentados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – visando padronizar algumas características como: gramatura, peso linear, densidade, espessura, ligamento, alongamento, elasticidade, entre outros (ANDRADE; BEZERRA; DA CRUZ LANDIM, 2016).

Segundo Kuasne (2008) as propriedades de cada fibra é o que irá influenciar no desempenho e característica de cada tecido fabricado a partir da mesma. As fibras têxteis são classificadas em três grandes grupos: as fibras naturais, artificiais e sintéticas (Figura 4), que resultam em diferentes tipos tecidos, para aplicações no vestuário ou em outro ramo industrial.

Figura 4 – Classificação das fibras têxteis



Fonte: Adaptado de Kuasne (2008).

Entre as fibras naturais, segundo Kuasne (2008), o algodão é a mais utilizada na indústria do vestuário, devido ao fato de ser usado há mais de 7.000 anos, está ligado à origem mais remota do vestuário e à evolução da produção de artigos têxteis.

Ao contrário das fibras naturais, às fibras sintéticas segundo Pezzolo (2013), são originárias do petróleo e do carvão mineral, foram desenvolvidas no final do século XIX, e tiveram seu uso intensificado no setor têxtil ao longo do século XX. Dentre as fibras sintéticas, destaca-se o poliéster, considerado a fibra mais barata encontrada no mercado, e a que possui maior capacidade de transformação e uso na cadeia têxtil e em outros segmentos da indústria.

Segundo Pezzolo (2013) o termo têxtil é utilizado para descrever diferentes produtos fabricados por meio de materiais naturais e/ou sintéticos, formados por fibras unidas de forma mecânica – à mão –, cuja utilização na vida cotidiana das pessoas contribui para a definição de influências estéticas, culturais e simbólicas.

Os tecidos são classificados a partir de sua configuração estrutural, que se compreende no tipo de fibra e fios utilizados e a forma na qual são entrelaçadas que resultaram no tecido. Os resultados obtidos a partir das estruturas têxteis devem levar em consideração as propriedades mecânicas, a aparência, o caimento e o efeito desejado em relação a sua estabilidade, elasticidade e dimensão (AMORIM; DIAS, 2017).

A configuração estrutural das tipologias têxteis é classificada em três principais estruturas: o tecido plano, a malha e o não tecido apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Definição das estruturas têxteis

	Estrutura	Ordenação de sentido
Plano		Entrelaçados em um ângulo de 90°, um na vertical (urdume) e um na horizontal (trama). conclusão
	Constituído a partir do entrelaçamento perpendicular de dois conjuntos de fios têxteis, trama e urdume. Os fios de urdume no sentido do comprimento do tecido e os fios de trama posicionados na largura do tecido. Um terceiro elemento faz parte de sua composição, a ourela, uma pequena faixa localizada nas bordas do tecido ao longo do seu comprimento, com cerca de 0,5 a 1 cm de largura, para proporcionar estabilidade ao tecido, evitando que ele se desmanche.	
Malha		Possui dimensões instáveis e pouco rígidas, deformando-se facilmente quando submetida a tensões.
	Constituída a partir do entrelaçamento dos fios em séries contínuas de laçadas. Nela, os fios se interpenetram e se apoiam no sentido lateral e vertical, e devido a sua estrutura, elas são mais elásticas e flexíveis, pois os pontos de ligação dos fios são móveis, devido as laçadas deslizarem uma sobre as outras quando tensionadas.	
Não tecido		Não possuem uma ordenação de sentido e direção.
	Construído por estruturas planas, flexíveis e porosas, a partir do acúmulo direto de camadas de fibras ou filamentos têxteis, em forma de véu ou manta. Sua formação é feita em camadas aglutinadas do material, formando uma combinação das fibras, por meio de processos mecânicos, químicos e térmicos.	

Fonte: Adaptado de Pezzolo (2013); Amorim; Dias (2017).

Considerando as tipologias têxteis apresentadas, observa-se que a definição do tipo de tecido a ser fabricado depende do seu processo de construção, que deve levar em consideração o efeito desejado do produto, em relação a sua estabilidade, elasticidade e dimensão (UDALE, 2015).

Para Souza e Menezes (2014), os tecidos são a principal superfície vestível utilizada na construção de produtos do vestuário, resultado da junção do material têxtil com a modelagem. Arelado a isso, Aldrich (2007) elenca cinco pontos essenciais para obtenção da integração entre modelagem, material e forma: peso, espessura, distorção, drapeabilidade – refere-se ao cair do

tecido -, elasticidade. Características que influenciam no produto, podendo alterar seu aspecto visual e sua estrutura em relação ao corpo vestido.

Diferente da concepção dos produtos do vestuário, a fabricação digital integra a concepção e a produção tridimensional em ambiente virtual, onde as análises das características supracitadas acontecem durante o projeto. Uma vez em que na construção virtual, as características do produto determinam a vestibilidade da peça e não somente gráfica e estética (SOUZA; MENEZES, 2014).

3.5 CONSTRUÇÃO DO NÃO TECIDO IMPRESSO EM 3D

O processo de obtenção do não tecido impresso em 3D envolve diferentes processos até que se obtenha o produto. Construído a partir de uma superfície de módulos geométricos repetidos, impressos de forma contínua de acordo com a técnica de impressão utilizada, até se obter uma estrutura têxtil (GÜRCÜM et al., 2018).

O método de projetar superfícies têxteis tridimensionais surgiu nos anos 2000 por Jiri Evenhuis e Janne Kytanen, a superfície projetada pelos designers assemelha-se a uma malha de metal utilizada nas armaduras na Idade Média, devido a configuração dos elos entrelaçados, chamados de montagens múltiplas que resulta em estruturas maleáveis devido as partes integradas entre si, em função dos anéis interligados e estruturas articuladas (LUSSENBURG, 2014) (FIGURA 5).

Figura 5 - Malha impressa em 3D



Fonte: 3D Systems – Disponível em: <https://au.3dsystems.com/blog/foc/foc-textiles-to-permanent-collection-at-moma>. Acesso em 13 mar. 2021.

Essas estruturas são definidas de geometrias, responsáveis pela construção de uma superfície fisicamente unida por figuras geométricas ou linhas repetidas que se encontram em pontos de ligação, podendo ser composta por uma sequência horizontal e vertical ou em ângulos determinados, ou ainda em curvas, ou seja, em direções diferentes que resultem em uma malha estrutural (TAPIA, 2016).

Isso ocorre segundo Kim et al. (2019), devido a impressão 3D mudar a configuração do material têxtil até então conhecida - a tecelagem dos fios na trama e urdume. Nessa nova construção têxtil, o tecido é obtido pela junção das geometrias por conectores flexíveis que resultam na repetição do padrão e formação do tecido.

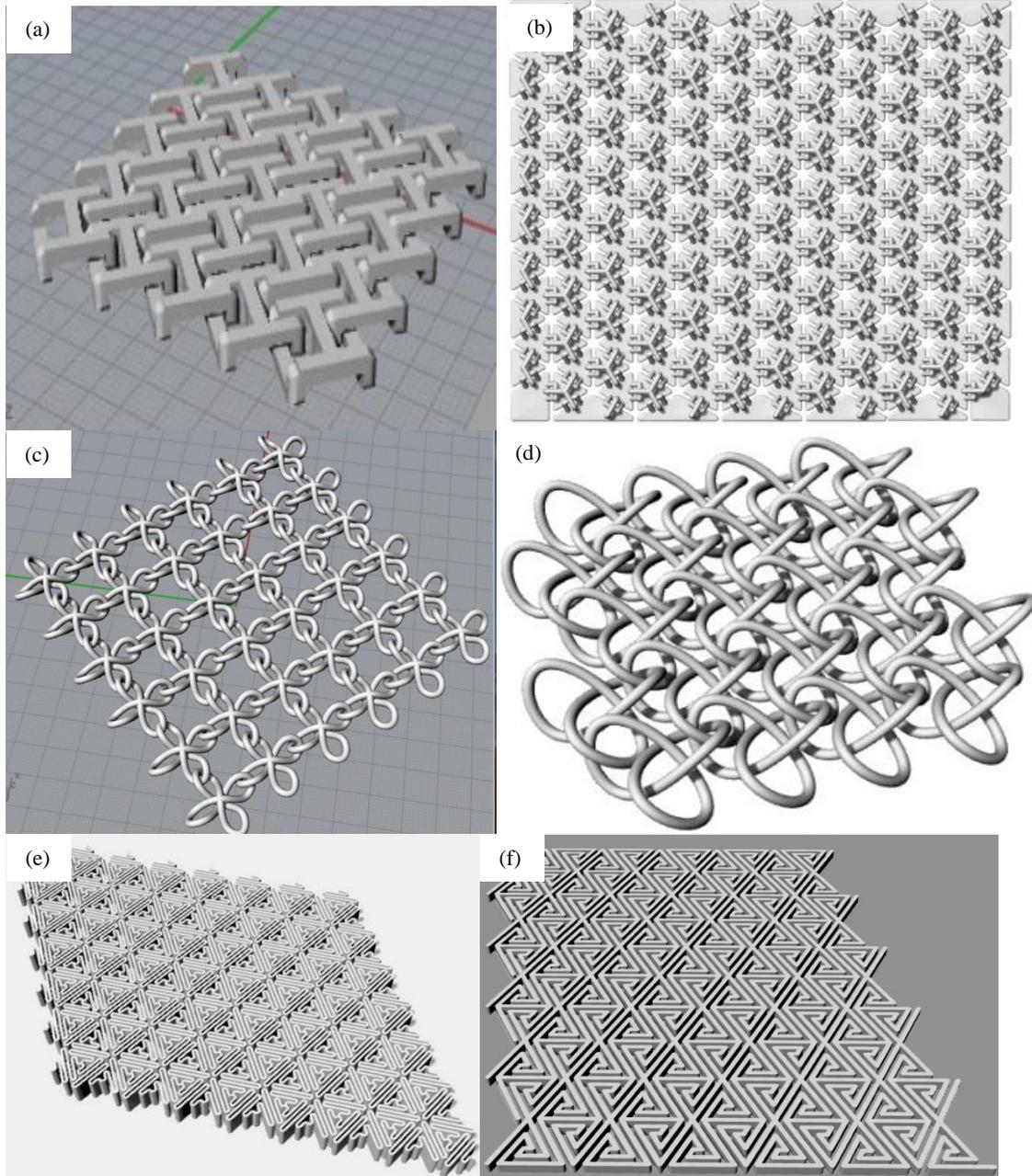
A estrutura, segundo Grain (2019) é o aspecto principal de qualquer têxtil pois influencia diretamente no seu caimento e aparência. Conforme apresentado na Seção 3.5 existem três estruturas principais que são utilizadas nas construções tradicionais, o tecido plano, o tecido malha e o não tecido, que variam conforme o objetivo final de aplicação do têxtil.

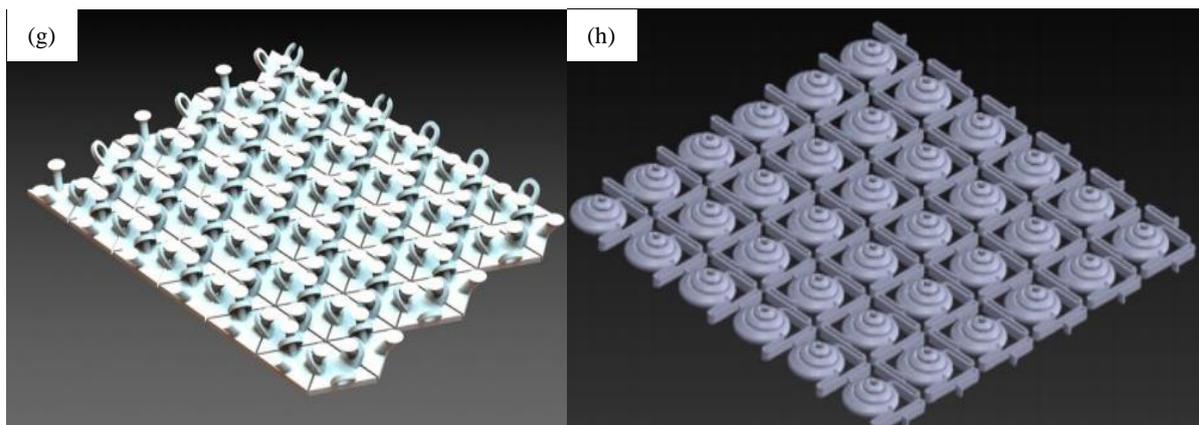
Na impressão 3D não é diferente, pois existem diferentes estruturas utilizadas na projeção de produtos do vestuário. Neste sentido, o tamanho e a forma utilizada na geometria, empregada à estrutura final, resultam na formação de mecanismos articulados,

que possibilita obter um comportamento diferente para manipulação e flexão de uma estrutura impressa em 3D (GÜRCÜM et al., 2018) ;(PENG et al., 2015).

Dentre as geometrias utilizadas na impressão 3D do vestuário a Figura 6 na sequência a seguir, apresenta um levantamento destas geometrias presentes nos estudos de Silva (2020) e Hornburg (2019).

Figura 6 – Diferentes geometrias para impressão 3D de não tecido (a) quadrado; (b) triangular 1; (c) laçadas 4 alças; (d) laçadas 3 alças; (e) molas; (f) triangular 2; (g) tecido triângulo; (h)caracol





Fonte: Adaptado de Silva (2020, p.119, 121, 123, 127, 129, 132); Hornburg (2019, p. 340, 341).

Existem outras estruturas que são utilizadas na construção de produtos do vestuário além das apresentadas na Figura 6, estas que segundo Kim et al. (2019), são chamadas de malhas 3D e podem ser impressas a partir de um arquivo de extensão stl., disponível em sua maioria de forma gratuita em plataformas online, como a Thingiverse.

Dentre os módulos apresentados, um deles destaca-se na construção de superfícies para produtos comerciais do vestuário, fabricados por meio da impressão 3D. Este, apresentado por Silva (2020), o módulo molas, utilizado na construção da superfície da Jaqueta Bomber, que apresenta uma geometria de flexão, na qual é justaposta por meio da rotação do módulo.

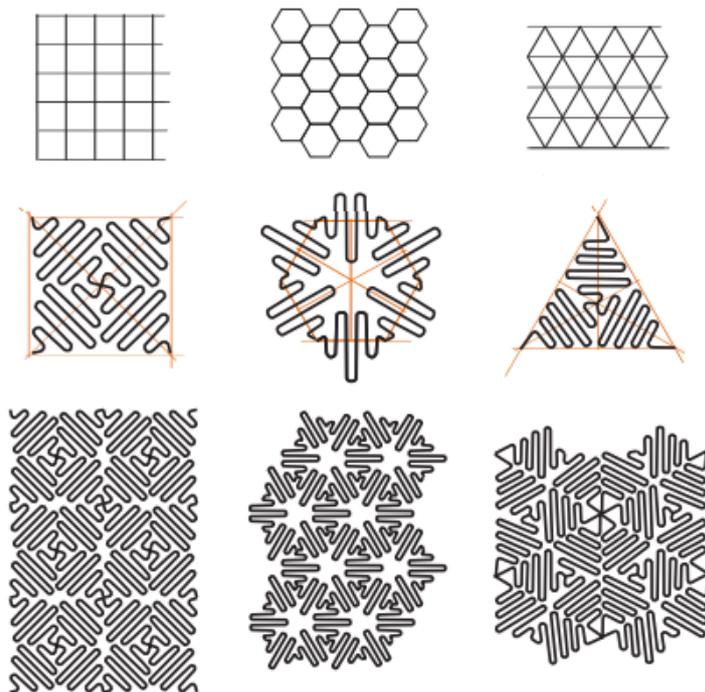
Segundo Lussenburg (2014) a geometria utilizada na Jaqueta Bomber, desenvolvida pela designer Danit Peleg (Figura 7) apresenta flexibilidade do material em conjunto com a geometria utilizada, pois permite a distorção no sentido vertical e horizontal. As configurações da geometria assemelham-se as fibras têxteis tradicionais, devido a espessura, a configuração dos módulos em hexagonal, quadrado e triangular, (Figura 8 e Figura 9) na tentativa de deixar o padrão final mais coberto sem a necessidade de forro (FIGURA 10).

Figura 7 – Detalhes da jaqueta bomber, construída pela Danit Peleg



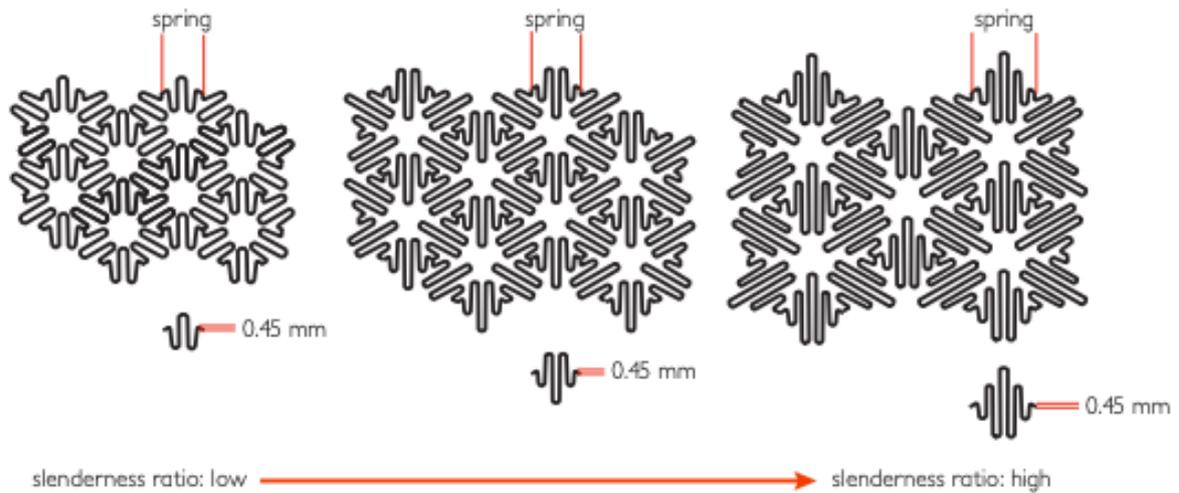
Fonte: Danit Peleg - Disponível em: <https://danitpeleg.com/the-birth-of-venus/>. Acesso em 13 mar. 2021.

Figura 8 - Diferentes configurações do módulo utilizado na impressão da jaqueta bomber (quadrada, hexagonal, triangular)



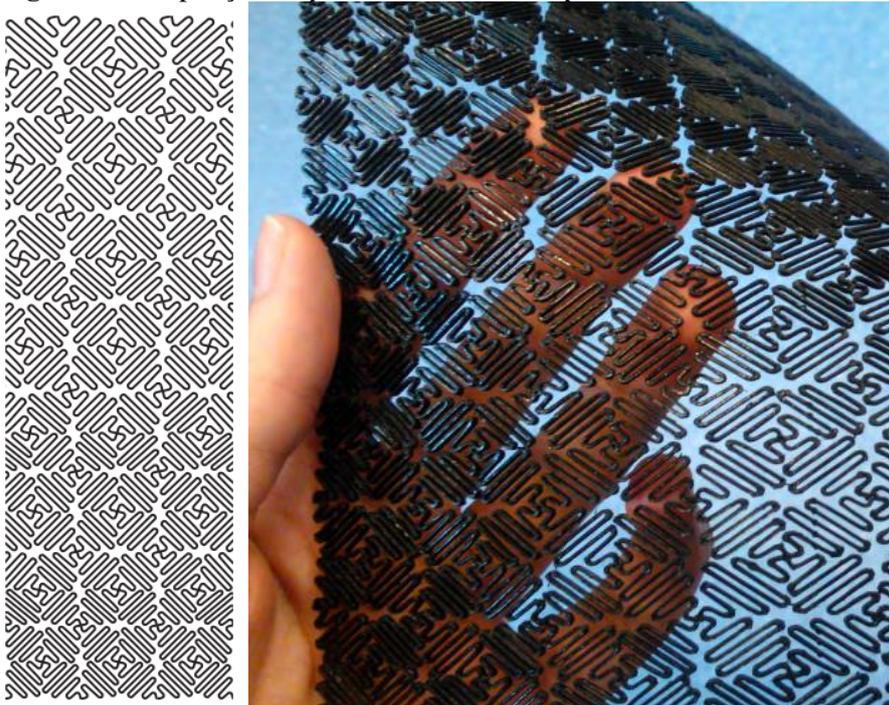
Fonte: Lussenburg (2014, p. 94).

Figura 9 - Variações da altura do módulo (do menor para o maior)



Fonte: Lussenburg (2014, p. 93).

Figura 10 - Repetição do padrão e resultado impresso



Fonte: Lussenburg (2014, p. 93).

O padrão utilizado na geometria apresentada nos estudos de Lussenburg (2014) e lançada na coleção da designer Israelense Danit Peleg (2014-2015), a estrutura também conhecida como estrutura zeta segundo Tapia (2016), é parecida ao corte enviesado – corte em ângulo de 45° -, devido a elasticidade e caimento apresentados, que são característicos de tecidos planos cortados nesse sentido do fio. Além disso, apresenta uma construção parecida

com a malha, devido ao entrelaçamento dos fios pelas laçadas, resultando na elasticidade da peça.

Segundo Gürcüm et al. (2018), é possível desenvolver todo tipo de peça em impressão 3D, sendo as mais comuns: roupas, aviamentos, acessórios e sapatos. Embora ainda haja algumas limitações quanto o formato de união dos elos, o tamanho da peça a ser impressa, e características essenciais a um produto do vestuário, como: caimento e conforto.

3.5.1 Caimento e Drapeabilidade do Tecido

O caimento, segundo Fischer (2010) é o comportamento natural de um tecido que sempre tende a cair em direção ao chão, mas pode variar conforme suas características de peso, gramatura, elasticidade e composição.

O caimento do tecido influencia diretamente na silhueta do produto, além de ser proporcional ao grau de flexibilidade, maleabilidade e consistência do material têxtil. O movimento produzido pelo caimento se dá pelo peso do tecido, conforme o seu contato com a superfície, sem a interferência de forças externas além da gravidade (SOUZA; ROBERTO; ANTUNES, 2016).

Essas características segundo Aldrich (2013), afetam o caimento e influenciam na forma dos produtos, aliando o potencial do tecido ao resultado do produto. Potencial no qual, é revelado por meio da estética do material têxtil em relação aos aspectos visuais, as características táteis e a estrutura flexível, que contribuirão para um bom caimento.

Durante o desenvolvimento de um produto do vestuário, o comportamento do cair, dado fornecido pela drapeabilidade, é considerado uma das qualidades de um produto ou tecido utilizado no vestuário. Uma boa drapeabilidade é determinante para a estética do produto, e para moldar-se as formas do corpo, possibilitando uma melhor aparência ao usuário (SOUZA; ROBERTO; ANTUNES, 2016).

Segundo Dominoni e Tempesti (2012), em um cenário onde os produtos devem apresentar algo além do conforto sensorial, o caimento torna-se objeto de pesquisa devido a influência que reflete em termos de estrutura e funcionalidade do produto. Portanto, cabe ao designer, estar atento a essas propriedades e vinculá-las ao design do produto e criar uma percepção no usuário.

A qualidade do drapeado do tecido segundo Souza; Roberto; Antunes (2016), pode variar conforme o seu uso final e pela estrutura do tecido, por exemplo, os tecidos de malha são flexíveis e as roupas confeccionadas com eles tendem a seguir o formato do corpo. Já os tecidos planos, tendem a ser utilizado em roupas que o tecido fica longe do corpo, proporcionando um caimento mais reto que disfarça os contornos.

A drapeabilidade geralmente é avaliada de modo informal e visual, durante e após a finalização de um produto. No entanto, segundo Brehm (2014), ela pode ser medida de forma técnica, por meio do aparelho graduador, pelo método para graduação de tecidos, adaptação do método de coeficiente de cortina proposto por Aldrich (2013).

O método desenvolvido por Brehm (2014), com base na avaliação do coeficiente de cortina, tem como objetivo classificar rapidamente de forma simples um material têxtil acerca do seu caimento, para orientar o designer na decisão de qual material utilizar para o desenvolvimento de novos produtos.

O aparelho graduador estabelece uma escala de cinco níveis que avaliam as características dos tecidos, sendo o nível 1 a indicação de materiais mais leves e mais finos, com alta capacidade de distorção, drapeabilidade e com alta elasticidade. À medida que o nível vai aumentando, até chegar ao nível 5, indica que os materiais são mais pesados, mais grossos e com baixa capacidade de distorção, elasticidade e drapeabilidade (SOUZA; ROBERTO; ANTUNES, 2016).

Ao tratar de drapeabilidade nos produtos impressos em 3D, segundo Gürcüm et al. (2018), deve ser analisado as matérias primas e posteriormente o produto impresso. Uma vez em que, alguns materiais utilizados não apresentam conforto e flexibilidade necessária para um produto do vestuário. Portanto, para produzir roupas vestíveis para uso diário são necessárias melhorias no design/geometria dos têxteis impressos e nos materiais utilizados.

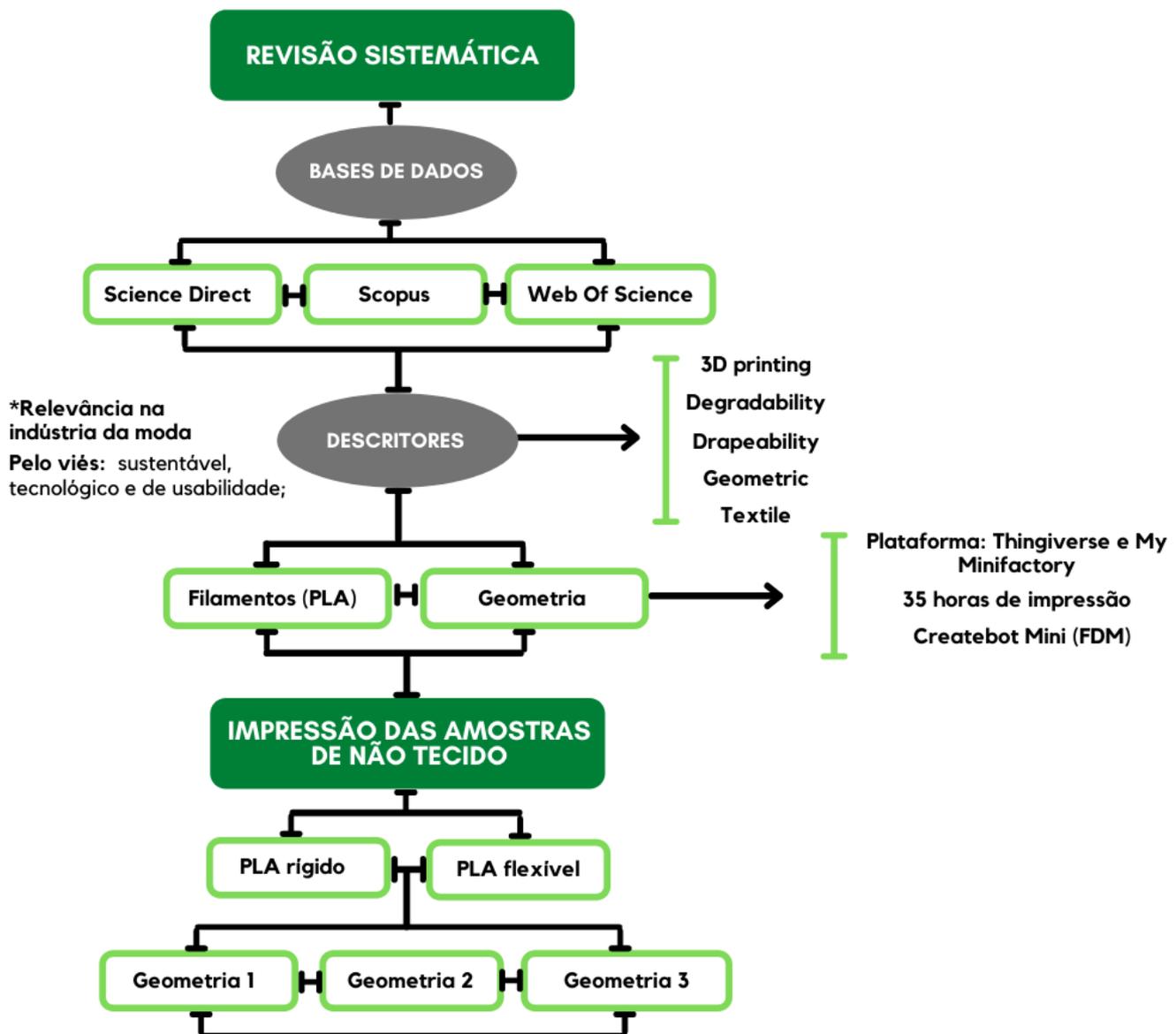
Os materiais vestíveis impressos em 3D utilizados na confecção de roupas, são impressos a partir de filamentos, materiais poliméricos ou compósitos poliméricos leves e relativamente flexíveis, para permitir o movimento do produto. Para que isso seja possível, utiliza-se de tecnologia e design virtual em 3D para uma personalização rápida e de acordo com o biótipo do usuário (YAP; YEONG, 2014).

Embora a moda impressa em 3D possa ser construída por diferentes tipos de matérias-primas, Gürcüm et al. (2018), afirma que a qualidade visual de grande parte dos produtos impressos ainda não é satisfatória, devido aos efeitos resultantes da deposição das camadas durante o processo de impressão.

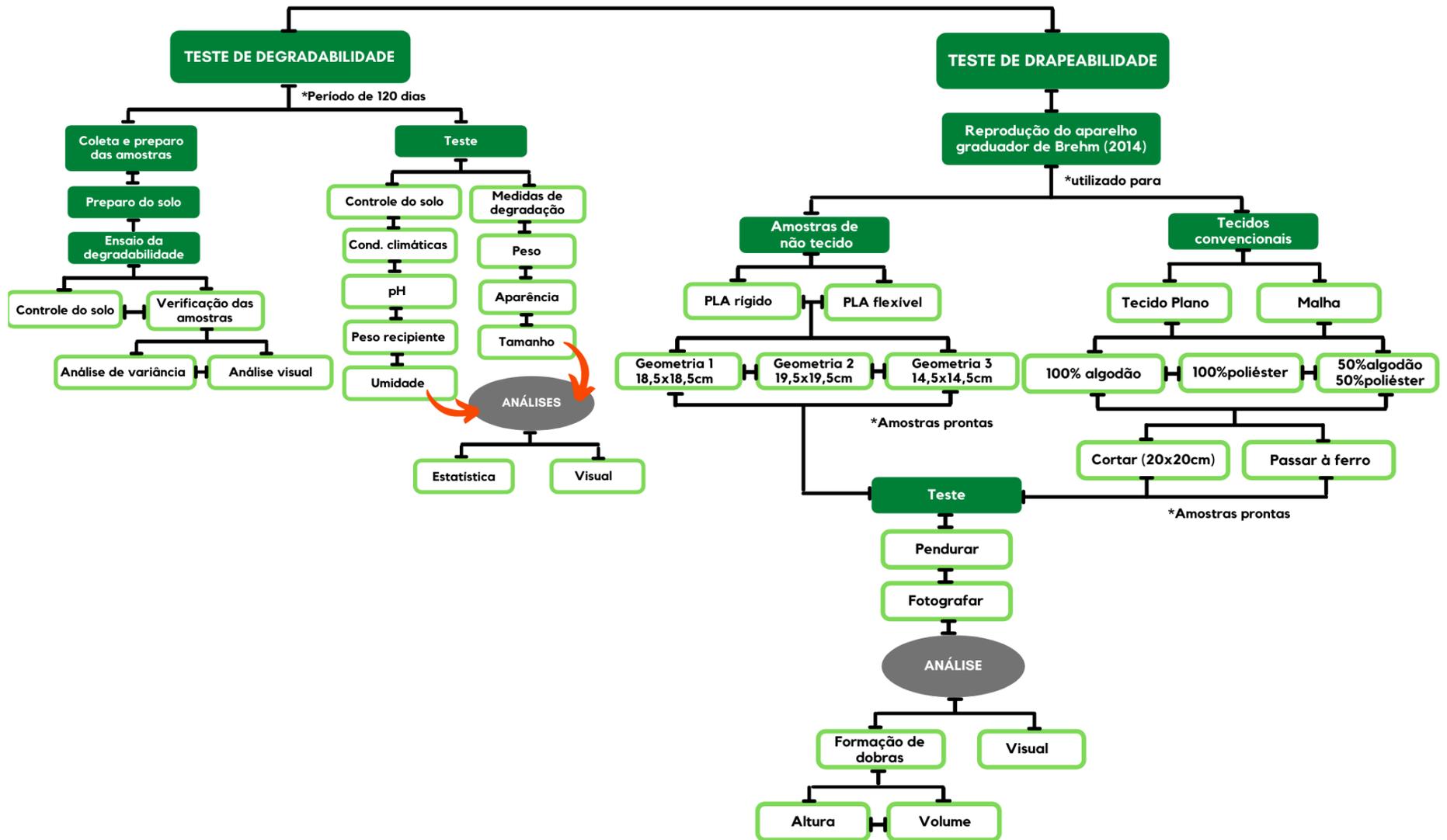
4 METODOLOGIA

A Figura 11 apresenta as etapas desenvolvidas neste trabalho. O estudo foi de caráter científico, exploratório e investigativo.

Figura 11 - Metodologia aplicada ao estudo



CONTINUA...



Fonte: Autora (2020).

A metodologia utilizada na revisão sistemática da literatura, desenvolvida por meio da busca de bases de dados, constituídas por artigos científicos publicados. A busca foi realizada em três bases de dados bibliográficos: Scopus, Web of Science e Science Direct.

Foram levantados os volumes de publicações, referente ao período de 2016 até 2020. Para a realização da pesquisa na base de dados Scopus foram selecionados os campos Documents e All fields. Já para a pesquisa na base de dados Web of Science foram selecionados os campos Basic Search e Topic. E a pesquisa na base de dados Science Direct foi utilizado o campo Keywords para digitar o descritor correspondente.

Como critério do processo de indexação nas bases de dados bibliográficos, foram definidos os descritores utilizados com embasamento na relevância no setor têxtil, pelo viés sustentável e tecnológico.

Foi realizada a busca de fontes científicas nas bases de dados com ênfase no período de março de 2019 a dezembro de 2020, utilizando os descritores, no idioma inglês. Os cinco descritores utilizados foram: degradability, drapeability, geometric, 3D printing, textile,.

Realizou-se uma análise de dados quantitativos sobre os descritores utilizados, analisando a importância sobre o assunto, realizando um levantamento dos aspectos acerca da matéria prima (filamento) e construção do tecido (geometria). Por fim, foi realizada uma revisão de literatura sobre os têxteis impressos em 3D no contexto da aplicação comercial, apontando os aspectos do caimento e drapeabilidade, e no contexto sustentável a degradabilidade do material.

4.1 IMPRESSÃO DAS AMOSTRAS EM 3D

Para o desenvolvimento da pesquisa foram definidas três geometrias distintas para os testes de drapeabilidade e degradabilidade, onde cada geometria foi impressa em duplicata conforme (Quadro 6).

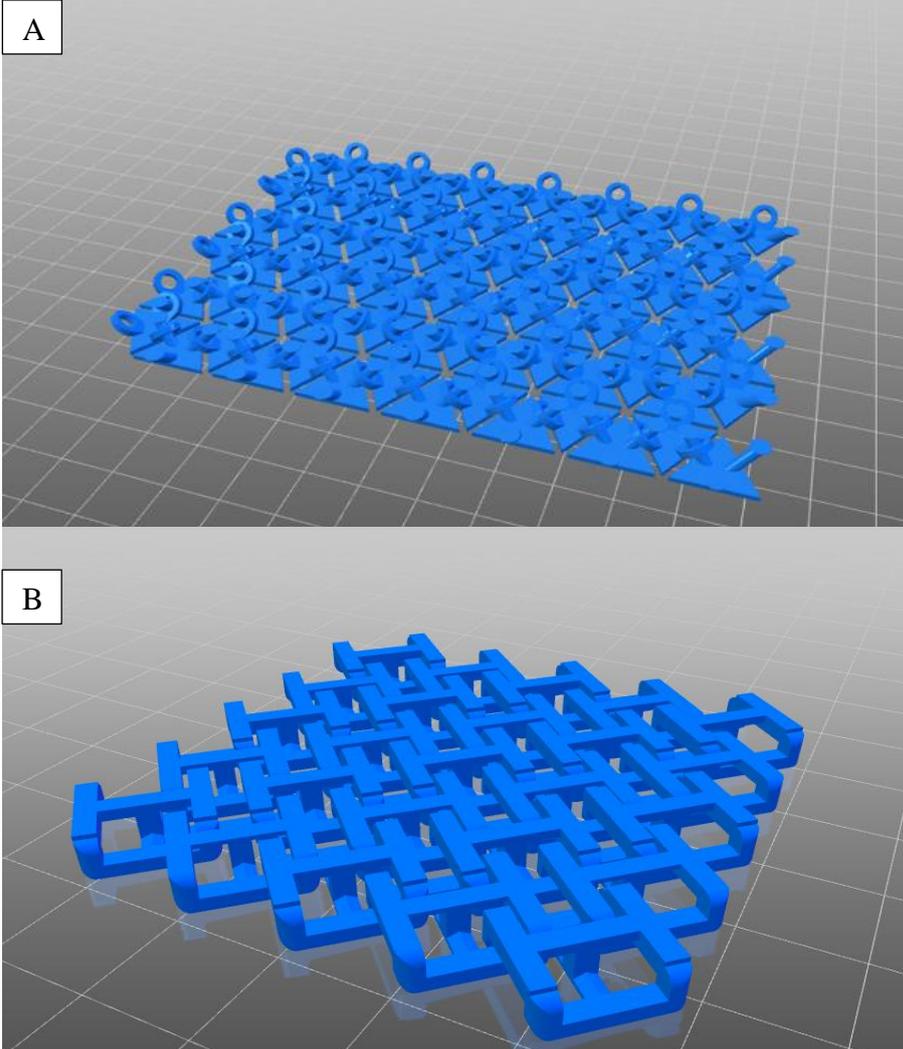
Quadro 6 – Parâmetros utilizados para a impressão das amostras em 3D

Geometria	Plataforma	Tempo de impressão (horas)	Tipo	PLA (rígido e flexível)
1 - Triangular	Thingiverse	8	Malha têxtil	1,75mm
2 - Quadrada	Thingiverse	8	Malha têxtil	
3 - Floral	My Minifactory	1h33min	Renda	

Fonte: Autora (2020).

A Figura 12 apresenta as geometrias das amostras impressas em 3D utilizadas para o desenvolvimento das análises de degradabilidade e de drapeabilidade. A escolha das geometrias foi realizada com base na revisão de literatura, onde foi possível conhecer os módulos utilizados na construção das geometrias que compõem peças do vestuário, e então selecionar qual seria a mais viável para impressão conforme a disponibilidade do arquivo para download e que era possível ter acesso no laboratório da universidade.

Figura 12 - Geometrias utilizadas na impressão das amostras – (A) Triangle Textile, (B) Customizable Chain Mail, (C) Flexible lace





Fonte: Thingiverse - Disponível em: (A) <https://www.thingiverse.com/thing:1664748/files> (B) <https://www.thingiverse.com/thing:881114> (C) <https://www.tinkercad.com/things/jMSBk1bJFz3> - Acesso em 26 nov. 2019.

A impressão do grupo de amostras foi realizada em uma impressora Createbot Mini (FDM), à 210°C, por estimadas 35 horas de impressão, por meio de arquivo *.stl, utilizando 500g de filamento para a impressão de cada amostra, seguindo os parâmetros do Quadro 6.

As geometrias impressas para as análises foram classificadas em dois grupos, PLA rígido e o PLA flexível. As amostras impressas foram utilizadas para as análises de degradabilidade e drapeabilidade conforme apresentado nos tópicos a seguir.

4.2 TESTE DE DEGRADABILIDADE

4.2.1 Coleta e preparo das amostras

As amostras de tecidos convencionais foram obtidas no comércio local em três diferentes composições: 100% algodão, 100% poliéster e 50% algodão 50% poliéster. Foi coletada uma amostra de tecido de 50cm, de cada composição apresentada seguindo a metodologia de Harbs et al. (2018).

Foram trabalhadas com amostras de tecido plano e malha em triplicata, e as amostras do não tecido impresso em 3D em dois filamentos PLA distintos (flexível e rígido), foram impressas em duplicata. O Quadro a seguir tem-se as características das 30 amostras utilizadas no teste (QUADRO 7).

Quadro 7 – Classificação das amostras utilizadas no teste de degradabilidade

Amostras em triplicata (tecido convencional)			
Estrutura	Composição	Tamanho	Descrição
Plano	100% Algodão	10x10 cm	Tricoline
	100% Poliéster		Oxfordine
	50% Algodão 50% Poliéster		Tricoline mista ou Textolem
Malha	100% Algodão		Malha confort
	100% Poliéster		Helanca
	50% Algodão 50% Poliéster		Moletom peluciado
Amostras em duplicata (impressão 3D)			
Estrutura	Composição	Tamanho	Descrição
Geometria 1	PLA Flexível	18,5x18,5cm	Triangular
Geometria 2		19,5x19,5cm	Quadrada
Geometria 3		14,5x14,5cm	Floral
Geometria 1	PLA Rígido	18,5x18,5cm	Triangular
Geometria 2		19,5x19,5cm	Quadrada
Geometria 3		14,5x14,5cm	Floral

Fonte: A autora, 2020.

Cada amostra foi aberta separadamente em uma mesa, cortada no fio reto, em quadrados de 10x10cm, com o auxílio de uma tesoura, em seguida etiquetadas com as informações contendo a composição e o número da amostra.

As amostras foram pesadas em balança Shimadzu modelo BL320H e posteriormente fotografadas por uma câmera de celular, organizadas conforme a sequência de amostras sob uma superfície plana em ambiente iluminado.

4.2.2 Preparo do solo

A preparação do solo teve como parâmetro a metodologia de Harbs et al., (2018), sendo assim, para realização deste ensaio o solo foi composto de uma mistura de solo comum e terra vegetal, com o intuito de obter um solo com características mais próximo de um real solo de descarte do material.

Em cada recipiente foi adicionado 50% de solo de jardim e 50% de terra vegetal adquirida em casa de jardinagem, ambos peneirados grosseiramente para homogeneizar a textura, totalizando 5kg de solo em cada recipiente. Em seguida, a mistura dos solos foi

adicionada em recipientes plásticos para jardinagem, de 9L (49,5cmx18,5cmx16,7cm), adquiridas no comércio local.

Os recipientes foram etiquetados com números de 1 a 6 para auxiliar na identificação das amostras soterradas.

Posteriormente, os recipientes foram armazenados sob uma superfície metálica sem contato com o solo, ficando expostos as condições climáticas e posições do sol ao longo do dia, portanto, incontroláveis.

4.2.3 Ensaio de degradabilidade

Para realização do ensaio, as amostras de tecido foram soterradas nos recipientes contendo a mistura de solos por um período de 120 dias. As amostras foram soterradas em ordem crescente, de 1 a 3 e separadas conforme a estrutura de tecido (plano e malha).

4.2.3.1 Controle do solo

Semanalmente durante os 120 dias, foi realizado o controle do solo, no mesmo dia e horário, a fim de controlar o pH do solo, que foi mantido entre 6,5 e 7,0, controlado com a adição de cal para elevar o pH e flor de enxofre para diminuir o pH.

O controle foi realizado em laboratório, onde uma parte do solo (amostra de 10g) foi dispersa em vinte partes de água destilada (200ml), em um recipiente de vidro (béquer), agitado até dissolver (em agitadores) por 3 minutos. Após este processo, o papel indicador de pH em lâminas Merck foi mergulhado na solução por 30s e a cor obtida foi então comparada com a escala de cor da caixa.

O controle de umidade do solo foi realizado a partir do peso dos recipientes utilizados no experimento. No primeiro dia, os recipientes foram pesados individualmente sem o solo, e posteriormente com o solo, para que obtivesse à medida que auxiliaria no controle da umidade nas checagens periódicas.

Quando havia ressecamento do solo por perda de água por evaporação, acrescentava-se água da chuva (obtida de caixa d'água da residência da discente) sem causar deslocamento no solo, até voltar ao peso inicial do conjunto (solo + recipiente= 5kg).

Por fim, o controle de temperatura foi realizado por meio dos dados das condições climáticas do ambiente, por nota das condições climáticas do dia e horário das análises,

considerando a temperatura local do ambiente e condições de chuva, sol, neblina e umidade relativa do ar.

4.2.3.2 Verificação das amostras

Durante o experimento foram realizadas fotografias, medidas e pesagens das amostras utilizadas após contato com o solo, seguindo o cronograma de 30, 60, 90 e 120 dias. Após o contato de tempo determinado com o solo (a cada 20 dias), as amostras eram retiradas do solo, enxaguadas em água corrente, massageadas com os dedos para remover o excesso de solo e secas ao sol, penduradas em varal pelo fio de nylon utilizado na etiqueta, com auxílio de prendedores de madeira, até que estivesse seca por completo.

Posteriormente, eram fotografadas por uma câmera de celular sob uma superfície plana, medidas com o auxílio de uma régua, e por fim pesadas, em balança analítica Shimadzu modelo BL320H.

Com os dados de perda de peso e medida obtidos ao longo do experimento, a degradação pode ser expressa em porcentagem da perda de massa e área, pelo delineamento experimental. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado em função da composição dos tecidos, sendo eles: 100% algodão, 100% poliéster, 50% algodão 50% poliéster, para as tramas plano e malha. E para os não tecidos impressos em 3D utilizou-se as geometrias 1, 2 e 3).

Para as análises de degradação dos tecidos durante os 120 dias de testagem foi realizada a Análise de Variância no software Statistica 12, no intuito de verificar se houve diferenças significativas em relação à decomposição em massa e área dos doze tratamentos, envolvidos segundo o teste de Tukey à nível de significância de 5%.

Além disso, foi realizada a análise visual da degradabilidade das amostras com o intuito de caracterizar os tratamentos, sendo apenas uma análise descritiva.

4.3 TESTE DE DRAPEABILIDADE

Para verificar o caimento dos não tecidos impressos em 3D, em relação aos tecidos mais utilizados na confecção de produtos do vestuário, foi realizado o ensaio de drapeabilidade para os não tecidos impressos em 3D e para as amostras de tecidos em estrutura malha e plano em três composições diferentes, sendo 100% algodão, 100% poliéster e a mistura dessas fibras.

Para a realização do ensaio de drapeabilidade foi necessária a elaboração de um aparelho graduador. Este aparelho teve por objetivo medir a drapeabilidade que possibilita a gradação das dobras verticais do tecido, sua largura, enquadramento e configuração do volume de caimento. A experiência de medição de drapeabilidade – o cair dos tecidos – consiste no aparelho graduador desenvolvido com base nos princípios de Aldrich (2013), reproduzida conforme o produto intelectual desenvolvido por Brehm (2014).

A metodologia utilizada no teste consiste em marcar no ponto central dois ângulos de 45° dividido em 5 partes, onde a amostra do tecido (20x20cm) é presa no vértice dos ângulos por uma das pontas, para assim registrar o índice de caída do material (PALMIERI; RODRIGUES; SOUZA, 2017).

No Quadro 8, estão especificados os tecidos e não tecidos utilizados no teste, e suas características.

Quadro 8 - Classificação das amostras utilizadas no teste de drapeabilidade

Amostras de tecido convencional			
Estrutura	Composição	Tamanho	Descrição
Plano	100% Algodão	20 x 20 cm	Tricoline
	100% Poliéster		Oxfordine
	50% Algodão 50%Poliéster		Tricoline mista ou Textolem
Malha	100% Algodão		Malha confort
	100% Poliéster		Helanca
	50% Algodão 50%Poliéster		Moletom peluciado
Amostras de não tecido impresso em 3D			
Estrutura	Composição	Tamanho	Descrição
Geometria 1	PLA Flexível	18,5x18,5cm	Triangular
Geometria 2		19,5x19,5cm	Quadrada
Geometria 3		14,5x14,5cm	Floral
Geometria 1	PLA Rígido	18,5x18,5cm	Triangular
Geometria 2		19,5x19,5cm	Quadrada
Geometria 3		14,5x14,5cm	Floral

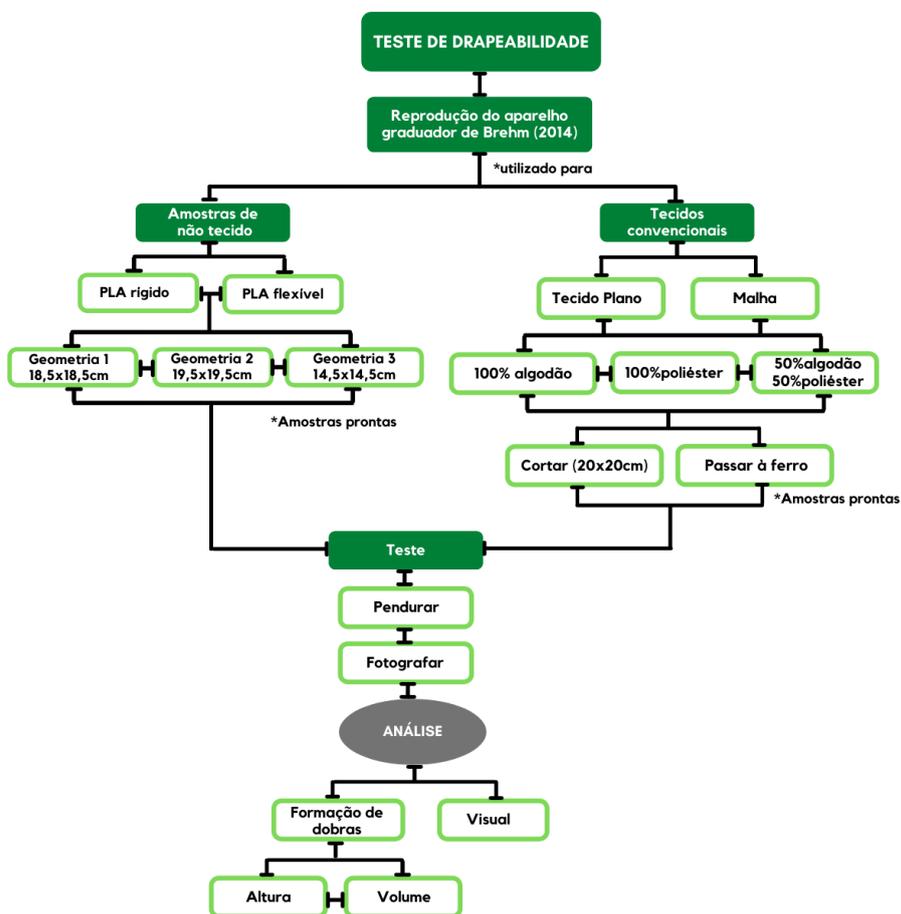
Fonte: Autora (2020).

Nesse contexto, conforme exposto no Quadro 8, os tecidos selecionados foram divididos em 4 grupos: plano, malha, PLA flexível e PLA rígido, essa divisão foi realizada considerando as características dos tecidos (rigidez e flexibilidade). Para o teste foram utilizadas uma amostra de cada material apresentado.

Na classificação dos tecidos quanto ao caimento, foi empregada a metodologia apresentada nos estudos de Souza (2013), uma adaptação da metodologia proposta por Aldrich (2013), com a reprodução e uso do aparelho graduador desenvolvido por Brehm (2014). No presente estudo, foram empregadas amostras quadradas de 20x20 cm de cada um dos tecidos utilizados nas análises.

Para o teste, as amostras seguiram os procedimentos preparatórios apresentados no fluxograma (Figura 13) conforme proposto na metodologia de Aldrich (2013) e Souza (2013).

Figura 13 – Fluxograma de desenvolvimento do teste de drapeabilidade

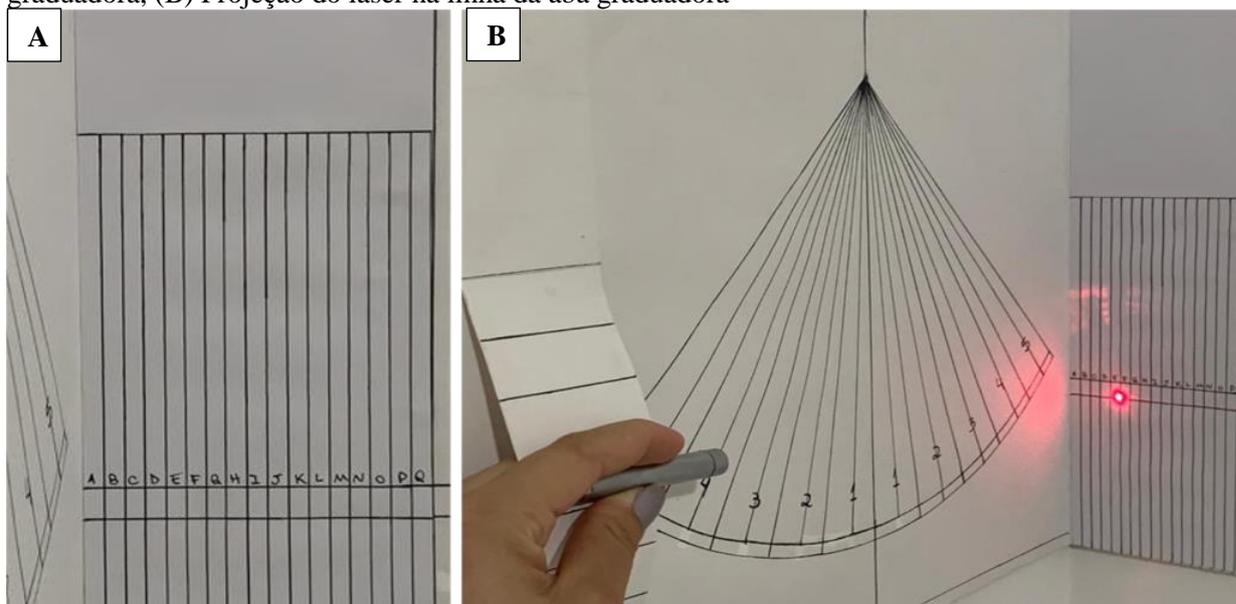


Fonte: Autora (2020).

Com o aparelho graduador foi possível registrar a configuração de caimento de cada amostra, por meio das dobras formadas, onde, a primeira linha horizontal curvada do graduador à 20cm do vértice do ângulo, coincide com a medida do lado da amostra de 20cm, ponto utilizado para o registro das graduações (SOUZA, 2013).

No entanto, a leitura em grau de largura foi realizada pela ocupação dos espaços entre um número e outro, que formam um grau de até 4cm, conforme Brehm (2014). A leitura do volume das dobras e da altura do caimento é registrada com a projeção do laser na faixa quadriculada da aba graduadora conforme ilustra a Figura 14.

Figura 14 - Ilustração da graduação da altura das dobras do tecido – (A) Configuração da aba graduadora, (B) Projeção do laser na linha da aba graduadora



Fonte: Autora (2020).

Ao desenvolver o aparelho graduador segundo a propriedade intelectual de Brehm (2014) adaptado de Aldrich (2013), cada espaço de 0,5 cm foi identificado por uma letra (de A à Q), sob a linha de projeção do laser na aba graduadora, correspondendo a cada grau em uma extensão de 0,5 à 8 cm.

Já os valores correspondentes a cada grau inteiro no ângulo de 45°, foram definidos em centímetros, em uma medida de 8cm cada grau, na extensão de 0 a 40cm dos dois ângulos de 45° que compõem o graduador (ALDRICH, 2013); (BREHM, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos científicos sobre o tema da impressão 3D proporcionaram familiaridade com a questão da pesquisa para defini-la e explicitá-la. Embora tenha apresentado um número reduzido a ser explorado, a busca proporcionou a definição da escolha do filamento e geometria a serem trabalhadas no desenvolvimento das amostras impressas em 3D.

No estudo da impressão 3D foram investigadas as técnicas, os materiais e processos de fabricação existentes, a fim de conhecer e selecionar qual desses aspectos poderiam ser utilizados no desenvolvimento prático da pesquisa.

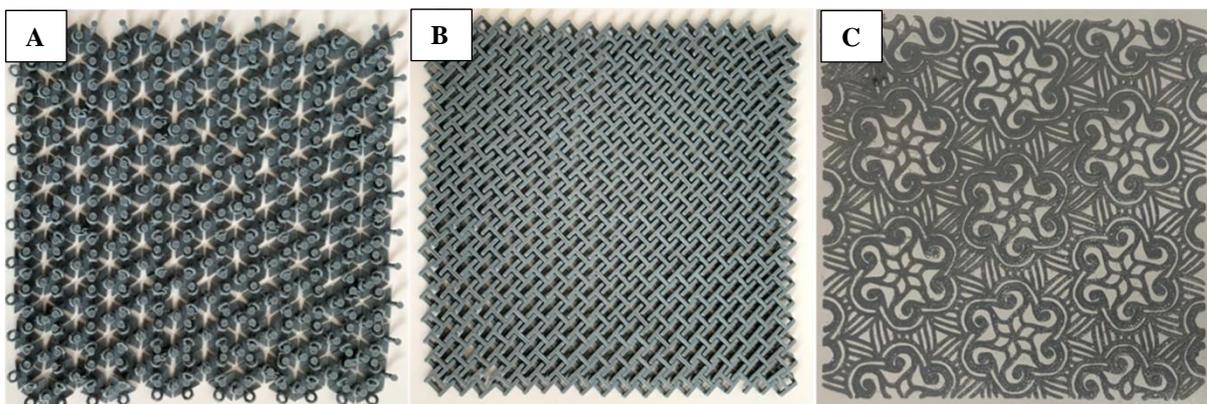
Ao estudar os filamentos termoplásticos utilizados na técnica de FDM observou-se o uso do PLA como o material mais utilizado na impressão 3D devido ao seu baixo custo e as características relacionadas a biodegradabilidade, um dos pontos de estudo da pesquisa.

Na revisão de literatura foi possível conhecer as geometrias utilizadas na construção de produtos do vestuário, além de identificar impressões que já haviam sido realizadas na técnica de FDM. A definição das geometrias foi realizada considerando a disponibilidade de arquivos em formato stl com a geometria já construída, para downloads em plataformas digitais, como a Thingiverse, devido o foco do trabalho ser a análise da degradabilidade do material (tecido impresso) e a sua drapeabilidade.

5.1 IMPRESSÃO DAS AMOSTRAS (FDM)

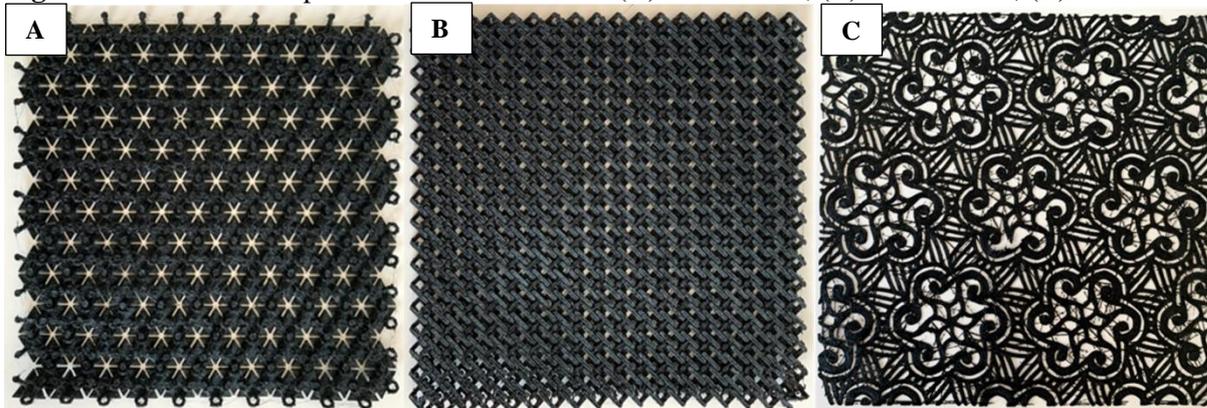
As geometrias impressas em 3D para as análises de degradabilidade e drapeabilidade foram classificadas em dois grupos, o grupo do PLA rígido (Figura 15) e o PLA flexível (Figura 16), apresentadas na sequência.

Figura 15 - Amostras impressas em PLA rígido - (A) Geometria 1; (B) Geometria 2; (C) Geometria 3



Fonte: Autora (2020).

Figura 16 - Amostras impressas em PLA flexível - (A) Geometria 1; (B) Geometria 2; (C) Geometria 3



Fonte: Autora (2020).

A escolha das geometrias foi determinada pela estrutura apresentada em suas composições, sendo elas estruturas geométricas que são unidas por repetições que resultam na malha e na renda, proporcionando maior cobertura na superfície do corpo, além de assemelhar-se a uma estrutura têxtil.

Em vista disso, o desenvolvimento de uma peça que tenha capacidade de cobertura maior acaba apresentando uma capacidade flexível menor, devido a quantidade de filamento utilizada durante a impressão, sendo possível atingir a flexibilidade somente se utilizado um filamento flexível, conforme afirma Tapia (2016).

Para tal, foram impressas ambas as geometrias em PLA flexível e rígido a fim de analisar o aspecto da flexibilidade por meio do caimento dos não tecidos, e pelo parâmetro da degradabilidade, em virtude de a composição dos filamentos serem diferentes.

5.2 TESTE DE DEGRADABILIDADE

As análises do teste de degradabilidade foram realizadas conforme descrito na Seção 4.2, detalhada na metodologia apresentada na Figura 11.

Considerando as tramas dos tecidos escolhidas para o estudo comparativo de degradabilidade em solo, os tecidos convencionais, assim como não tecidos, ao final do período de 30, 60, 90 e 120 dias, foram devidamente limpas e pesadas para a determinação do percentual de perda de massa e área.

Ao analisar tecidos planos e malhas com composição de 100% algodão, foi possível observar que ao longo de 120 dias houve perda de massa e área. Aos 30 dias o tecido plano apresentou um ganho de massa, que pode ser justificado pela umidade e resíduo de solo presentes nas amostras durante a pesagem. Aos 120 dias, sua massa reduziu 8,9% em relação a sua massa inicial. Quanto a sua área, houve uma redução gradativa que resultou em uma perda de 11,65% ao final do período, isso ocorreu devido ao tecido possuir fibras de origem natural como é possível observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Perda de massa e área por degradação em solo dos tecidos 100% algodão.

Tempo	Composição			
	100% algodão			
	Plano		Malha	
	Massa (g)	Área (cm ²)	Massa (g)	Área (cm ²)
Inicial	1,12 ^b ±0,01	100,00 ^a ±0,00	1,51 ^{ab} ±0,15	100,00 ^a ±0,00
30 dias	1,20 ^a ±0,02	98,03 ^a ±3,42	1,72 ^a ±0,08	97,35 ^a ±2,49
60 dias	1,15 ^{ab} ±0,03	91,81 ^b ±1,13	1,60 ^{ab} ±0,03	84,60 ^b ±0,90
90 dias	1,11 ^b ±0,03	89,91 ^b ±2,39	1,46 ^{ab} ±0,09	82,77 ^b ±1,53
120 dias	1,02 ^c ±0,02	88,35 ^b ±1,62	1,37 ^b ±0,13	79,80 ^b ±4,52
Média	1,12±0,06	92,16±5,05	1,57±0,15	84,60±8,70
CV	5,81	5,48	9,88	10,29
Valor p	0,000061	0,000129	0,017635	0,000003
Perda (%)	8,92	11,65	9,27	20,20

Médias na mesma coluna, seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Com relação a malha 100% algodão, observou-se um aumento de massa aos 30 dias em relação ao seu peso inicial, provavelmente devido a umidade absorvida pela amostra. Aos 120 dias decorridos após o início do experimento houve uma perda de massa, porém, essa perda foi maior que a observada no tecido plano. Já com relação a área, o resultado também é

significativamente maior que a ocorrida no tecido plano, pois a malha apresenta o fator encolhimento.

Diante disso, observa-se que a trama do tecido pode apresentar uma redução de área, pois a malha tende a enrolar, e o tecido plano a desfibrar em contato com o solo, umidade e exposição ao sol (MAZIBUKO et al., 2019).

Harbs et al. (2017), ao trabalharem degradação de resíduos de vestuário em solo durante 60 dias observou-se uma perda 70,64% para tecidos planos 100% algodão, já no presente estudo, para esse mesmo tipo de tecido não houve perda de massa no período de 60 dias, embora tenha ocorrido perda de área (8,19%). Isso pode ser justificado pela metodologia utilizada pelos autores supracitados diferir da adotada neste estudo com relação a periodicidade em que ocorria o controle de umidade (semanalmente) e a exposição do solo às condições climáticas reais.

Sendo que, Harbs et al. (2017), adicionava água ao solo todos os dias sempre que o peso do recipiente oscilava, o que tornava o ambiente mais úmido. Enquanto no presente estudo, o solo estava exposto a condições climáticas da região de Maringá – PR, e umidificava-se o solo apenas uma vez por semana para corrigir o peso inicial do recipiente (5kg).

Ao avaliar os resultados do comportamento dos tecidos de malha 100% algodão segundo Harbs et al. (2017), durante o período de 60 dias, observou-se uma perda de 76,67%, da massa inicial dos tecidos. Já no presente estudo, também não houve perda de massa, mas houve perda de área (15,40%), o que também pode estar associado as diferenças entre as metodologias dos trabalhos, e ao tipo de tecido utilizado pelo autor, no qual não é apresentado características comerciais além da sua composição, que podem influenciar no seu processo de degradação

A perda de área, apresentada pelas amostras podem significar que houve um encolhimento do tecido devido ao contato com solo e as condições climáticas no qual foi submetido, como grande exposição a altas temperaturas em dias quentes, e a imersão em água das chuvas que ocorreram durante o experimento. A exposição dos têxteis a raios ultravioletas, é um fator que influencia diretamente em sua degradação, resultando na perda de área e de cor (MAZIBUKO et al.,2019).

Nos estudos propostos por Milosevic et al. (2017), a biodegradabilidade das fibras de algodão foi analisada pelo teste de enterramento de solo, com solo compostável, e em ambiente controlado seguindo o teste padrão ASTM 5988-03. Ambos os testes foram realizados com tecidos de composição 100% algodão e 50% algodão 50%PET, as amostras 100% algodão apresentaram melhor degradabilidade devido aos danos visíveis na estrutura do tecido.

O teste ocorreu em um intervalo de 46 dias, e no dia 32 apresentou a maior perda de massa equivalente a 17% do seu peso inicial. Isso foi gradualmente intensificado, e após 25 dias grandes aberturas puderam ser vistas nos tecidos (Nam et al., 2015), o que torna evidente que a desintegração severa do tecido de algodão ocorreu após um mês.

Tratando-se dos tecidos planos e malhas com composição 100% poliéster, observa-se que ao longo do período de 120 dias houve uma pequena perda de massa e área. Aos 30 dias o tecido plano apresentou o mesmo ganho de massa, possivelmente pelo resíduo de solo e água presentes na amostra durante a pesagem. Ao final do experimento, obteve-se uma diminuição de massa, o equivalente a 3,84%; e redução de 3,96cm² em relação a área inicial (Tabela 2).

Tabela 2 - Perda de massa e área por degradação em solo dos tecidos 100% poliéster.

Tempo	Composição			
	100% poliéster			
	Plano		Malha	
	Massa (g)	Área (cm ²)	Massa (g)	Área (cm ²)
Inicial	1,04 ^{ab} ±0,03	100,00 ^a ±0,00	1,17 ^b ±0,03	100,00 ^a ±0,00
30 dias	1,05 ^a ±0,02	100,00 ^a ±0,00	1,24 ^a ±0,01	97,02 ^b ±0,00
60 dias	1,03 ^{ab} ±0,00	96,93 ^{ab} ±0,93	1,23 ^a ±0,02	93,75 ^c ±1,12
90 dias	1,05 ^a ±0,02	96,04 ^b ±1,70	1,18 ^b ±0,01	91,48 ^d ±0,55
120 dias	1,00 ^b ±0,02	96,04 ^b ±1,70	1,15 ^b ±0,00	91,48 ^d ±0,55
Média	1,03±0,03	98,01±1,12	1,19±0,03	93,10±3,48
CV	3,11	2,17	2,79	3,73
Valor p	0,011283	0,002077	0,001120	0,000000
Perda (%)	3,85	3,96	1,71	8,52

Médias na mesma coluna, seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

A malha com composição de 100% de poliéster também apresentou uma redução da sua área ao final do experimento (120 dias), porém maior que a registrada para o tecido plano, devido provavelmente ao encolhimento do tecido, que pode ser justificado pelo desfibramento do tecido para o tecido plano, e para a malha devido ser propensa a enrolar.

Quando observados os resultados da degradação de tecidos planos e malhas 100% poliéster propostos por Harbs et al. (2018), em um período de 60 dias observou-se uma perda de 1,09% para tecido plano 100% poliéster, já no presente estudo, houve uma perda de massa de 0,1%, enquanto em área ocorreu uma perda maior (3,07%). É possível notar que as fibras sintéticas, independente da metodologia utilizada apresentou uma perda menor, devido à fibra

ser de origem sintética, tornando-a inerte aos ataques químicos e biológicos do meio de degradação da fibra, mantendo sua estrutura, conforme apresentado por Harbs et al. (2018).

Os resultados obtidos nos tecidos de malha 100% poliéster durante o período de 60 dias segundo Harbs et al. (2018), apresentou uma perda menor que as do tecido plano (0,72%). Nesta pesquisa o aumento de massa e redução da área (6,25%), esse fato pode ser justificado pelo resíduo de solo ou umidade presente no tecido, uma vez que há diferença entre a metodologia utilizada neste trabalho e a apresentada por Harbs et al. (2018).

Ao observar o resultado obtido na degradação dos tecidos de composição mista (50% poliéster / 50% algodão), percebe-se uma perda de massa e área (60% do valor inicial), no período de 120 dias para o tecido plano. Acerca da perda de área destes tecidos ao final do período, houve uma perda de 8,16% (TABELA 3).

Tabela 3 - Perda de massa e área por degradação em solo dos tecidos 50% algodão 50% poliéster.

Tempo	Composição			
	50% algodão 50% poliéster			
	Plano		Malha	
	Massa (g)	Área (cm ²)	Massa (g)	Área (cm ²)
Inicial	0,95 ^a ±0,02	100,00 ^a ±0,00	2,81 ^{abc} ±0,09	100,00 ^a ±0,00
30 dias	0,94 ^a ±0,06	99,01 ^a ±1,72	2,95 ^a ±0,04	95,71 ^{ab} ±1,31
60 dias	0,79 ^{ab} ±0,07	90,54 ^b ±2,81	2,90 ^{ab} ±0,10	92,47 ^b ±1,99
90 dias	0,66 ^{bc} ±0,10	89,60 ^b ±2,93	2,77 ^{bc} ±0,05	89,59 ^b ±2,68
120 dias	0,57 ^c ±0,05	91,84 ^b ±1,45	2,68 ^c ±0,11	88,69 ^b ±5,12
Média	0,75±0,16	92,16±4,88	2,83±0,13	93,10±4,90
CV	21,44	5,30	4,66	5,27
Valor p	0,011283	0,002077	0,001120	0,000000
Perda (%)	3,85	3,96	1,71	8,52

Médias na mesma coluna, seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

No entanto, já para a malha de composição mista obteve-se uma perda de massa de 4,62% ao final dos 120 dias de experimento, valor esse devido a presença da fibra de poliéster em sua composição. Quanto a área também houve uma perda, sendo ela 11,31% ao final do período.

Aos 60 dias os tecidos de malha de composição mista apresentaram uma perda de 7,53% em sua área. Para os tecidos planos da mesma composição houve uma perda de 16,84% de massa e uma redução de 9,46% de área.

Nos estudos de Harbs et al. (2017), a degradação do tecido de malha em composição mista, ao longo de 60 dias apresentou uma perda de 16,02% em relação a sua massa. Já para o tecido plano na mesma composição a redução foi de 23,86%. A diferença no percentual de massa perdido, pode ser justificada pela metodologia utilizada pelos autores supracitados, na qual foi adaptada no presente estudo.

Além disso, pode-se observar que maior perda de massa ocorreu no tecido plano 50%poliéster e 50%algodão equivalente a 60% da massa inicial, e o tecido com maior área degradada foi a malha 100% algodão que apresentou uma perda de 20,20cm². Considerando o resultado obtido na degradação de fibras celulósicas (100% algodão) e sintéticas (100%poliéster), percebe-se que a parte celulósica (algodão), é a que se degrada facilmente em um curto período, sendo ela sua totalidade ou na mistura com outras fibras (DE MACEDO; BARBOSA; ROSA, 2017).

Ao longo do período determinado no estudo, além dos tecidos convencionais comumente utilizados em artigos do vestuário, foram analisadas a degradabilidade dos não tecidos impressos em 3D, em três geometrias diferentes com duas variações de material PLA (rígido e flexível).

Ao analisar os não tecidos impressos na geometria 1 em PLA rígido e flexível (Tabela 4), foi possível observar que no período do experimento houve perda de massa e área. Em 30 dias o não tecido de PLA flexível apresentou ganho de massa, que pode ser justificado pela presença de solo em sua estrutura durante a pesagem. No período final (120 dias), observa uma perda de 6,2% em relação a massa inicial.

Tabela 4 - Perda de massa e área por degradação em solo dos não tecidos (Geometria 1).

Tempo	Composição			
	Geometria 1			
	PLA flexível		PLA rígido	
	Massa (g)	Área (cm ²)	Massa (g)	Área (cm ²)
Inicial	33,25 ^a ±1,43	342,25 ^a ±0,00	34,78 ^{ab} ±0,22	342,25 ^a ±0,00
30 dias	34,21 ^a ±1,20	315,63 ^a ±37,65	41,67 ^a ±0,10	342,25 ^a ±0,00
60 dias	34,17 ^a ±1,24	296,63 ^a ±1,24	40,96 ^{ab} ±0,14	304,43 ^a ±2,58
90 dias	31,23 ^a ±1,02	295,75 ^a ±0,00	31,11 ^{ab} ±0,01	323,91 ^a ±0,00
120 dias	31,16 ^a ±1,51	295,75 ^a ±0,00	34,50 ^b ±1,05	316,82 ^a ±10,03
Média	33,30±1,54	295,75 ^a ±22,92	36,32±3,61	323,91 ^a ±14,36
CV	4,63	7,49	9,93	4,43
Valor p	0,237654	0,267168	0,000233	0,006511
Perda (%)	0,33	13,59	0,81	7,43

Médias na mesma coluna, seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Já o PLA rígido apresentou uma perda de massa menor quando comparado ao PLA flexível.

No estudo proposto por Rajesh; Prasad; Gupta (2019), durante um período de 90 dias houve uma perda de 5,56% para PLA+25% sisal (não tratado) e 15,20% para PLA+25% sisal (tratado). No presente estudo a perda foi de 6,07% (PLA flexível) e 10,55% (PLA rígido) no mesmo período, ocorrendo uma perda de área de 13,58% (PLA flexível) e 5,35% (PLA rígido). Porém, isso pode ser justificado pela adição do sisal, matéria orgânica que pode acelerar o processo de degradação.

Sugere-se que em trabalhos futuros sejam repetidos os experimentos para a geometria 1, devido aos ganhos de massa apresentado ao longo do experimento. Esse dado que pode ser justificado devido à dificuldade em realizar a limpeza por completo das amostras, sem que houvesse resíduos do solo que pudessem influenciar nos dados obtidos durante a pesagem.

Ao verificar o resultado obtido na degradação do não tecido impresso na geometria 2 em material flexível e rígido, identificou-se uma perda de massa e área ao longo do experimento (120 dias). O não tecido impresso em PLA flexível apresentou um ganho de massa em 30 dias, comparado a massa obtida na pesagem anterior, o mesmo fato foi observado para o PLA rígido como é possível visualizar na Tabela 5.

Tabela 5 - Perda de massa e área por degradação em solo dos não tecidos (Geometria 2).

Tempo	Composição			
	Geometria 2			
	PLA flexível		PLA rígido	
	Massa (g)	Área (cm ²)	Massa (g)	Área (cm ²)
Inicial	54,67 ^a ±8,59	380,25 ^a ±0,00	58,29 ^a ±0,93	380,25 ^a ±0,00
30 dias	56,56 ^a ±9,40	380,25 ^a ±0,00	63,53 ^a ±0,46	380,25 ^a ±0,00
60 dias	49,73 ^a ±0,07	361,00 ^b ±0,00	60,52 ^a ±3,21	354,39 ^b ±17,16
90 dias	52,82 ^a ±0,06	361,00 ^b ±0,00	56,92 ^a ±0,01	359,08 ^b ±0,00
120 dias	47,32 ^a ±0,32	361,00 ^b ±0,00	56,71 ^a ±0,60	336,79 ^c ±31,52
Média	49,80±7,60	361,00±9,94	58,29±3,90	362,88±25,38
CV	15,26	2,75	6,69	6,99
Valor p	0,640952	0,237452	0,072132	0,242891
Perda (%)	1,19	5,06	0,48	11,43

Médias na mesma coluna, seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Como comparativo o estudo proposto por Rajesh; Prasad; Gupta (2019), durante um período de 90 dias o PLA em degradação apresentou uma perda de 5,56% para PLA+25% sisal não tratado e 15,20% para PLA+25% sisal tratado. Contudo, durante o mesmo período no presente estudo houve uma perda de 3,38% (PLA flexível) e 2,35% (PLA rígido). No mesmo período também ocorreu uma perda de área significativa, em que o PLA flexível teve uma perda de 5,06% e o PLA rígido 5,56% em relação a área inicial.

A diferença para menos no percentual de perda de massa no mesmo período para ambos os estudos pode ser justificada pelo percentual de composição de PLA na amostra utilizada pelos autores supracitados, na qual apresentava 25% de fibra de sisal na composição.

Ao observar os não tecidos impressos na geometria 3 em PLA rígido e flexível, é possível analisar que durante o experimento houve uma perda de massa e área, exceto a área do PLA rígido. No período de 30 dias o não tecido impresso em PLA flexível apresentou um aumento de massa, que pode ser justificado pela presença de resíduo de solo na amostra, interferindo diretamente no peso da amostra.

Ao final do período (120 dias), observa-se que a menor massa (5,48g) que representa uma perda de 2,3% equivalente a 0,13g da massa inicial. Quanto a área, houve perda a partir dos 90 dias, e até o final do período manteve-se estável. Porém ao comparar a massa inicial e a massa final, é possível observar uma perda de 2,17cm² comparado a área inicial, como pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Perda de massa e área por degradação em solo dos não tecidos (Geometria 3).

Tempo	Composição			
	Geometria 3			
	PLA flexível		PLA rígido	
	Massa (g)	Área (cm ²)	Massa (g)	Área (cm ²)
Inicial	5,61 ^{ab} ±0,03	210,25 ^a ±0,00	6,35 ^a ±0,30	210,25 ^a ±0,00
30 dias	5,68 ^a ±0,04	210,25 ^a ±0,00	5,79 ^{ab} ±1,07	210,25 ^a ±0,00
60 dias	5,67 ^a ±0,01	210,25 ^a ±0,00	4,73 ^b ±0,21	-
90 dias	5,59 ^{bc} ±0,01	208,108 ^b ±0,00	6,18 ^a ±0,01	-
120 dias	5,48 ^c ±0,00	208,08 ^b ±0,00	4,24 ^b ±0,79	-
Média	5,61±0,09	210,25±1,12	5,58 ^{ab} ±1,07	210,25±0,00
CV	0,53	9,93	19,25	-
Valor p	0,004465	0,193531	0,138007	0,217211
Perda (%)	0,53	0,08	33,23	-

Médias na mesma coluna, seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Quanto a geometria 3 impressa em PLA rígido, houve um ganho de massa aos 90 dias, que pode ser justificado pela amostra ter se desintegrado e possivelmente ter tido partes acrescidas de outra amostra. No final do período (120 dias), houve uma perda de 0,77g, equivalente a 12,1% da massa inicial, considerando que foi a amostra que mais perdeu massa. Em relação a área, a mesma não pode ser medida ao final do período, pois após os 30 dias as amostras em soterramento, se desintegraram, o que impossibilitou realizar a medida final da amostra.

Segundo o estudo apresentado por Rajesh; Prasad; Gupta (2019), durante um período de 90 dias o PLA em degradação apresentou uma perda de 5,56% para PLA+25% sisal não tratado e 15,20% para PLA+25% sisal tratado. Entretanto, durante o mesmo período, no presente estudo houve uma perda de área equivalente a 0,35% (PLA flexível) e de 2,67% (PLA rígido), apresentando também uma perda de área de 2,14cm² equivalente a 1,01% da área inicial. O PLA utilizado no presente estudo, é considerado sem mistura de fibras têxteis, que não é o caso do PLA analisado nos estudos de Rajesh; Prasad; Gupta (2019), que apresentam uma mistura significativa (25%) com uma fibra natural têxtil.

Diante dos resultados apresentados, pode-se observar que para os não tecidos impressos em 3D, a amostra que mais apresentou maior perda de massa foi impressa na geometria 2 em PLA flexível (13,4%). Já em relação a área, a maior redução foi para a amostra impressa na geometria 1 em PLA flexível (46,5% comparado a sua massa inicial).

Considerando os resultados obtidos na degradação das amostras impressas com PLA flexível, percebe-se que nas condições de solo propostas no estudo, o mesmo apresenta melhor degradação em um curto período, podendo então tornar-se um material em potencial que atende a degradação em solo.

5.3 ANÁLISE VISUAL DA DEGRADABILIDADE DOS TECIDOS

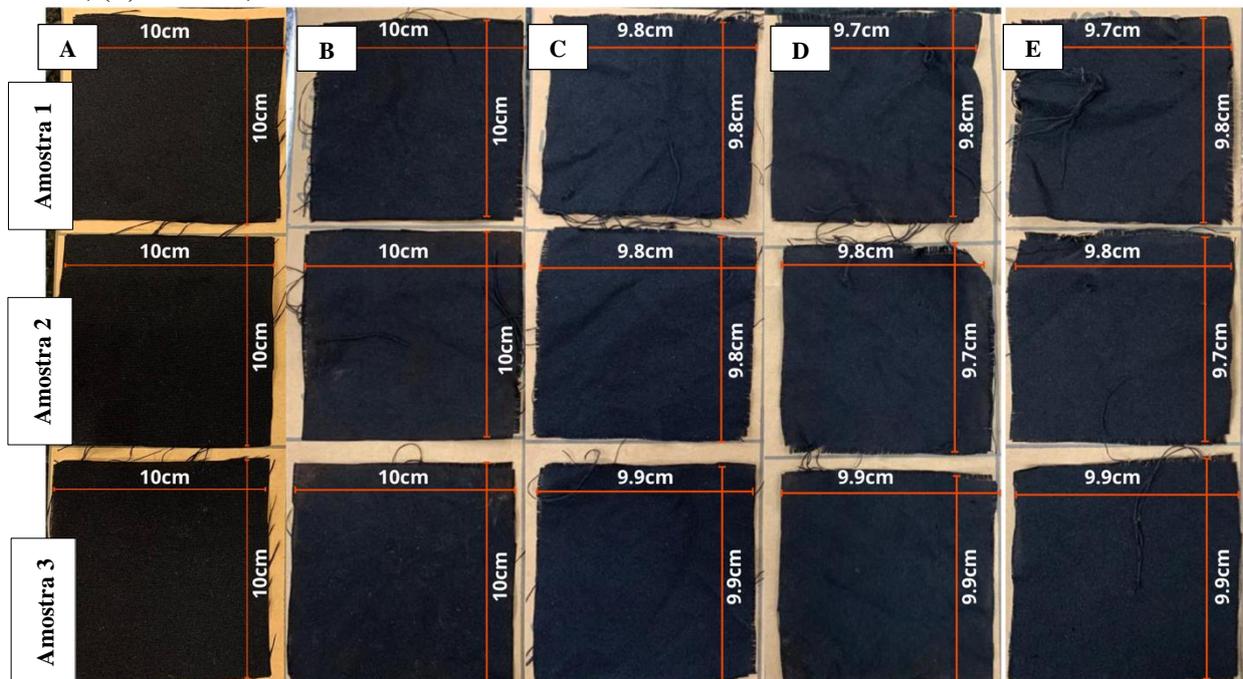
5.3.1 Tecidos Convencionais

Após avaliar os resultados dos tecidos e não tecidos impressos em 3D, em relação ao seu comportamento no solo por meio de dados estáticos, também foi realizado um comparativo visual, a fim de analisar o comportamento da estrutura das amostras ao longo do experimento.

A análise visual foi realizada em amostras de tecido plano e malha, em três composições diferentes, sendo: 100% algodão, 100% poliéster, e a mistura das fibras, 50% algodão 50% poliéster. O intuito da análise foi de comparar a degradabilidade por meio de imagens, dos tecidos convencionais com os não tecidos impressos em 3D.

As Figuras na sequência de 17 a 19 a seguir, apresentam o processo de degradação das amostras de tecido ao longo do período de 30, 60, 90 e 120 dias, para as amostras de tecidos planos com composição 100% poliéster, 100% algodão e 50% algodão e 50% poliéster, respectivamente.

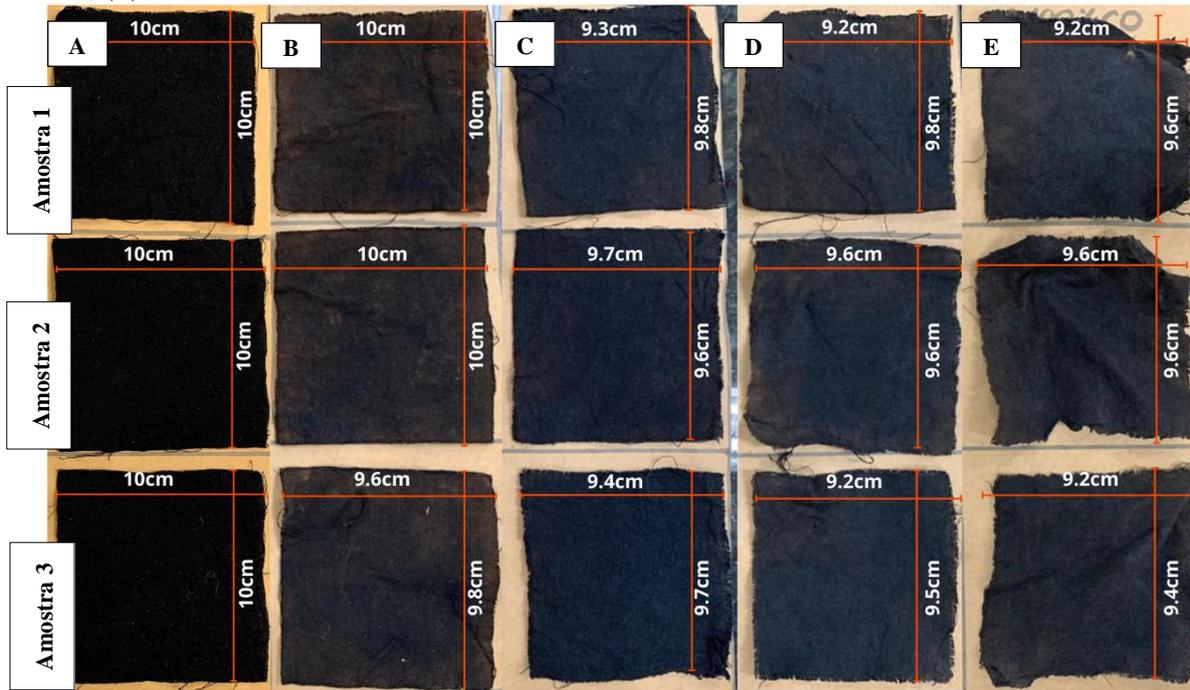
Figura 17 - Degradação do tecido plano 100% poliéster (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias;



Fonte: Autora (2020).

Na Figura 17 é possível observar que ao longo do experimento houve uma redução gradativa nas medidas de altura e largura das amostras, em especial na amostra 1. As demais amostras também apresentaram uma redução, porém com pouca diferença identificado na amostra 3. Isso pode ser justificado devido apenas um lado do recipiente ficar exposto ao sol, e pelo posicionamento das amostras dentro do recipiente, pois as amostras sempre que retiradas do solo eram enterradas no mesmo local do recipiente.

Figura 18 - Degradação do tecido plano 100% algodão - (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias

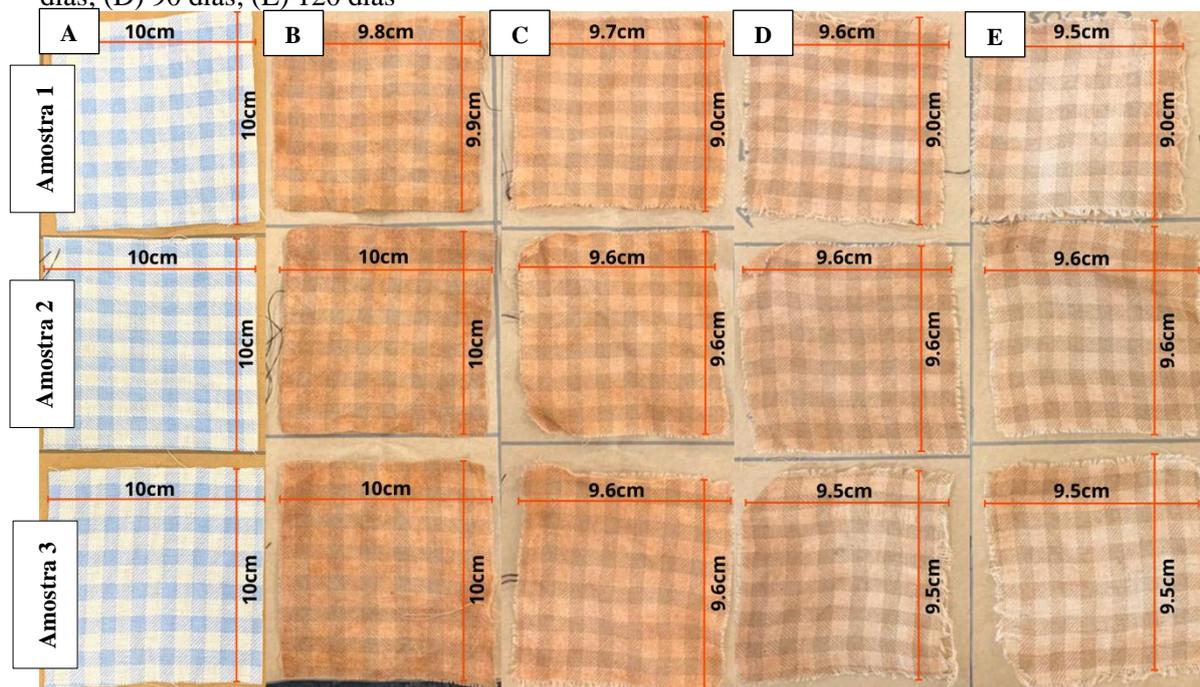


Fonte: Autora (2020).

A Figura 18 apresenta o processo de degradação das amostras de tecido plano 100% algodão ao longo do experimento. É possível verificar a redução das medidas da área do tecido, onde, na amostra 1 e 3 houve uma redução alta na medida de largura no dia 60 e dia 30 respectivamente. Após ambos os períodos, houve a perda de 1cm para a largura das amostras 1 e 2, e na amostra 3 a perda foi de 2cm do período de 60 ao de 90 dias mantendo-se estável até o final do período.

Conforme apresentado nas imagens, os tecidos apresentaram as estruturas amassadas o que pode ter influenciado nas medidas da sua extensão. Além disso, outro fator que influencia nessa redução é a estrutura do tecido começar a se desfibrar.

Figura 19 - Degradação do tecido plano 50% algodão 50% poliéster - (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

A Figura 19 é possível visualizar modificações significativas na estrutura das amostras, podendo citar aspectos como a perda de cor, aspecto amassado, e desfibramento das amostras. Em relação a perda de medidas, a amostra 3 apresentou uma perda de 0,5cm na largura no dia 90, mantendo-se estável até o final do experimento. Nas medidas de altura, a amostra 1 no dia 60 apresentou uma perda de 1cm em relação a medida da área inicial, mantendo-se estável até o final do experimento. Por fim, a amostra 2, apresentou uma perda de 0,4cm na largura e na altura no dia 60 mantendo-se sem alteração até o final do estudo.

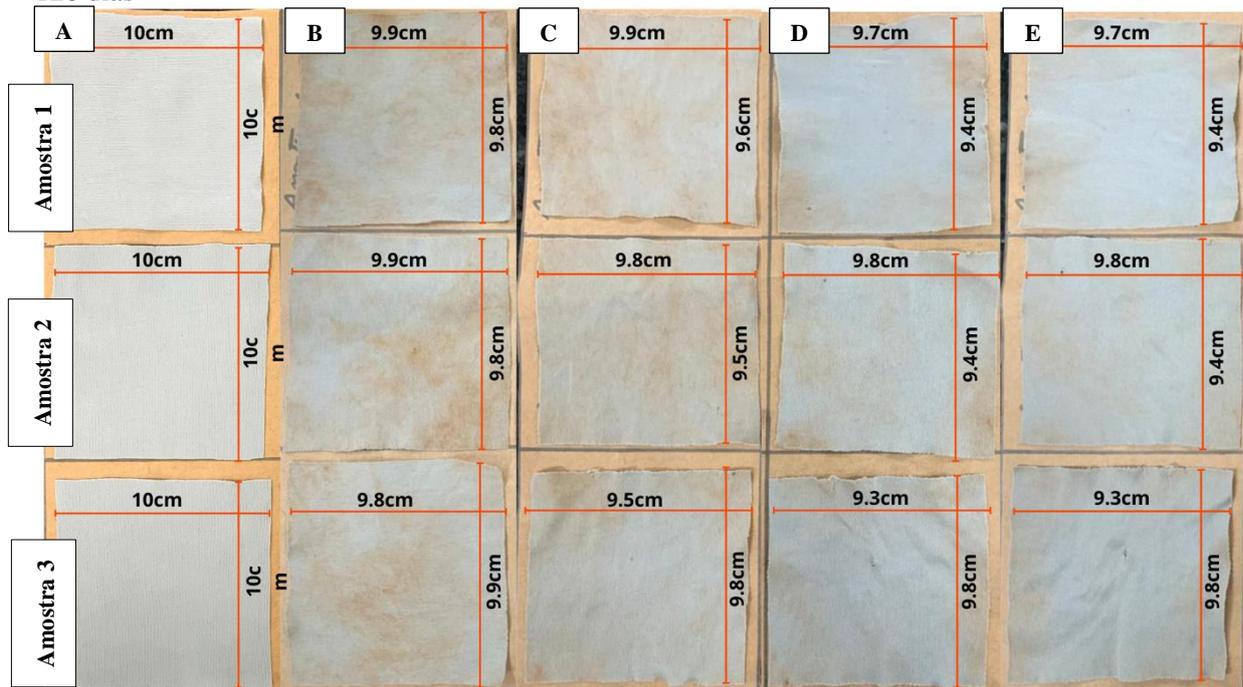
Após analisar os registros das amostras submetidas ao teste de degradabilidade em ambiente incontrolável, é possível observar a olho nu, tanto na composição 100% poliéster (Figura 17) quanto na mistura com a fibra de algodão (Figura 19).

Quanto ao processo de degradação dos tecidos planos de fibra 100% algodão (Figura 18), embora seja de fibra celulósica, visualmente a olho nu, não houve resultado significativo na degradação do tecido. Em contrapartida, as amostras de tecido plano com composição 50% algodão e 50% poliéster, apresentaram um resultado visível na degradação comparado as amostras de tecido 100% algodão, destacando aspectos como, perda de cor, instabilidade na estrutura e desfibramento das amostras.

A análise visual das amostras também foi realizada nos tecidos em malha, para que fosse possível comparar as estruturas de construção dos tecidos (plano e malha) no processo de degradação.

Na sequência, as Figuras 20 a 23 apontam os registros de degradabilidade das amostras de tecidos de malha com composição de 100% poliéster, 100% algodão e 50% algodão e 50% poliéster, durante o experimento nos períodos de 30, 60, 90 e 120 dias, respectivamente.

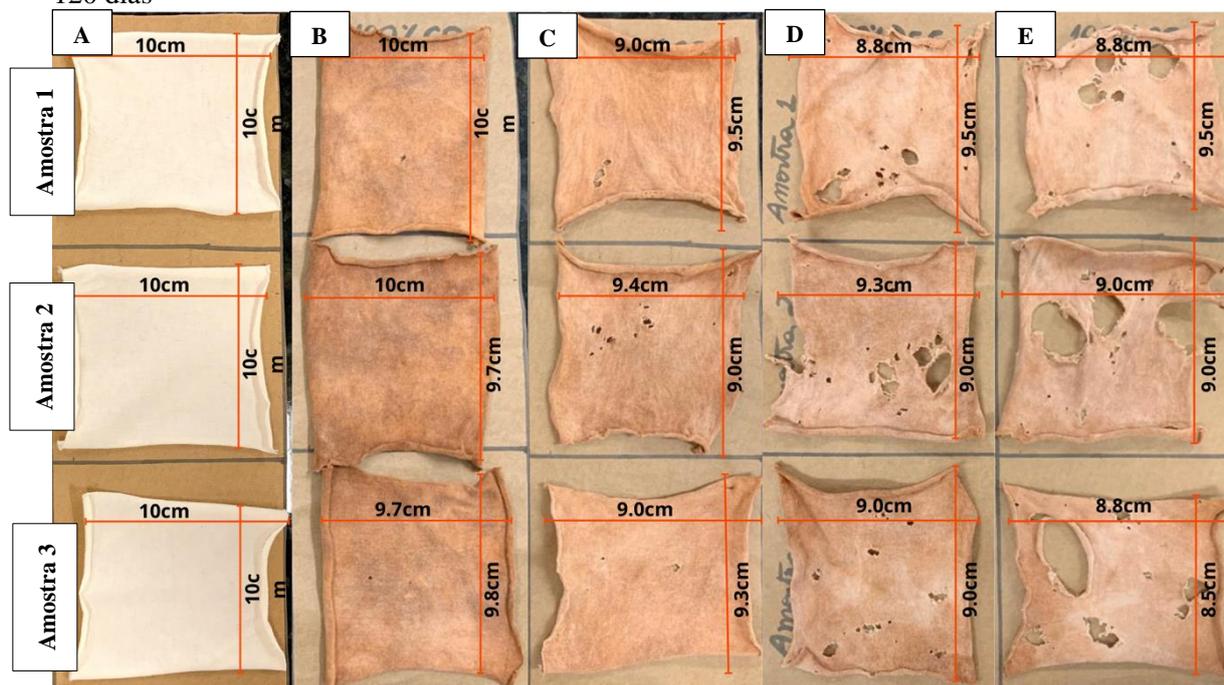
Figura 20 - Degradação da malha 100% poliéster (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

Durante o experimento, a partir de 60 dias, a amostra 3 apresentou uma redução de 5cm da medida de largura inicial, reduzindo posteriormente para 2 cm e mantendo-se estável até o final do experimento (FIGURA 20). Nas medidas de altura, as amostras 1 e 2 também apresentaram uma redução significativa aos 60 dias, sendo 4cm e 5cm respectivamente, mantendo uma perda estável de 2cm para aos 90 dias na amostra 1, e 1 cm para amostra 2 até o final do experimento.

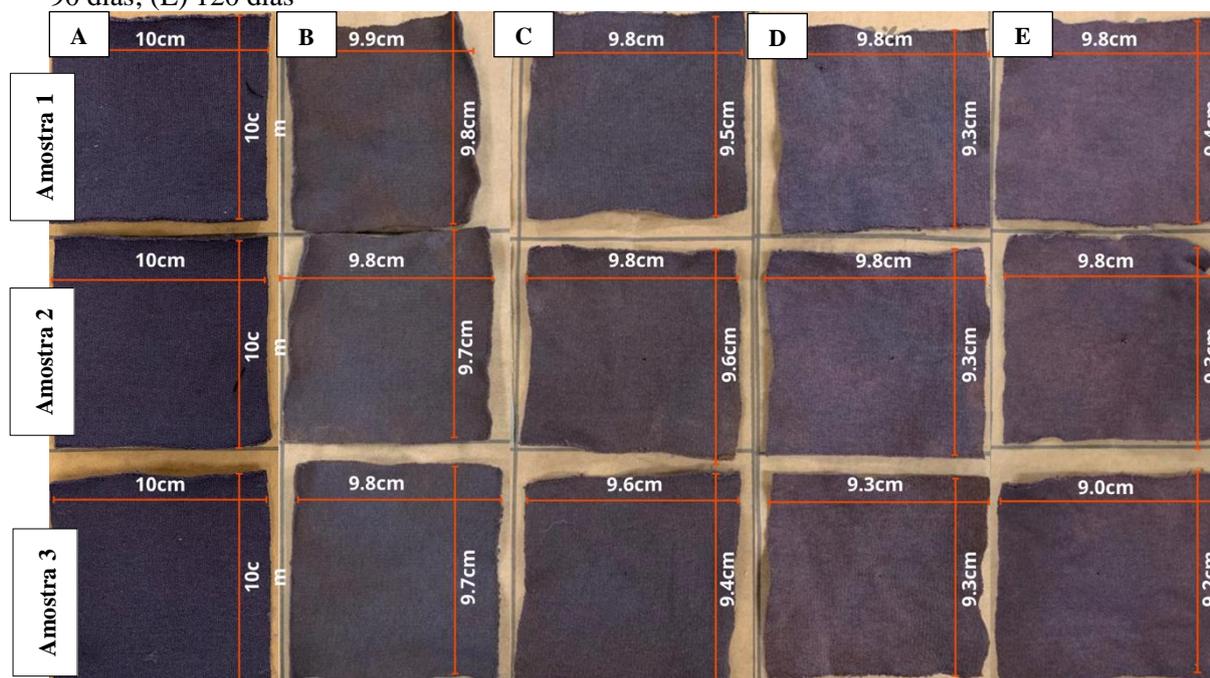
Figura 21 - Degradação da malha 100% algodão (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

As amostras de tecido de malha 100% algodão apresentaram modificações significativas em sua estrutura a partir do período de 60 dias, podendo ser identificadas as distorções na altura e largura, e os rasgos ao longo de sua extensão (FIGURA 21). É possível observar que as amostras 1 e 3 aos 60 dias, tiveram uma redução de 1cm na medida de largura, respectivamente. As amostras voltaram a apresentar uma perda de 1,2cm (amostra 1) no período de 90 dias, mantendo-se estável até o final do experimento, e para amostra 3 houve perda apenas no final do experimento, correspondendo também a 1,2cm da medida aferida aos 60 dias.

Figura 22 - Degradação da malha 50% algodão 50% poliéster - (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

Por fim, no terceiro grupo analisado, Figura 22, foi possível observar a maior perda de área na largura do tecido ocorreu na amostra 3, ao final do experimento correspondendo a 1cm. O mesmo aconteceu na altura, apresentando 0,8cm de redução comparado a medida inicial.

O comportamento da amostra 2 ao longo do experimento foi estável, apresentando uma perda de 0,2 cm na largura no dia 30 mantendo a medida até o final do estudo, havendo oscilação nas medidas de altura, perdendo 0,4cm aos 60 dias e manteve a perda de 0,3cm até o final do experimento. Por fim, a amostra 1 apresentou um ganho de massa ao final do experimento, que pode ser justificado pela presença de partículas do solo na amostra.

Diante disso, pode-se afirmar que ao final do experimento, as amostras de tecido apresentaram diferenças em suas estruturas físicas, com rasgos e com a perda de cor. Cabe destacar que o tecido que melhor apresentou as ações da degradabilidade foi a malha 100% algodão, justificada pelo estado físico da malha aos 120 dias, no qual apresentou rasgos e encolhimento em sua estrutura (FIGURA 21).

Diante disso, é possível afirmar que o comportamento dos tecidos a base de celulose, no caso dos tecidos de algodão (plano e malha), conforme afirma Harbs et al. (2018), apresentaram uma diferença visual significativa quando comparado aos tecidos de poliéster em seu estado inicial.

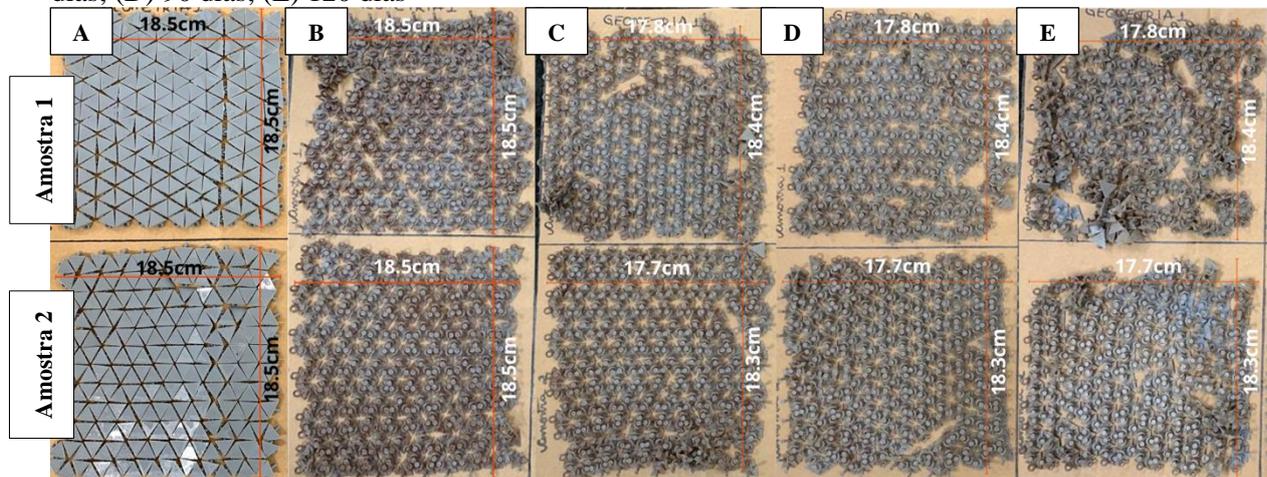
Fato este, devido ao processo de fabricação têxtil em sua maioria, ser advindo de fibras sintéticas, no caso das fibras de poliéster. Assim o tempo para degradação é maior, comprovando uma poluição ambiental, atrelado a sua fonte de matéria prima e ao fato da produção de fibras de poliéster segundo estudos de Barbosa et al. (2016), apresentar um grande consumo de energia, advindo de fontes naturais.

5.3.2 Análise Visual dos Não Tecidos Impressos em 3D

Considerando que cada amostra analisada apresenta estrutura e composição diferentes, seja pela matéria prima (PLA rígido e flexível), e com relação às três geometrias utilizadas para impressão, tem-se que as degradações das amostras ao longo do experimento foram satisfatórias.

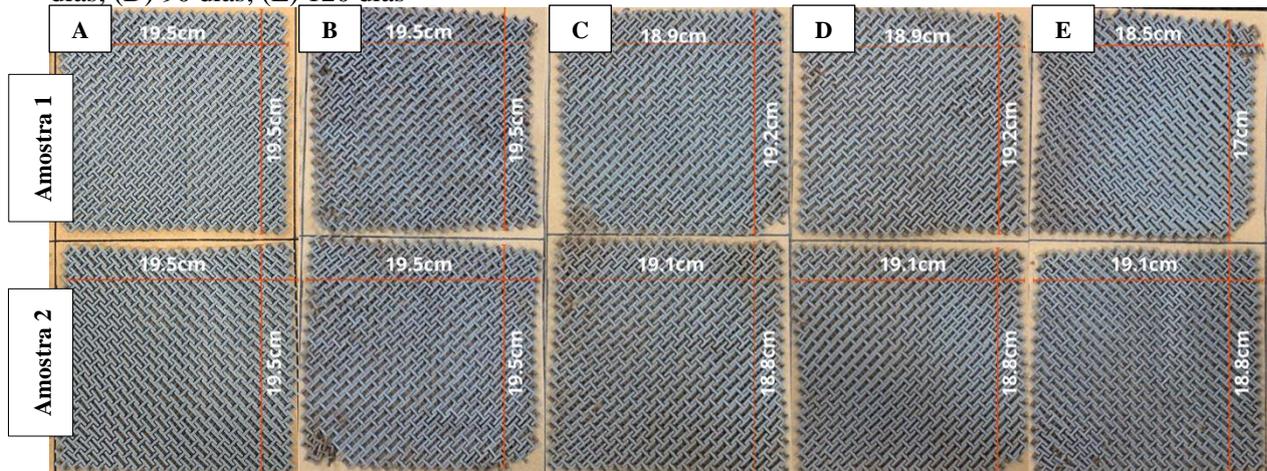
As geometrias 1, 2 e 3 nas Figuras 23, 24 e 25, respectivamente, apresentam o processo de degradação das amostras impressas em PLA rígido ao longo dos períodos de 30, 60, 90 e 120 dias.

Figura 23 - Degradação do não tecido impresso em PLA rígido GEO 1 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



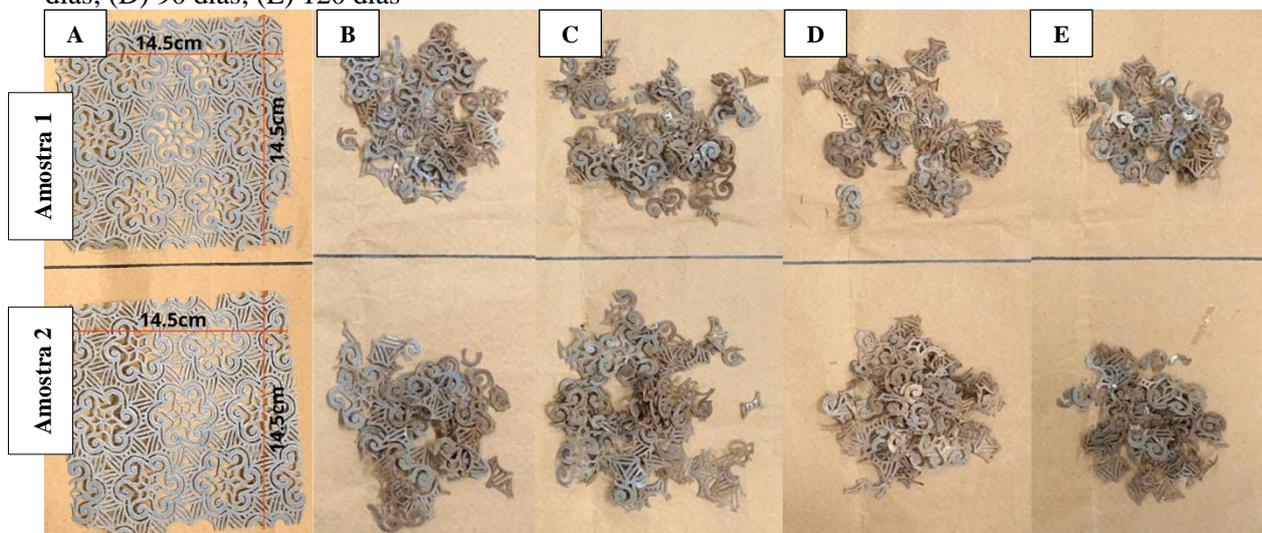
Fonte: Autora (2020).

Figura 24 - Degradação do não tecido impresso em PLA rígido GEO 2 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

Figura 25 - Degradação do não tecido impresso em PLA rígido GEO 3 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

Ao analisar os registros realizados ao longo do período observa-se a presença de solo nas amostras, e o rompimento dos elos que une a geometria formando o não tecido. Portanto, pode-se afirmar que o peso do solo, devido ao soterramento das amostras e o processo de degradação em si, contribuiu para que isso ocorresse.

Quanto ao processo de degradação da geometria 2, também impressa em PLA rígido, é possível identificar por meio da análise visual das amostras, que a degradação foi menor devido ao fato de não apresentar modificações na estrutura das amostras (FIGURA 24).

O resultado apresentado aos 120 dias, pode ser justificado pela estrutura da geometria mais fechada, que resulta em um preenchimento maior de camadas do filamento PLA, resultando em um maior tempo de degradação.

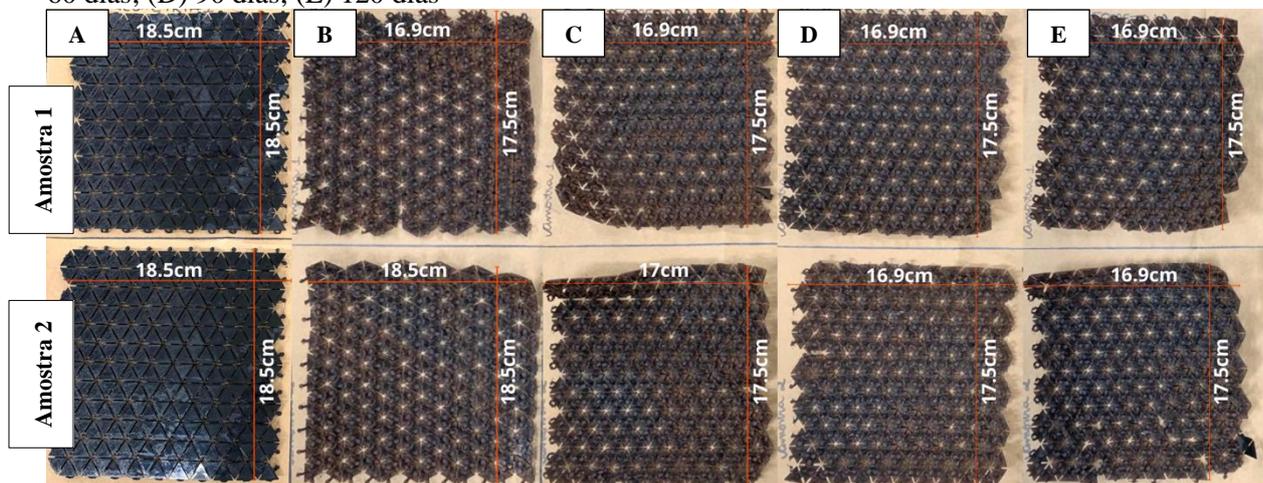
Dentre as três geometrias impressas em PLA rígido, a geometria 3 (FIGURA 25), apresentou uma maior degradação visual. É possível afirmar que a espessura na qual a malha foi impressa, contribuiu para sua fragilidade, fazendo com que no primeiro período (30 dias), sua estrutura se rompesse durante o soterramento.

Embora visualmente a degradação ocorreu de forma rápida, outros fatores, como a massa e a área, devem ser considerados, pois pode ter ocorrido a perda das partes das amostras no solo.

Já para as amostras impressas em PLA flexível, foi possível visualizar uma degradação visual mais lenta, nas quais não houve nenhum “dano” visível. Porém, ao analisar os dados quanto a perda de massa e área, estas apresentaram uma menor perda em algumas geometrias comparado ao PLA rígido.

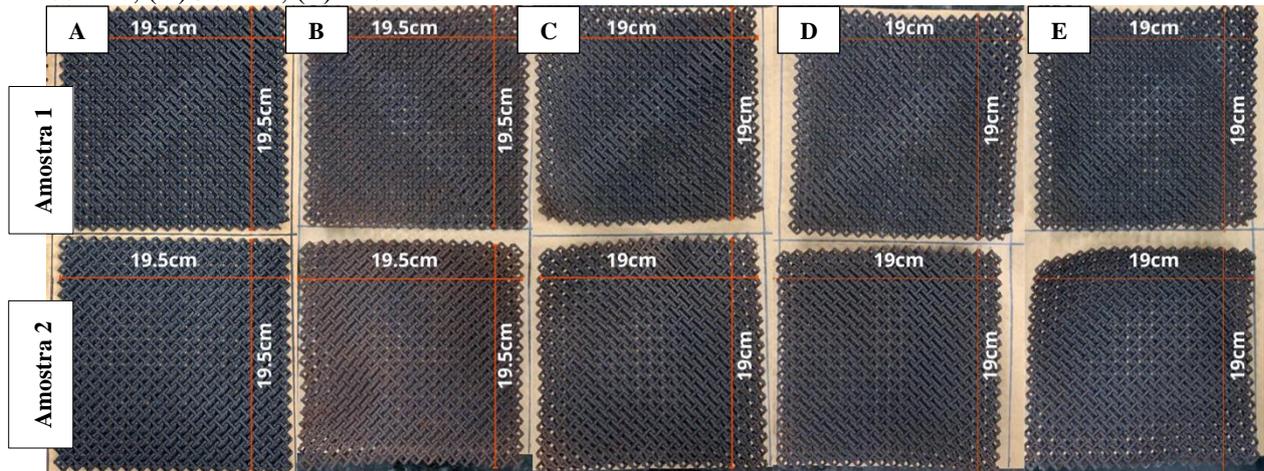
As Figuras 26, 27 e 28 apresentam a degradação das amostras de PLA flexível ao longo dos períodos de 30, 60, 90 e 120 dias, para as geometrias 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 26 - Degradação do não tecido impresso em PLA flexível GEO 1 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



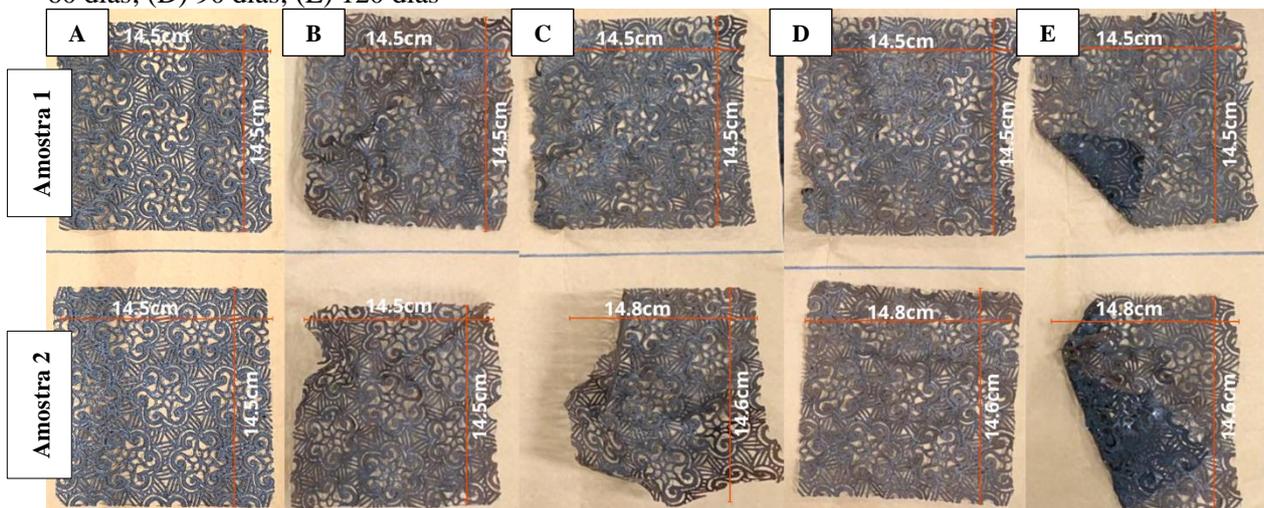
Fonte: Autora (2020).

Figura 27 - Degradação do não tecido impresso em PLA flexível GEO 2 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

Figura 28 - Degradação do não tecido impresso em PLA flexível GEO 3 (A) 0 dias; (B) 30 dias; (C) 60 dias; (D) 90 dias; (E) 120 dias



Fonte: Autora (2020).

Ao visualizar as imagens realizadas ao longo dos períodos, percebe-se que mesmo removendo o solo das amostras, ainda há resquícios dele. Esse residual de solo enrijeceu as amostras, e as deixou com a estrutura torta e amassada podendo influenciar o processo de análise da degradação, por não possibilitar a aferição precisa das medidas de extensão.

As amostras impressas na geometria 2, tanto em PLA flexível quanto rígido, apresentaram menor degradação visual (Figura 27).

O resultado visual apresentado aos 120 dias, para a geometria 2 pode ser justificado pela estrutura da geometria mais fechada, que resulta em um preenchimento maior de camadas do filamento PLA, fazendo com que demore mais tempo para se degradar.

Comparando as três geometrias impressas em PLA flexível, a geometria 3 foi a que apresentou maior deformidade nas amostras ao longo do experimento (FIGURA 28).

Assim como nas demais amostras, percebe-se uma diferença em relação a degradabilidade, do primeiro (dia 0), ao último dia (dia 120), embora seja uma amostra impressa numa espessura mais fina, apresentou uma degradação lenta.

Considerando que cada grupo de amostras é composto por tecidos com estruturas e composições diferentes, pode-se afirmar que os resultados obtidos nos tecidos convencionais com composição de fibra natural, são mais satisfatórios quanto ao aspecto visual de degradação quando comparado aos não tecidos impressos em 3D, uma vez em que apenas duas das geometrias apresentaram resultados visíveis de degradação.

Isso pode ser devido ao maior tempo de vida útil dos plásticos, neste caso o poliéster, oriundo de um polímero termoplástico formado pela reação entre o ácido tereftálico e o monoetilenoglicol, oriundos de material de origem sintética.

5.4 TESTE DE DRAPEABILIDADE

Para o desenvolvimento desse teste foi utilizada a metodologia apresentada na Figura 13, apresentada na Seção 4.4 que possibilita e explica os procedimentos adotados na execução do teste.

O instrumento graduador do método Brehm (2014) possibilitou a graduação dos tecidos em diferentes configurações, sendo a profundidade da dobra, por meio da altura do caimento (aferido na aba graduadora). Além de ser possível registrar as características do caimento dos tecidos por meio do grau da altura do caimento, e observar que a gramatura dos tecidos e não tecidos influencia diretamente no caimento por meio uma análise visual comparativa dos resultados.

Os valores correspondentes ao grau de caimento na altura e na largura das amostras submetidas ao teste foram definidos em centímetros e apresentados no Quadro 9. É possível analisar as características do caimento dos tecidos ocasionados pelo tipo de construção: malha, plano e as geometrias.

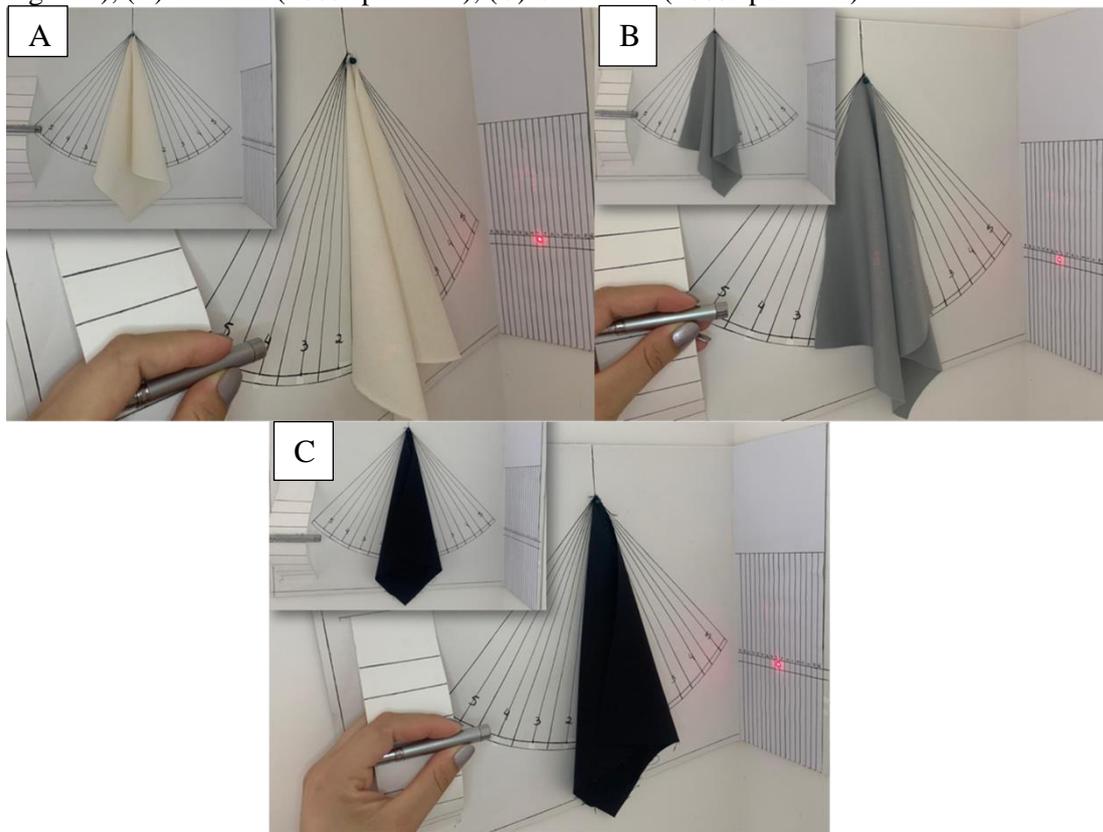
Quadro 9 - Valores em centímetros das graduações de largura e altura.

Grupo	Amostra (tecido)	Grau de largura (cm)	Grau de altura (cm)
1	(A) Malha confort (100% algodão)	$2 \frac{3}{4} = 20$ e 22	I = 4,5
	(B) Helanca (100% poliéster)	$2 \frac{1}{2} = 18$ e 20	
	(C) Oxfordine (100% poliéster)	$2 \frac{3}{4} = 20$ e 22	
2	(A) Tricoline (100% algodão)	$2 \frac{1}{2} = 18$ e 20	M = 6
	(B) Tricoline mista (50% algodão 50% poliéster)	4 = 30 e 32	O = 7
	(C) Moletom peluciado (50% algodão 50%)	$2 \frac{1}{2} = 18$ e 20	P = 7,5
3	(A) Geometria 2 – PLA flexível	5 = 38 e 40	D = 2
	(B) Geometria 2 – PLA rígido	$4 \frac{1}{2} = 34$ e 36	G = 3,5
	(C) Geometria 1 – PLA rígido	4 = 30 e 32	J = 5
4	(A) Geometria 1 – PLA flexível	5 = 38 e 40	A = 0,5
	(B) Geometria 3 – PLA flexível		
	(C) Geometria 3 – PLA rígido	$4 \frac{3}{4} = 36$ e 38	

Fonte: Autora (2020).

As medidas obtidas no aparelho graduador indicam que os tecidos (A) e (B) (Grupo 1), apresentam um caimento mais fluído e propenso a formação de dobras. Ambos são tecidos de malha, e apresentam um caimento semelhante visualmente e no aparelho graduador, embora sejam tecidos de malha, eles apresentam composições diferentes. Contudo, o tecido (C) exibe um caimento mais armado e sem definição de dobras que pode ser justificado pelo tipo de construção do tecido plano, tela 1x1. (FIGURA 29).

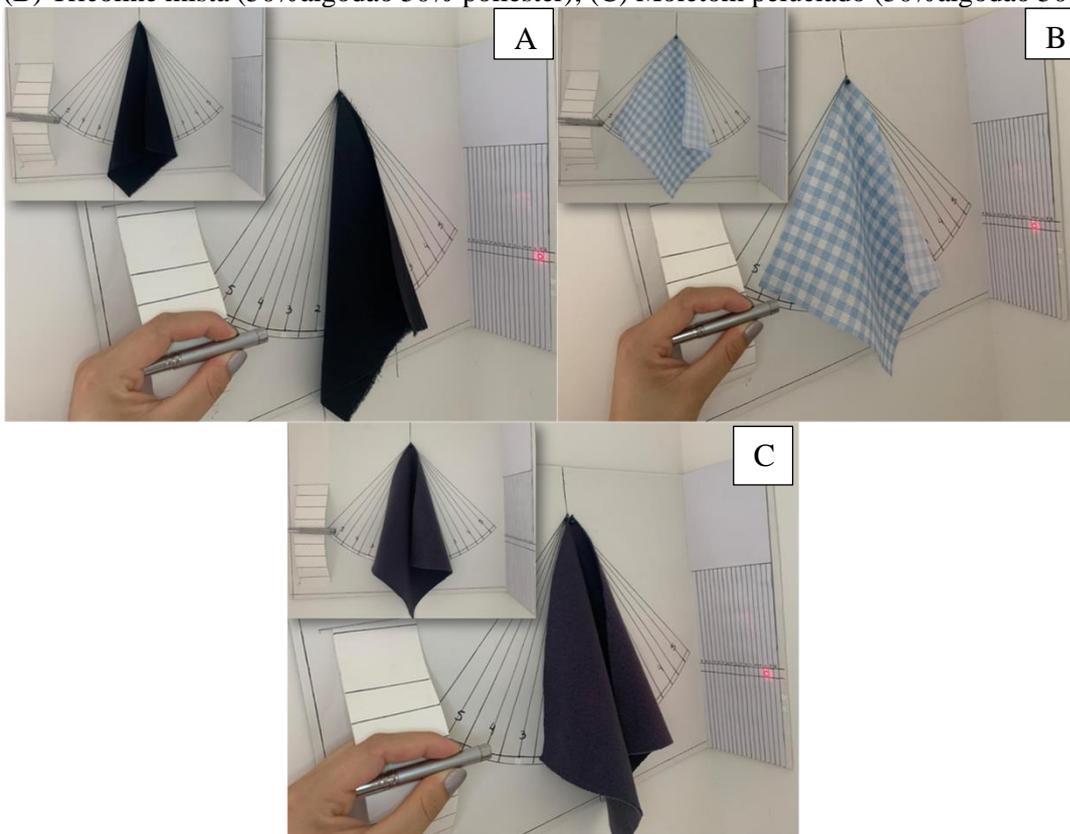
Figura 29 - Graduação do caimento grupo 1 (malha e tecido plano) – (A) Malha confort (100% algodão), (B) Helanca (100% poliéster), (C) Oxfordine (100% poliéster)



Fonte: Autora (2020).

No entanto, ao analisar os tecidos do Grupo 2 na Figura 30, os resultados obtidos na aba graduadora apresentaram um comportamento diferente aos do Grupo 1 (Figura 29), em que oscilaram em uma escala gradual, na medida de altura do caimento. Já o tecido (B) do Grupo 2, apresentou diferença no grau de largura do caimento, que pode ser observado pela dobra mais aberta, na Figura 30 (B).

Figura 30 - Graduação do caimento grupo 2 (tecido plano e malha) – (A) Tricoline (100% algodão); (B) Tricoline mista (50% algodão 50% poliéster); (C) Moletom peluciado (50% algodão 50% poliéster)



Fonte: Autora (2020).

Os registros apresentados acima indicam que os tecidos (A) e (B) da Figura 30 apresentam um caimento mais armado sem definição de dobra, e o tecido (C) um caimento mais compacto e com formação de dobra. Isso demonstra que os tecidos apresentam um registro de altura em grau de dobras fundas, devido ao valor em centímetros resultante da aba graduadora.

Esses dados possibilitam o entendimento de que os tecidos apresentados na Figura 29 (A) e (B) e na Figura 30 (A) e (C), tendem a apresentar um caimento mais próximo ao corpo, resultando em produtos menos armados. Diferente das demais amostras, que se utilizadas na confecção de produtos do vestuário podem resultar em produtos com caimento mais rígido, e configure uma silhueta geométrica com contornos mais nítidos (PALMIERI; RODRIGUES; SOUZA, 2017).

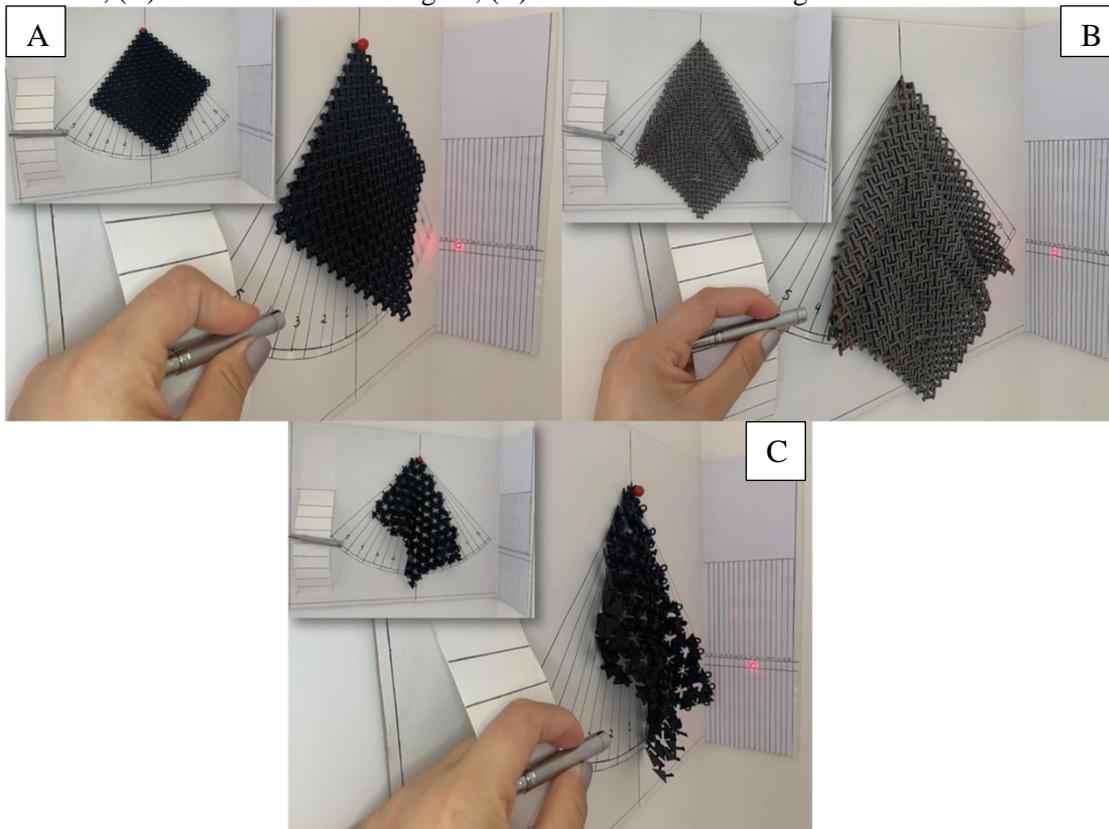
Além disso, os caimentos apresentados nas Figuras 29 e 30, possuem essas configurações devido ao aspecto físico do tecido, que quando pendurados no ângulo de 45° e sob ação do próprio peso, tende a formar dobras indefinidas e abertas em tecidos mais leves e planos, enquanto nas malhas com gramatura mais pesadas são propensas a formação de dobras de forma fechada (BREHM, 2011); (ALDRICH, 2013).

Os dados da drapeabilidade do tecido possibilitam uma melhor definição do designer no momento da escolha do tecido para confecção de um produto do vestuário, sendo sua responsabilidade optar pelo corte mais apropriado - fio reto ou viés - para obter o resultado esperado no produto. Além disso, ao visualizar o caimento do tecido, antes mesmo dele ser cortado possibilita maior assertividade na confecção do produto, além de evitar o desperdício de tempo e matéria-prima, no desenvolvimento de muitos protótipos até que se obtenha o aspecto desejado (PALMIERI; RODRIGUES; SOUZA, 2017).

Ao realizar a análise de drapeabilidade dos não tecidos impressos em 3D (Grupo 3 e 4), nota-se uma característica própria para cada geometria e o filamento PLA utilizados na impressão, sendo eles flexíveis ou rígidos.

Os não tecidos impressos em PLA flexível (A) e PLA rígido (B e C), demonstraram um grau de caimento satisfatório quando comparado aos tecidos convencionais dos Grupos 1 e 2 (FIGURA 29 e 30).

Figura 31 - Graduação do caimento grupo 3 (não tecido impresso em 3D) – (A) Geometria 2 – PLA Flexível; (B) Geometria 2 – PLA rígido; (C) Geometria 1 – PLA rígido



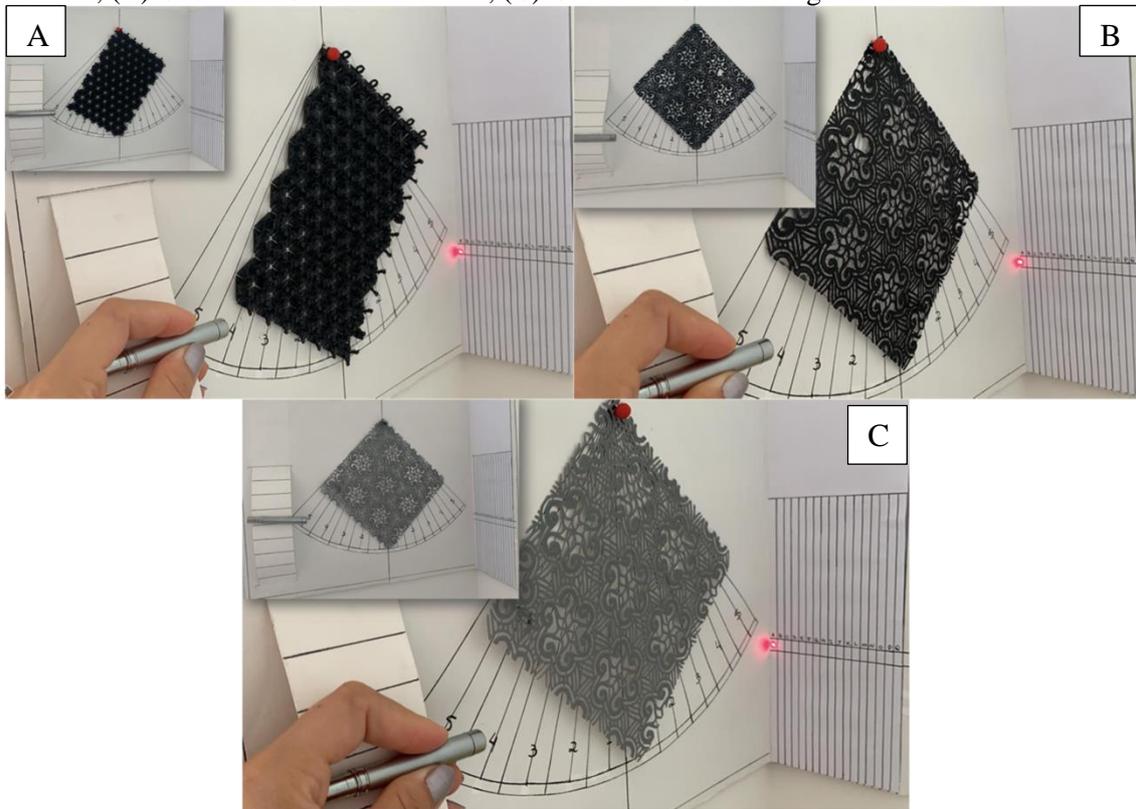
Fonte: Autora (2020).

O grau obtido nos não tecidos apresentados na Figura 31 (B) e (C) apresentam um caimento propenso a formação de dobras, já o não tecido (A), possui um caimento estático e sem dobras. Isso pode ser justificado pela configuração da impressora durante a impressão e ao tipo de filamento utilizado (PLA flexível), pois a mesma geometria impressa em PLA rígido apresentada na Figura 31 (B) apresentou formação de dobra.

Considerando o peso, a geometria e o material de composição dos não tecidos, pode-se afirmar que essas características contribuem para o caimento mais aberto, em relação ao grau de largura, quando comparado aos tecidos apresentados no Grupo 1 e 2 caimentos (SOUZA, ROBERTO, ANTUNES, 2016).

Contudo, ao analisar os não tecidos impressos em 3D do grupo 4, o resultado obtido difere-se das amostras do grupo 3, também impressos em 3D devido as geometrias utilizadas na impressão. Percebe-se que para a amostra (A), embora tenha sido impressa em PLA flexível e com uma geometria de módulos articuláveis. Acredita-se que as configurações de impressão ou o filamento tenham comprometido o seu caimento, uma vez em que na Figura 38 (C) a mesma geometria impressa PLA rígido, apresentou caimento devido a mobilidade obtida na peça final. Já para as amostras (B) e (C) impressas na geometria 3 o resultado foi de um tecido fino/leve podendo ser comparado ao tecido de organza (FIGURA 32).

Figura 32 - Graduação do caimento grupo 4 (não tecido impresso em 3D) – (A) Geometria 1 – PLA flexível; (B) Geometria 3 – PLA flexível; (C) Geometria 3 – PLA rígido



Fonte: Autora (2020).

Esse resultado demonstra que os não tecidos impressos em camadas mais finas e sem elos tende a apresentar um caimento semelhante aos tecidos planos, apresentados nos Grupos 1 e 2. Segundo Brehm (2011) e Aldrich (2013), esses valores demonstram que os tecidos A, B e C apresentam um caimento aberto e armado, sem a formação de dobras, podendo estar relacionado as características como matéria prima e peso. Com isso a aplicação desses tecidos em produtos do vestuário pode proporcionar caimentos mais armados, longe do corpo (PALMIERI; RODRIGUES; SOUZA, 2017).

Importante salientar que os não tecidos do Grupo 4, em sua totalidade, apresentaram o mesmo grau na medida de altura do caimento, não chegando ao grau “A”. Além disso, cabe ressaltar que não houve diferença no caimento entre o filamento de PLA ser flexível ou rígido. De modo a justificar que o fator que define a flexibilidade e caimento do não tecido, não é a matéria prima, mas a geometria. A Figura 31 (B) e (C) apresenta duas geometrias em módulos articuláveis geometria 1 e 2, que visualmente apresentam o caimento próximo a um tecido convencional devido a mobilidade oferecida pelos módulos.

A partir dos resultados obtidos é possível observar que a gramatura e o tipo de construção do tecido, plano ou malha, assim como a geometria, influenciam no índice de caída e de drapeabilidade, resultando em percepções visuais diferentes, em relação ao caimento (PALMIERI; RODRIGUES; SOUZA, 2017); (SOUZA, ROBERTO, ANTUNES, 2016).

Além disso, o caimento possui relação direta com o peso, ou seja, quanto maior o peso, mais estruturado é o caimento do não tecido, e quanto menor o peso, o cair tende a ficar estático e sem a formação de dobras (BREHM, 2011); (ALDRICH, 2013).

Esse efeito obtido pelo caimento, seja pela fluidez e leveza dos tecidos delicados ou da rigidez e armação dos tecidos mais pesado, é o que diferencia o corte e a modelagem do produto. Uma vez em que o ângulo de corte do tecido, fio reto ou viés, proporciona elasticidade mesmo que ele não tenha essa característica, que é o caso dos tecidos planos (MARIANO, 2011).

Já para os não tecidos impressos em 3D, o tamanho dos módulos que compõem a geometria e a articulação presente neles é o que possibilita o caimento e a maleabilidade, mesmo tendo sido impresso em filamento PLA flexível, é um material que não possui elasticidade e maleabilidade, exceto se utilizado na impressão de outras geometrias pode vir a apresentar as essas características desejadas para um produto do vestuário (SILVA, 2020).

Diante dos resultados obtidos por Brehm (2011), apresentados no Quadro 10, pode-se afirmar que os tecidos utilizados no estudo apresentaram resultados semelhantes.

Quadro 10 - Valores em centímetros das graduações de largura e altura

Tecido	Grau de largura (cm)	Grau de altura (cm)
Cetim	“1 ¼” = 8 e 10	“L” = 5,5
Musselina	“1 ¼” = 8 e 10 cm	“O” = 7
Organza	“4 ¼” = 32 e 34	“A” = entre zero e 0,5
Tafetá	“2” = 14 e 16	“Q” = 8cm
Zibeline	“5”	A” = entre zero e 0,5

Fonte: Adaptado de Brehm (2011).

Em relação ao grau de altura, as geometrias 1 e 3 impressas em PLA flexível e rígido, apresentaram o mesmo grau de altura (A) de caimento dos tecidos de organza e zibeline. Já a geometria 2 impressa em PLA flexível, apresentou o mesmo grau de largura (5) que o tecido de zibeline. E por fim, a tricoline mista (50% algodão e 50% poliéster) apresentou o mesmo grau de altura que a musselina.

Por fim, no estudo de Souza (2013) foram analisados tecidos 100% algodão e 100% poliéster que apresentassem alguma intervenção em sua superfície, a fim de analisar o comportamento do cair. Porém, os dados obtidos foram com base na norma AFNOR- G 07-109, que determina os procedimentos para a medição do cair, em que os tecidos são cortados círculos com 25 cm de diâmetro e submetidos ao comportamento do cair. A autora ainda afirma que é possível observar que a composição do tecido não foi um fator determinante para os resultados, mas sim o sentido do corte.

Nos estudos de Souza (2013), observou-se que as amostras cortadas no viés (ângulo de 45°) apresentam maior proximidade ao corpo vestido, ou seja, em relação a drapeabilidade apresentaram maior formação de dobras, e o oposto acontece para os tecidos cortados no sentido do fio reto, apresentando menor formação de dobras, deixando os tecidos mais retos.

Embora no presente estudo, as amostras não tenham sido cortadas no viés (ângulo de 45°), estas foram submetidas a essa angulação durante a execução do teste. Portanto, sugere-se para estudos futuros fazer uma análise comparativa das amostras cortadas no fio reto e no sentido do viés, a fim de comparar se haverá diferença no caimento. Sugere-se ainda a aplicação dos tecidos na confecção de produtos do vestuário para visualizar na prática como isso acontece, como proposto no estudo de Palmieri; Rodrigues; Souza (2017).

CONCLUSÃO

De acordo com os procedimentos de pesquisa realizados neste trabalho, o uso da impressão 3D levanta questões estéticas e de desenvolvimento de produto, não abordadas neste trabalho, que podem ser debatidas em trabalhos futuros. Conforme ilustrado na seção 4.1, as amostras impressas em 3D apresentaram um bom resultado estético, em que a superfície impressa embora não cubra totalmente o corpo e apresente o caimento esperado em algumas geometrias impressas.

A partir dos resultados obtidos é possível observar que o caimento do tecido pode sofrer influência da gramatura e construção do tecido (plano ou malha), sendo assim, quanto maior for a gramatura mais estruturado será o tecido, e o quanto menor, a sensação de leveza será evidenciada. Com isso, pode-se afirmar que a caída e o movimento da drapeabilidade, apresenta melhores resultados em tecidos mais leves e que sejam de malha. Já para os não tecidos, a geometria é o fator de principal influência na sua drapeabilidade, devido aos módulos que a compõe, que são responsáveis pela articulação presente nos não tecidos.

Embora tenha-se utilizado o PLA na versão flexível, buscando a maleabilidade do não tecido, houve uma dificuldade durante o processo de impressão, devido ao material dificultar a adesão as camadas durante o processo de deposição camada por camada, comprometendo a sua superfície e desempenho em relação ao caimento, estando relacionado ao tamanho e articulação das geometrias utilizadas.

A partir da experimentação, confirma-se que o PLA (flexível e rígido) pode ser submetido à degradação em solo, a uma velocidade razoável. Ainda, recomenda-se em estudos futuros o uso de outros métodos de degradação a fim de obter resultados mais satisfatórios em um intervalo de tempo maior que o período do estudo (120 dias), e em ambiente controlado.

REFERÊNCIAS

ALDRICH, Winifred. **Fabric, form and flat pattern cutting**. Wiley-Blackwell, 2013.

Disponível em:

https://books.google.com.br/books?id=zdISMWXOuNcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em 16 nov. 2019.

ANDRADE, Raquel Rabelo; BEZERRA, Fabricio Maestá; DA CRUZ LANDIM, Paula. Cadeia produtiva da moda: panorama e descrição. **Projética**, v. 6, n. 3, p. 87-104, 2016.

Disponível em:

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/projetica/article/viewFile/21353/23835>. Acesso em 19 nov. 2020.

AMORIM, Wadson Gomes; DIAS, Maria Regina Álvares Correia. Design de superfície têxtil: técnica de ensino de estruturas têxteis planas. **Educação Gráfica**, v. 21, n. 1, p. 146-158, 2017. Disponível em: <http://www.educacaografica.inf.br/artigos/design-de-superficie-textil-tecnica-de-ensino-de-estruturas-texteis-planas-textile-surface-design-teaching-technique-for-flat-textile-structures>. Acesso em 26 nov. 2019. ISSN 2179-7374.

ARMSTRONG, Cosette M. et al. Sistemas sustentáveis de serviços de produtos para vestuário: explorando as percepções dos consumidores sobre alternativas de consumo na Finlândia. **Journal of Cleaner production**, v. 97, p. 30-39, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.046>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614000596>. Acesso em 17 nov. 2019.

BARBOSA, Priscila Pasti; SANTOS, Vinicius Carrijo dos; MORAES, Katherine Kaneda; LONGO, Maria Tereza; RODRIGUES, Gilberto Junior. Análise do impacto ambiental de fibras têxteis naturais, sintéticas e artificiais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_236_373_30246.pdf. Acesso em 16 nov. 2020.

BENTAHAR, Omar; BENZIDIA, Smail. Sustainable supply chain management: Trends and challenges. **Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev.**, 119 (2018), pp. 202-204. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.05.005>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554518305234>. Acesso em 16 nov. 2020.

BLOOMFIELD, Mark; BORSTROCK, Shaun. Modeclix. The additively manufactured adaptable textile. **Materials Today Communications**, v. 16, p. 212-216, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.04.002>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492817301848>. Acesso em 23 nov. 2019.

BESKO, Marcos a; BILYK, Claudio b; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão Tecnologia e Inovação** v.01, p. 9-18, 2017. ISSN 2595-3370. Disponível em:

<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>. Acesso em 23 nov. 2019.

BREHM, Leda Maria. **Aparelho graduador de caimento de tecidos e método para graduação de tecidos**. Titular: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. BR 10 2012 023194-8 A2. Depósito: 14 set. 2012. Concessão: 02 dez. 2014. Int. CI. D06H 3/10, G01N 33/56. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/115881/000966169.pdf?sequence=1>. Acesso em 18 out. 2019.

BREHM, Leda Maria Stumpf. **Contribuição para classificação e descrição do caimento dos tecidos de seda 100% empregados em vestuário**. 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109766/000816173.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 14 marc. 2021.

CASTRO-AGUIRRE, Edgar; IÑIGUEZ-FRANCO, F.; SAMSUDIN, H.; FRANG, X.; AURAS, R. Poly (lactic acid) —Mass production, processing, industrial applications, and end of life. **Advanced drug delivery reviews**, v. 107, p. 333-366, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X16300965>. Acesso em 20 nov. 2019.

CAKIR, Sedef; AYCICEK, Muhammed; AKINCI, Akin. Investigation of the mechanical and physical properties of PLA produced by injection molding for matrix material of polymer composites. **Materials Science**, v. 2, n. 1, p. 1, 2018. DOI: 10.18063/msacm.v2i1.607. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/230064863.pdf>. Acesso em 20 nov. 2019.

COUTINHO, Marina; KAULING, Graziela Brunhari. Fast fashion e slow fashion: o paradoxo e a transição. **Revista Memorare**, v. 7, n. 3, p. 83-99, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/memorare.v7e3202083-99>. Disponível em: http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/memorare_grupep/article/view/10211/5495. Acesso em 22 set. 2020.

DA SILVA, Fernanda Larissa Lima; CALVÃO, Patrícia Schmid. Avaliação da biodegradação de compostos de PLA utilizando diferentes técnicas. In: VII SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, DIDÁTICA E DE AÇÕES SOCIAIS DA FEI, 7., 2017, São Bernardo do Campo. **Resumos [...]**. São Bernardo do Campo: FEI – Centro Universitário. Disponível em: https://fei.edu.br/sites/sicfei/2017/eng-materiais/SICFEI_2017_paper_81.pdf. Acesso em 22 dez. 2020.

DE MAN, Johannes Cornelis; STRANDHAGEN, Jan Ola. An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. **Procedia Cirp**, v. 63, p. 721-726, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.315>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117305036>. Acesso em 01 set 2019.

DE MACEDO, José RN; BARBOSA, Rennan FS; ROSA, Derval S. Macro, micro e nano compósitos de PLA: degradação biótica e abiótica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS – ÁGUAS DE LINDÓIA, 14º, 2010, ÁGUAS DE LINDÓIA. **Anais [...]** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Rennan_Barbosa/publication/339596109_MACRO_MICRO_E_NANO_COMPOSITOS_DE_PLA_DEGRADACAO_BIOTICA_E_ABIOTICA_MACRO_MICRO_AND_NANO_PLA_COMPOSITES_BIOTIC_AND_ABIOTIC_DEGRADATION/links/5e5abfda92851cefa1d1e2ee/MACRO-MICRO-E-NANO-COMPOSITOS-DE-PLA-DEGRADACAO-BIOTICA-E-ABIOTICA-MACRO-MICRO-AND-NANO-PLA-COMPOSITES-BIOTIC-AND-ABIOTIC-DEGRADATION.pdf. Acesso em 20 nov.2020.

DIDDI, Sonali; YAN, Ruoh-Nan; BLOODHART, Brittany; BAJTELSMIT, Vickie; McSHANE, Katie. Exploring young adult consumers' sustainable clothing consumption intention-behavior gap: A Behavioral Reasoning Theory perspective. **Sustainable Production and Consumption**, v. 18, p. 200-209, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.02.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352550919300028>. Acesso em: 22 dez 2020.

DILBEROGLU, Ugur M.; GHAREHPAGAH, Bahar; YAMAN, Ulas Yaman; DOLEN, Melik. The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v.11, p.545-554, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917303529#aep-article-footnote-id3>. Acesso em 05 out 2019.

DOMINONI, Annalisa; TEMPESTI, Aldo. **Forma e materia. Design e innovazione per il tessile italiano**. Maggioli Editore, 2012. Disponível em: <https://re.public.polimi.it/handle/11311/659840#.YA9vE-IKjpA>. Acesso em 01 set. 2019.

EROL, Selim; JÄGER, Andreas; HOLD, Philipp; OTTA, Karl; SIHN, Wilfried. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. **Procedia CIRP**, v. 54, p. 13-18, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116301500>. Acesso em 01 set. 2019.

FAHIM, I. S.; CHBIB, H.; MAHMOUD, Hamada Mohamed. The synthesis, production & economic feasibility of manufacturing PLA from agricultural waste. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 12, p. 100142, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100142>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554119300531?via%3Dihub>. Acesso em 18 nov. 2019.

FALANI, Leila Araújo; DE AGUIAR, Catia Rosana Lange; DAL FORNO, Ana Julia. Mapeamento da literatura sobre as tecnologias da indústria 4.0 no segmento têxtil brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 42437-42452, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-019>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12506/10676>. Acesso em 20 fev.2020.

FISCHER, Anette. **Fundamentos do Design de Moda: construção do vestuário**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

FLETCHER, K., 2016. **Craft of Use: Post Growth Fashion**. Routledge, Oxon. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt->

BR&lr=&id=ntCjCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=FLETCHER,+K.,+2016.+Craft+of+Use:+Post+Growth+Fashion.+Routledge,+Oxon.&ots=p35FbAq7N4&sig=lgNisAAhrjxbme_eUQJiLUi5TE#v=onepage&q=FLETCHER%2C%20K.%2C%202016.%20Craft%20of%20Use%20Post%20Growth%20Fashion.%20Routledge%2C%20Oxon.&f=false. Acesso em 22 jul. 2020.

FRANCIOSI, Chiara et al. Maintenance for sustainability in the industry 4.0 context: A scoping literature review. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 903-908, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-019>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12506/10676>. Acesso em: 25 jun. 2020.

GUIMARÃES, Júlia S.P.; PAGNAN, Caroline S.; SILVA, Mercês C. da; AYRES, Eliane. Filamentos de poli (ácido láctico) (PLA) para impressão 3d coloridos com colorante natural extraído da casca de laranja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS (15 CBPOL), 15, 2019. Bento Gonçalves. **Anais [...]** Bento Gonçalves: 2019. Disponível em: <http://e-democracia.com.br/cbpol/anais/2019/pdfs/plenary/4DNA.pdf>. Acesso em 20 dez. 2020.

GONÇALVES, Marília Matos; ALVES; Daniela Estaregue; ALVES, Cristiano; MARTINS Taynara Oliveira. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE UMA COLEÇÃO DE MODA SLOW FASHION. **MIX Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 19-32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v7.n1.19-32>. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4198/3480>. Acesso em 20 dez. 2020.

GUVENDIREN, Murat; MOLDE, Joseph; SOARES, Rosane M.D.; KOHN, Joachim. Designing biomaterials for 3D printing. **ACS biomaterials science & engineering**, v. 2, n. 10, p. 1679-1693, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.6b00121>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsbiomaterials.6b00121>. Acesso em 20 dez. 2020.

GÜRCÜM, Banu Hatice; BÖRKLÜ, Hüseyin Riza; SEZER, Kürşad; EREN, Oğulcan. Implementing 3D Printed Structures as the Newest Textile Form. **Jornal of Fashion Technol Textile Eng S4**: 019. of, v. 7, p. 2, 2018. DOI: 10.4172/2329-9568.S4-019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/1680/02b0e7373003a247065fce2c294a0bde6383.pdf>. Acesso em 18 nov. 2020.

HARBS, Aline Heloisa Rauh; BICALHO, Keyla Cristina; SILVA, Francisco Claudivan da; AGUIAR, Catia Rosana Lange de; Análise da degradação de fibras têxteis e desenvolvimento de alternativas biodegradáveis. *In*: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 9, 2018, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: Universidade de Brasília – Instituto Venturi para estudos ambientais. ISSN: 2527-1725. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/762>. Acesso em 10 dez. 2020.

HARBS, Aline Heloisa Rauh; RECHE, Maryelza Wollinger, BOEMO, Ana Paula S. I.; AGUIAR, Grazyella Cristina Oliveira de; AGUIAR, Catia Rosana Lange de; Degradação de resíduos de vestuário em solo e alternativas de reuso. *In*: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8, 2017, Porto Alegre. **Anais [...]** Porto Alegre: Universidade de

Brasília – Instituto Venturi para estudos ambientais. ISSN: 2527-1725. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/issue/view/2>. Acesso em 10 dez. 2020.

HAMOD, Haruna. Suitability of Recycled HDPE for 3D printing filament. 2015. **Degree Thesis – Degree Program**: Plastics Technology, Arcada University of Applied Science, Finlândia, 2015. Disponível em: <https://www.theseus.fi/handle/10024/86198>. Acesso em 01 set. 2019.

HANSSON, Tilda. **End-of-life scenarios for bioplastic food and drinking packages**. 2019. Disponível em: <https://stud.epsilon.slu.se/14164/>. Acesso em: 20 jul. 2020.

HOHKRAUT, U. Rapid Prototyping and Jewelry Design. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR AUTOMATION AND MANUFACTURING. 21 st. 2010. **Anais... DAAAM**, Zadar: Danube Adria (DAAAM). 2010. p. 2. ISSN 1726-9679; ISBN 978-3-901509-73-5. Disponível em: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2010/24978_annals_1_he ad.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

HOLMSTRÖM, Jan; HOLWEG, Matthias; KHAJAVI, Siavash H.; PARTANEN, Jouni. The direct digital manufacturing (r) evolution: definition of a research agenda. **Operations Management Research**, v. 9, n. 1-2, p. 1-10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12063-016-0106-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-016-0106-z>. Acesso em 01 set. 2019.

HORNBURG, Lais Estefani; et al. Tecnologia de Impressão 3D com Polímeros Biodegradáveis para Fabricação de Têxteis. *In*: Na estante da moda 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Luciana da Silva Bertoso. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. (p.388) – (p.416). Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/13066>. Acesso em: 14 marc. 2021.

HUNT, Emily J.; ZHANG, Chenlong; ANZALONE, Nick; PEARCE, Joshua M. Polymer recycling codes for distributed manufacturing with 3-D printers. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 97, p. 24-30, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915000269>. Acesso em 01 set. 2019.

KIM, S., SEONG, H., HER, Y. CHU, J.. A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer. **Fashion and Textiles**, v. 6, n. 1, p. 9, 2019. DOI:10.1186/s40691-018-0162-0. Disponível em: <https://fashionandtextiles.springeropen.com/articles/10.1186/s40691-018-0162-0>. Acesso em 01 set. 2019.

KUHN, Renato; MINUZZI, R. F. B. The 3D printing's panorama in fashion design. **Moda Documenta: Museu, Memória e Design**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2015. Disponível em: http://www.modadocumenta.com.br/anais/anais/5-Moda-Documenta-2015/02-Sessao-Tematica-Design-Moda-e-Cultura-Digital/Renato-Kuhn_Moda-Documenta2015_THE-3D-PRINTING_S-PANORAMA-IN-FASHION-DESIGN_BILINGUE.pdf. Acesso em 01 set. 2019.

LEE, Cheol Ho; HONG, Sung Yeap. A Characteristic Analysis on 3D printing materials for Textiles. **Korean Association of Science and Art Convergence**, v. 24, p. 343-350, 2016. DOI: 10.17548/ksaf.2016.06.24.343. Disponível em: <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06702202#>. Acesso em 01 set. 2019.

LUSSENBURG, Kirsten; VAN DER VELDEN, N.; DOUBROVSKI, E.; GERAEDTS, J.; KARANA, E. Designing with 3D printed textiles: A case study of material driven design. *iCAT 2014: Proceedings of the 5th International Conference on Additive Technologies, Vienna, Austria*, pp. 16-17. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jo_Geraedts/publication/267639085_Graduation_Report_Kirsten_Lussenburg_2014/links/5456b600cf2bccc490f2c20.pdf. Acesso em 30 out. 2019.

MARTENS, Yasmin; EHRMANN, Andrea. Composites of 3D-printed polymers and textile fabrics. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 2017. p. 012292. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/225/1/012292/pdf>. Acesso em: 15 dez. 2020.

MAZIBUKO, Mbalenhle et al. Investigating the natural degradation of textiles under controllable and uncontrollable environmental conditions. **Procedia Manufacturing**, v. 35, p. 719-724, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.014> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919307395>. Acesso em 14 marc. 2021.

MARIANO, Maria Luiza Veloso; Da construção à desconstrução: A Modelagem como recurso criativo no Design de Moda. 2011. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2011.

MELLOR, Stephen; HAO, Liang; ZHANG, David. Additive manufacturing: A framework for implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 149, p. 194-201, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.008> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527313003204>. Acesso em 01 set. 2019.

MURARIU, Marius; DUBOIS, Philippe. PLA composites: From production to properties. **Advanced drug delivery reviews**, v. 107, p. 17-46, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X16301028>. Acesso em 01 set. 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **17 objetivos para transformar o nosso mundo**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods9/>. Acesso em: 17 out. 2019.

NIINIMÄKI, Kirsi. Ethical foundations in sustainable fashion. **Textiles and Clothing Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 3, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40689-015-0002-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40689-015-0002-1>. Acesso em 17 nov. 2019.

NISHIMURA, Maicon Douglas Livramento; SCHULTE, Neide Köhler; GONTIJO, Leila Amaral. Moda sustentável no contexto da hipermodernidade. **Projética**, v. 10, n. 1, p. 59-76,

2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/2236-2207.2019v10n1p59>. Disponível em: <http://www.uel.br/seer/index.php/projetica/article/view/33310/25526>. Acesso em 01 set. 2019.

OKADO, Giovanni Hideki Chinaglia; QUINELLI, Larissa. Megatendências Mundiais 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): uma reflexão preliminar sobre a "Nova Agenda" das Nações Unidas. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 2, n. 2, p. 111-129, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18224/baru.v2i2.5266>. Disponível em: <http://revistas.pucgoias.edu.br/index.php/baru/article/view/5266/2892>. Acesso em: 30 ago. 2020.

PAL, Rudrajeet; GANDER, Jonathan. Modelling environmental value: An examination of sustainable business models within the fashion industry. **Journal of cleaner production**, v. 184, p. 251-263, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618303056>. Acesso em 17 out. 2019.

PALMIERI, Isadora Matioli; RODRIGUES, Aline Letícia Vieira; SOUZA, Patrícia de Mello. O caimento como fator determinante na seleção de materiais. In: 13º COLÓQUIO DE MODA E 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DE DESIGN E MODA. Bauru. **Anais eletrônicos ...** Bauru: UNESP, 2017. Disponível em: http://www.coloquiomoda.com.br/anais/Coloquio%20de%20Moda%20-%202017/PO/po_6/po_6_O_CAIMENTO_COMO_FATOR.pdf. Acesso em 22 dez. 2020.

PASPALI, Antigoni; BAO, Yuging; GAWNE, David T.; PIESTERT, Frederik; REINELT, Sebastian. The influence of nanostructure on the mechanical properties of 3D printed polylactide/nanoclay composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 152, p. 160-168, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836818309077>. Acesso em 17 out. 2019.

PENG, Huaishu; MANKOFF, Jennifer; HUDSON, E. Scott; McCANN, James. A layered fabric 3D printer for soft interactive objects. In: **Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM, 2015. p. 1789-1798. DOI: 10.1145 / 2702123.2702327. Disponível em: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2702327>. Acesso em 26 nov. 2019.

PEREIRA, A. C.; ROMERO, Fernando. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1206-1214, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917306649>. Acesso em 19 out. 2019.

PERRY, Anna. 3D-printed apparel and 3D-printer: exploring advantages, concerns, and purchases. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 11, n. 1, p. 95-103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/17543266.2017.1306118>. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17543266.2017.1306118?casa_token=PbeRu_wMqJYAAAAA%3AnaEciXs8d3iTmExKg3HPDOz9Y4ljRZgVvNP5dUrBBa0eotJ3dvAkElJjoxCXaUbrNmb_CpH3qR-. Acesso em 20 nov. 2019.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Senac São Paulo, 2013.

PRASAD, R. K., CHATTERJEE, S., MAZUMDER, P. B., GUPTA, S. K., SHARMA, S., VAIRALE, M. G.; DATTA, S.; DWIVEDI, S. K.; GUPTA, D. K. Bioethanol production from waste lignocelluloses: A review on microbial degradation potential. **Chemosphere**, v. 231, p. 588-606, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.142>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519310549?casa_token=d_Gax612EPEAAAAA:TfFhC1RI9cG2pMR8w0drhZl7DqhAdhKwDHuwtXKkeQRNcE4BdFVDr2ZWa3bAoDF0XIq6QemDDA. Acesso em: 20 set. 2020.

RUDNIK, E.; BRIASSOULIS, D. Degradation behaviour of poly (lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 3, p. 648-658, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.031>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010003511?casa_token=V36AvCGIQpkAAAAA:ejqYKcfXDMkTmAP8FwwEzCkZDpRiP6MOEV-PG_ESs_MKPSGdqDvQ4AVF3iaxt4WX-x93quw2yQ. Acesso em 20 dez. 2020.

SAINI, P., ARORA, M., KUMAR, M. N. V. R., "Poly (lactic acid) blends in biomedical applications", **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 47-59, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.014>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X16302071?casa_token=bTWmn2MjJbgAAAAA:45trcrxeV-xybQx6lgBIcpUMk6Uwjrv0dQpKQDO1yZ5LsHkiCt_0SHuC1j-9C5FbtNXnGt99Lw. Acesso em: 20 dez. 2020.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDÚSTRIA 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em 17 out. 2020.

SALCEDO, Elena. **Moda ética para um futuro sustentável**. São Paulo: Gustavo Gili, 2014.

SANTANA, Leonardo; ALVES, Jorge Lino; NETTO, Aurélio da Costa Sabino; MERLINI, Claudia. A comparative study between PETG and PLA for 3D Printing through thermal, chemical and mechanical characterization. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 4, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0601>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762018000400457&script=sci_arttext. Acesso em: 01 set. 2019.

SHUN, Lushan; ZHAO, Li. Envisioning the era of 3D printing: a conceptual model for the fashion industry. **Fashion and Textiles**, v. 4, n. 1, p. 25, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0110-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40691-017-0110-4>. Acesso em 01 set. 2019.

SILVA, Dailene Nogueira da. **A Tridimensionalidade da superfície vestível e a impressão 3D: processos, estratégias e experimentações**. 2020. Orientadora: Marizilda dos Santos Menezes. 2020. 173f. Tese (Doutorado em design) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, em cotutela com Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa (FA.Ulisboa), 2020.

SOUZA, Patrícia de Mello; ROBERTO, Carolina Mendes Pereira; ANTUNES, Daniele Caroline. Estudo sobre o caimento de produtos confeccionados com modelagem idêntica e materiais diferentes. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 9, p. 5528-5529, 2016. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/estudo-sobre-o-caimento-de-produtos-confeccionados-com-modelagem-idntica-e-materiais-diferentes-24721>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SOUZA, Patrícia M.; MENEZES, Marizilda dos Santos. A construção de estruturas têxteis vestíveis. CIMODE 2014 2º Congresso internazionale di Moda e Design 2º International Fashion and Design Congress. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Souza-16/publication/281445429_A_construcao_de_estruturas_texteis_vestiveis/links/55e7b4ff08aeb6516262e7b1/A-construcao-de-estruturas-texteis-vestiveis.pdf. Acesso em 14 marc. 2021.

SONG, Y. Li, W. SONG, K. Yee, KY Lee, VL Tagarielli Medidas da resposta mecânica de PLA unidirecional impresso em 3D. **Materials & Design**, 123 (2017), p. 154 – 164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.051>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127517302976?casa_token=_1GzHTh_tzn8AAAAA:V-TXSGvHK06A4QrMB6-bNkRWzB7FJkU6wRfrGOMsKxmUlxmgS9YE8j-2O3lDs5NT2_WSeJgS0Q. Acesso em 30 ago. 2020.

STEIN, Jesse Adams. The political imaginaries of 3D printing: Prompting mainstream awareness of design and making. **Design and Culture**, v. 9, n. 1, p. 3-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/17547075.2017.1279941>. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17547075.2017.1279941?casa_token=Hsm9nCpgLW0AAAAA%3A1QrnYoba7F5JsiZSGRAP2NcvWs1RgDA1Om3ICaixa6AtKFYY3KcQ_NvlCsmDU2q9J_zUJ8CxmMu. Acesso em 20 nov. 2019.

TAPIA, Clara. Análisis comparativo de prendas y estructuras textiles realizadas por impresión 3D [Comparative analysis of the structures of 3D printed clothes and textiles] p. 331-336. In: **XX Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital [Blucher Design Proceedings, v.3 n.1]**. São Paulo: Blucher, 2016. ISSN 2318-6968. DOI 10.5151 / despro-sigradi2016-510. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2016_510.pdf. Acesso em 17 out. 2019.

TENHUNEN, Tiia-Maria; MUÇULMANO, Oldouz; KAMMIOVIRTA, Kari; HARLIN, Ali; KAARIAINEN, Pirjo; OSTERBERG, Monika; TAMMELIN, Tekla; ORELMA, Hannes. Surface tailoring and design-driven prototyping of fabrics with 3D-printing: An all-cellulose approach. **Materials & Design**, v. 140, p. 409-419, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.12.012>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127517311176?casa_token=IG00cJW0tU8AAAAA:3tDKHv3_KWcGZ2PN2uUcAmG4l3yeecSziRtHhWotkMfswsbZ7U-8rI-9IH0DdX4rig6Ou-qnOA. Acesso em 22 dez. 2020.

TODESCHINI, Bruna Villa; CORTIMIGLIA, Marcelo Nogueira; MENEZES, Daniela Callegaro de; GHEZZI, Antonio. Innovative and sustainable business models in the fashion industry: Entrepreneurial drivers, opportunities, and challenges. **Business Horizons**, v. 60, n. 6, p. 759-770, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681317301015>. Acesso em 01 set. 2019.

UDALE, Jenny. **Tecidos e moda**: explorando a integração entre o design têxtil e o design de moda. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

VANDERPLOEG, Alyson; LEE, Seung-Eun; MAMP, Michael. The application of 3D printing technology in the fashion industry. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 10, n. 2, p. 170-179, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/17543266.2016.1223355>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17543266.2016.1223355>. Acesso em 01 set. 2019.

WANG, Zhiguo; XU, Junfei; LU, Yingzhao; HU, Lijang; FAN, Yimin; MA, Jinxia; ZHOU, Xiaofan. Preparation of 3D printable micro/nanocellulose-poly(lactic acid) (MNC/PLA) composite wire rods with high MNC constitution. **Industrial crops and products**, v. 109, p. 889-896, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669017306696>. Acesso em: 01 set. 2019.

WEYER, Stephan; SCHMITT, Mathias; OHMER, Moritz; GORECKY, Dominic. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **Ifac-Papersonline**, v. 48, n. 3, p. 579-584, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315003821>. Acesso em 01 set. 2019.

WIJK, Van A. J. M.; WIJK, Van Iris. **3D printing with biomaterials: Towards a sustainable and circular economy**. IOS press, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=tEAoBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=WIJK,+Van+A.+J.+M.%3B+WIJK,+Van+Iris.+3D+printing+with+biomaterials:+Towards+a+sustainable+and+circular+economy.+IOS+press,+2015.&ots=nMDUF3wYYc&sig=IICqocFQSeIw0ByoVPNR4dYYyNM#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 03 jan. 2021.

WOODSIDE, Arch G.; FINE, Monica B. Sustainable fashion themes in luxury brand storytelling: The sustainability fashion research grid. **Journal of Global Fashion Marketing**, v. 10, n. 2, p. 111-128, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/20932685.2019.1573699> Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20932685.2019.1573699?casa_token=aIhw17QJsb4AAAAA%3ALTcxsvXpifbZkcBbToCqocPA5AKW7pBg-tBYUzM7Cx2_B6lI5lXDu6bFkDdp3KDZv_UbsW7xBKH9. Acesso em 19 out. 2019.

YAP, Y. L.; YEONG, W. Y. Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review: This paper provides an insight into the future of 3D printing industries for fashion and

jewellery products. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 9, n. 3, p. 195-201, 2014. DOI:10.1080/17452759.2014.938993. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17452759.2014.938993?casa_token=N4CXYCt2lNQAAAAA%3AAG_VIkV5_AmigkssRAHz27tbqToM67T_vPjKL5GeWK9cpxUL-bF9gErqKbimpW_Y37yJKorQEGEJ>. Acesso em 17 out. 2019.

ZHONG, Ray Y; XU, Xun; KLOTZ, Eberhard; NEWMAN, Stephen T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307130>. Acesso em 17 out 2019.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: **2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)**. IEEE, 2015. p. 2147-2152. DOI: 10.1109 / FSKD.2015.7382284. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7382284>. Acesso em 01 set. 2019.