

## IMPRESSÃO 3D DE TÊXTEIS: UMA ANÁLISE ACERCA DAS GEOMETRIAS

### 3D PRINTING OF TEXTILES: AN ANALYSIS OF GEOMETRIES

Natani Aparecida do Bem<sup>1</sup>

Marizilda dos Santos Menezes<sup>2</sup>

#### Resumo

A impressão 3D como tecnologia inovadora implementada em diferentes áreas de produção tem ganhado cada vez mais interesse na indústria da moda. O trabalho aqui apresentado mostra outra aplicação para produção de vestuário utilizando a tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*) que é menos dispendiosa em comparação com as outras tecnologias de impressão 3D. Devido à flexibilidade obtida pela geometria Triangle Textile o têxtil final é facilmente manuseável, podendo ser aplicado em peças de vestuário. No entanto, não aparenta ser confortável devido a textura e a tridimensionalidade resultante do material, o que leva a questão das propriedades dos materiais têxteis convencionais. As roupas impressas em 3D são vistas como um complemento aos produtos de moda, embora haja estudos que apresentem melhorias aos aspectos técnicos dos têxteis impressos, a impressão 3D pode vir a não substituir a forma tradicional de fabricação de roupas, mas esta pode ser usada como uma tecnologia inovadora em produtos de vestuário.

**Palavras-chave:** geometria 3D; impressão 3D; têxteis impressos 3D.

#### Abstract

3D printing as an innovative technology integrated into different areas of production has gained increasing interest in the fashion industry. The work presented here shows another application for clothing production using FDM (*Fused Deposition Modeling*) technology that is less expensive compared to other 3D printing technologies. Due to the flexibility of the Triangle Textile geometry, the final textile is easily handled and can be applied to garments. However, it does not seem to be comfortable due to the resulting texture and three-dimensionality of the material, which raises questions about the properties of conventional textile materials. 3D printed clothes are seen as a complement to fashion products, although there are studies that show improvements to the technical aspects of printed textiles, 3D printing may not replace the traditional way of manufacturing clothes, but it can be used as an innovative technology in clothing products.

**Keywords:** 3D geometry; 3D printing; 3D textiles printing.

---

<sup>1</sup> Doutoranda, UNESP – FAAC - Programa de Pós-Graduação em Design, Bauru, SP, Brasil, natani.bem@unesp.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6767-6414>.

<sup>2</sup> Professora Doutora, UNESP – FAAC - Departamento de Artes e Representação Gráfica, Bauru, SP, Brasil. marizil@faac.unesp.br; ORCID: 0000.0000.0000.0001.

## 1. Introdução

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, é uma técnica de fabricação de produtos que acontece a partir de uma representação geométrica que cria objetos por meio da adição sucessiva de material através de camadas com uma determinada espessura, resultando em um processo de fabricação camada por camada, a partir de informações de modelagem 3D geradas por um software de fatiamento (PARK; LEE, 2019); (SPAHIU; CANAJ; SHEHI, 2020).

Com os avanços tecnológicos a impressão 3D tornou-se popular devido ao amplo campo de aplicação e a oferta alternativa aos processos de fabricação tradicionais, como peças médicas e odontológicas, peças para eletrônicos e eletrodomésticos, modelos arquitetônicos, equipamentos esportivos, inclusive a indústria têxtil e de moda possibilitando a construção de protótipos e produtos personalizados com viés artístico (LEE; EOM; LEE, 2019).

Diferente do modo de fabricação tradicional de produtos, a impressão 3D também chamada de prototipagem rápida, no início foi muito utilizada para fabricação de protótipos, mas com os avanços no setor a tecnologia tem estado em diferentes áreas da indústria, como é o caso do setor calçadista. Materiais reciclados para impressoras 3D como: nylon, TPU (poliuretano termoplástico) ou PLA (ácido polilático), têm atraído a atenção de designers de moda para o desenvolvimento têxteis impressos em 3D (SPAHIU; CANAJ; SHEHI, 2020).

Além disso, a indústria da moda tem usado essa tecnologia para revolucionar seus produtos, principalmente marcas de renomados designers. O setor acadêmico também tem apresentado estudos em tecidos impressos em 3D tendo diferentes abordagens acerca do tema, mas buscando sempre analisar as semelhanças com os materiais convencionais em especial às características únicas dos têxteis como conforto e flexibilidade, embora ainda haja trabalho a ser feito em relação aos materiais de impressão 3D para a produção têxtil.

Ademais, a formação da estrutura do têxtil impresso em 3D, compreende-se em módulos geométricos, que repetidos e entrelaçados formam a estrutura do produto impresso. Uma vez em que a combinação dessas geometrias resulta em um “tecido 3D”, mostra que essa tecnologia pode ser aplicada à têxteis de outras áreas da indústria. Estudos conduzidos por autoras como Silva (2020) e Hornburg (2019) apresentam diferentes possibilidades e uso de geometrias que podem ser impressas em 3D resultando na formação de um têxtil, embora ainda apresentem melhorias a serem realizadas considerando o tipo de matéria-prima e processo utilizado durante a impressão.

Geralmente, as superfícies estruturadas e fabricadas na técnica 3D são rígidas e sólidas, mas nos últimos anos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de criar estruturas flexíveis que possam se adaptar e proporcionar movimento. Neste sentido, os têxteis impressos em 3D foram explorados para demonstrar relações paramétricas específicas entre a geometria e o comportamento do tecido geral.

Esta pesquisa, de cunho teórico e prático tem como objetivo geral analisar a influência da geometria na flexibilidade dos têxteis impressos em 3D, levando em consideração o aspecto de caimento que é essencial para o desenvolvimento de um produto do vestuário. Neste contexto, além de efetuar uma revisão bibliográfica sobre o tema, foram analisadas e discutidas amostras de têxteis impressas em 3D, visando aprimorar o conhecimento acerca do tema.

## 2. Fabricação Têxtil e Impressão 3D

O método de projetar superfícies têxteis tridimensionais surgiu nos anos 2000 com o desenvolvimento do primeiro produto vestível impresso em 3D projetado pelos designers Jiri Evenhuis e Janne Kytanen. O Black Drape Dress (Figura 1) foi uma das primeiras roupas impressas em 3D, a estrutura projetada para sua superfície assemelha-se a uma malha de metal utilizada nas armaduras na Idade Média. A configuração dos elos entrelaçados, chamados de montagens múltiplas que resulta em estruturas maleáveis devido às partes integradas entre si, em função dos anéis interligados e estruturas articuladas (LUSSENBURG, 2014).

Essas estruturas utilizadas na impressão de um têxtil em 3D são definidas de geometrias. Essas, por sua vez, são responsáveis pela construção de uma superfície unida por figuras geométricas 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).

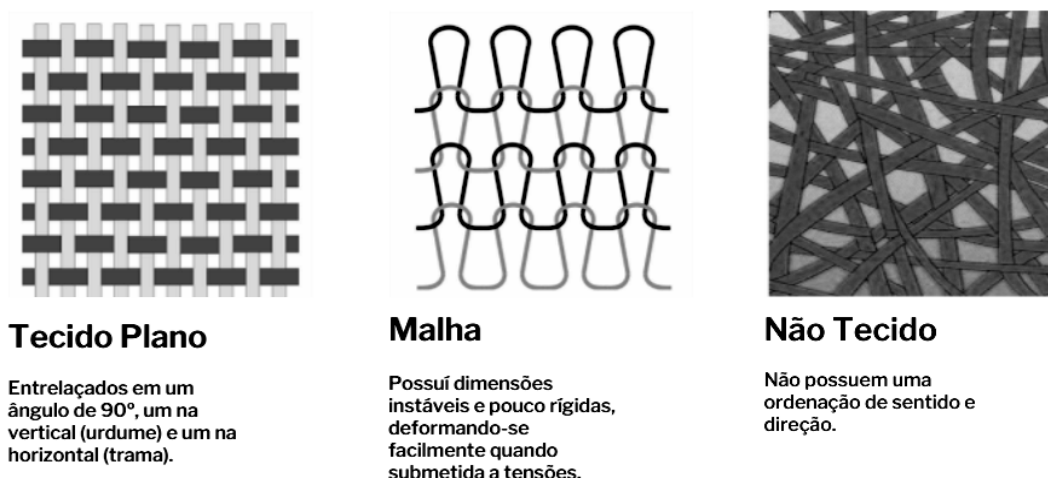
Figura 1: Black Drape Dress impresso em 3D



Fonte: Lussenburg (2014, p.36).

A formação da estrutura em 3D é diferente da configuração de um material têxtil convencional até então conhecida pelo processo de tecelagem dos fios de trama e urdume, (KIM et al., 2019). A estrutura, segundo Grain (2019) é o aspecto principal de qualquer têxtil pois influencia diretamente no seu caimento e aparência. Existem três estruturas principais que são utilizadas nas construções tradicionais, o tecido plano, o tecido malha e o não tecido (Figura 2), que variam conforme o objetivo final de aplicação do têxtil.

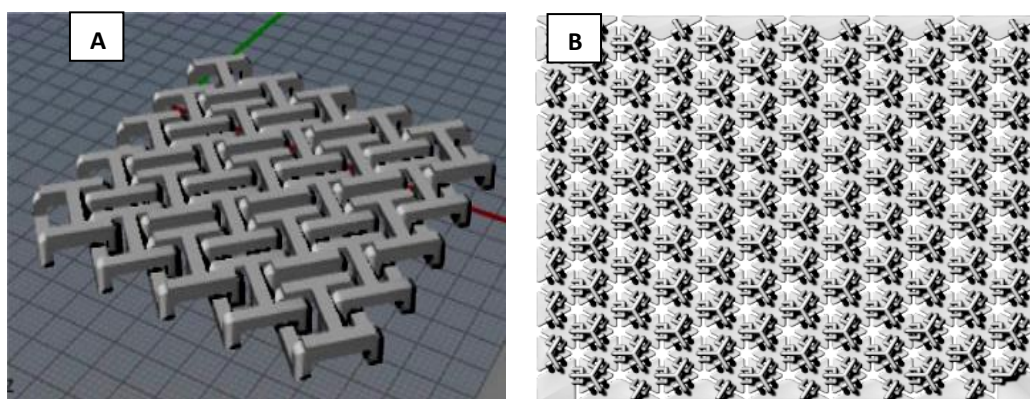
Figura 2: Definição das estruturas têxteis



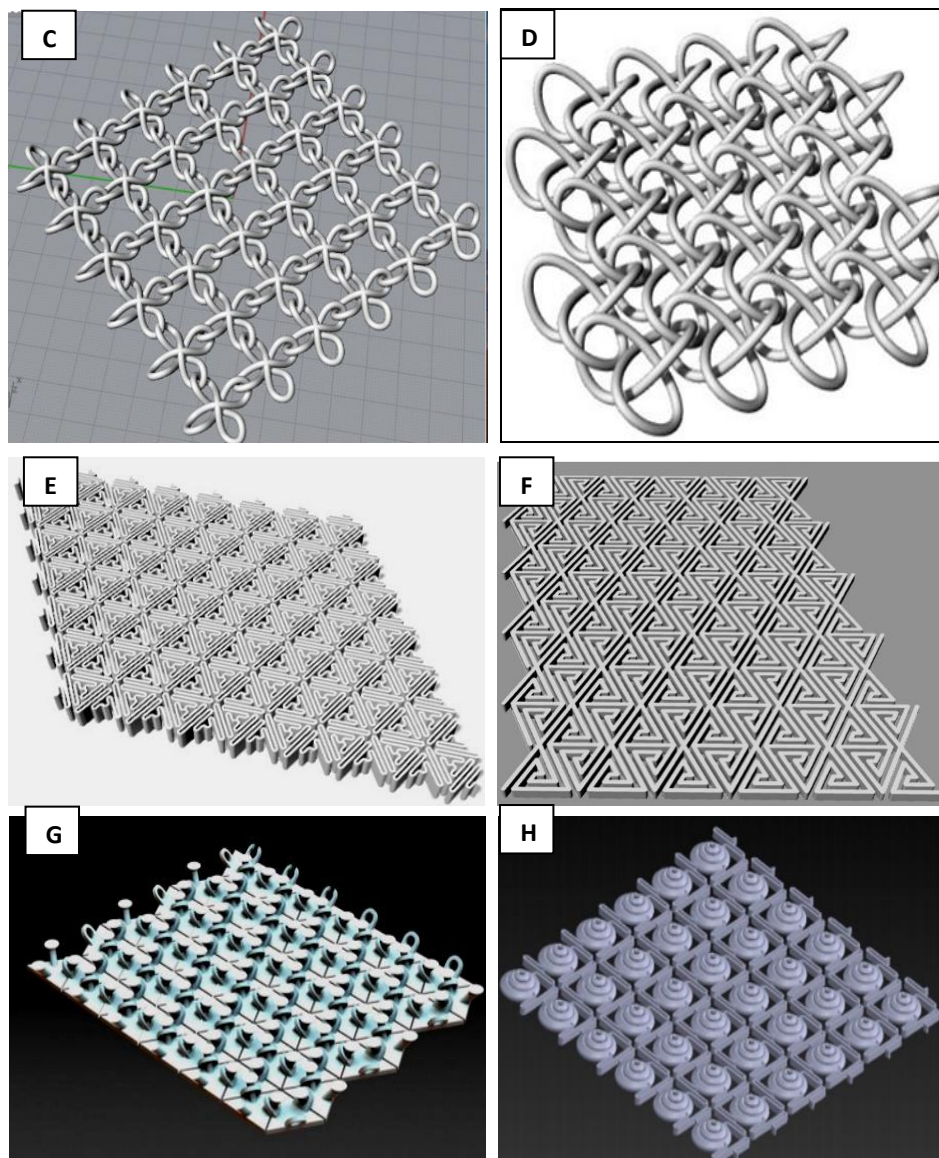
Fonte: Adaptado de Pezzolo (2013).

Na impressão 3D não é diferente, a “tecelagem” dos filamentos ocorre por meio da conexão dos módulos, por elos ou sistemas conectores que permitem a repetição destes até resultar em uma superfície têxtil. 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). A Figura 3 apresenta geometrias utilizadas na construção de produtos do vestuário impressos em 3D, segundo estudos de Silva (2020) e Hornburg (2019).

Figura 3: Diferentes geometrias para impressão 3D; A) quadrado; B) triangular 1; C) laçadas 4 alças; D) laçadas 3 alças; E) molas; F) triangular 2; G) tecido triângulo; H) caracol



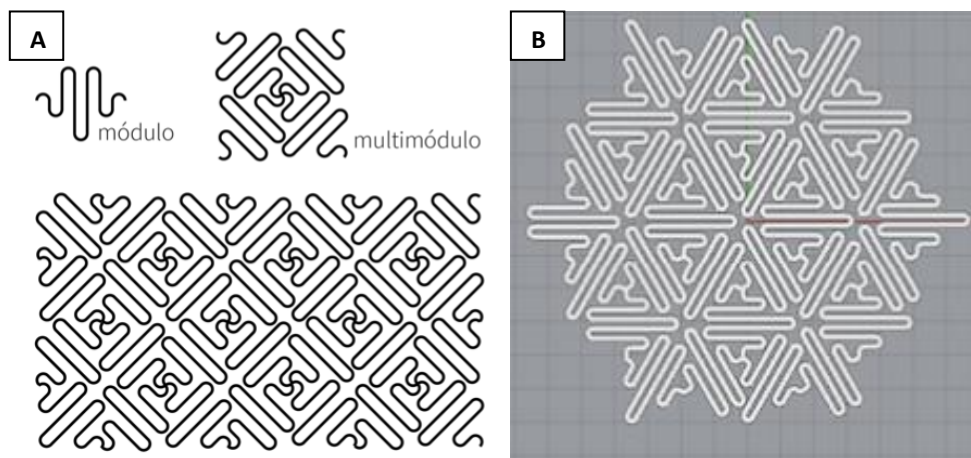




Fonte: Adaptado de Silva (2020, p. 119 a 132); Hornburg (2019, p. 340, 341).

A partir das geometrias apresentadas, percebe-se que todas apresentam algo em comum, a formação de elos ou meios de ligação entre os módulos. Entre as geometrias apresentadas, uma delas se destaca na construção de superfícies para produtos comerciais do vestuário conforme exposto por Silva (2020). O módulo molas (Figura 4 B)), desenvolvido por Silva (2020) foi baseado na simetria de translação de um módulo em formato de mola, que teve como objetivo reproduzir uma superfície que apresentasse distorção em todas as direções visando obter elasticidade de flexibilidade. O módulo é similar ao módulo utilizado no desenvolvimento da Jaqueta Bomber desenvolvida pela designer Israelense Danit Peleg em 2014 (Figura 5).

Figura 4: A) Esquema de repetição do módulo da jaqueta bomber; B) Módulo molas Silva (2020)



Fonte: Silva (2020, p. 105, 131).

Figura 5: Detalhes da geometria da Jaqueta Bomber Danit Peleg (2014).

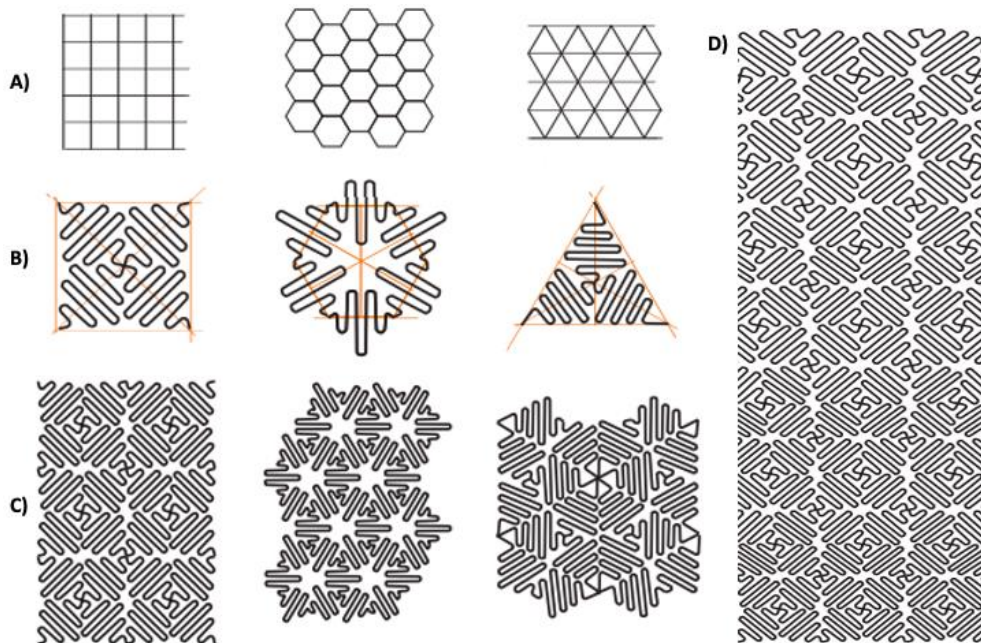


Fonte: [www.danitpeleg.com/the-birth-of-venus/](http://www.danitpeleg.com/the-birth-of-venus/)

A geometria da jaqueta apresenta maior flexibilidade quando utilizada em conjunto com o filamento TPU no processo de impressão, pois seu formato permite a distorção no sentido vertical e horizontal. As configurações da geometria assemelham-se às fibras têxteis tradicionais devido a espessura, a configuração dos módulos em hexagonal, quadrado e triangular, (Figura 6) na tentativa de deixar o padrão final mais coberto sem a necessidade de forrar a peça com um tecido convencional (LUSSENBURG, 2014).



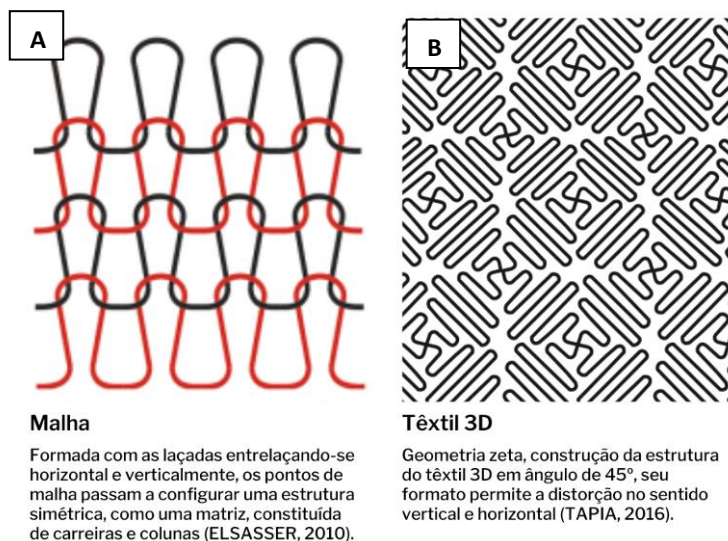
Figura 6: Diferentes configurações do módulo utilizado na impressão da Jaqueta Bomber (Danit Peleg);  
A) Quadrada; B) Hexagonal; C) Triangular; D) Módulo finalizado com repetições.



Fonte: Adaptado de Lussenburg (2014, p. 93, 94).

O padrão geométrico utilizado no módulo triangular (Figura 6 D)), segundo Lussenburg (2014), é conhecido como estrutura zeta. A estrutura segundo Tapia (2016) é parecida ao corte enviesado – corte em ângulo de  $45^\circ$  -, devido a elasticidade e caimento apresentados, que são característicos de tecidos planos cortados nesse sentido. Além de apresentar uma construção parecida com a malha (Figura 7), devido ao entrelaçamento dos fios pelas laçadas, resultando na elasticidade da peça.

Figura 7: A) Construção da malha convencional; B) Construção da geometria estrutural zeta 3D.



#### Malha

Formada com as laçadas entrelaçando-se horizontal e verticalmente, os pontos de malha passam a configurar uma estrutura simétrica, como uma matriz, constituída de carreiras e colunas (ELSASSER, 2010).

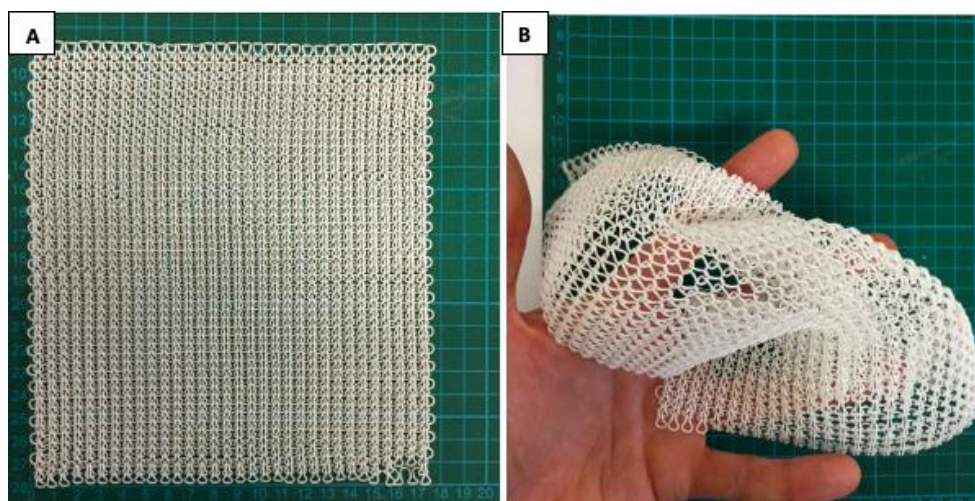
#### Têxtil 3D

Geometria zeta, construção da estrutura do têxtil 3D em ângulo de  $45^\circ$ , seu formato permite a distorção no sentido vertical e horizontal (TAPIA, 2016).

Fonte: Adaptado de Elsasser (2010); Tapia (2016).

Além das geometrias apresentadas existem outras que são utilizadas na construção de produtos do vestuário, estas que segundo Kim et al., (2019), são chamadas de malhas 3D. A exemplo disso Beecroft (2016), demonstrou em seus estudos a possibilidade de usar a sinterização seletiva a laser (SLS) de pó de nylon para imprimir estruturas tricotadas de trama de face única e face dupla (Figura 8). Estas estruturas quando impressas em várias espessuras demonstram as propriedades mecânicas de flexibilidade, resistência e elasticidade que podem torná-las soluções viáveis para uso na indústria têxtil. Pesquisas adicionais em diferentes tipos de materiais em pó, ou seja, poliuretano termoplástico (TPU) podem produzir tecidos mais macios, que podem ser mais adequados para uma aplicação de moda (BEECROFT, 2016).

**Figura 8: Estrutura de malha de trama contraída; B) Elasticidade por trás da peça tricotada em trama.**



Fonte: Beecroft (2016, p.6).

Embora haja algumas limitações quanto à confecção de um têxtil impresso em 3D para a indústria do vestuário, percebe-se que o entusiasmo e interesse em torno da impressão para têxteis e moda teve um crescimento nos últimos anos. Por meio de vestidos nas passarelas e coleções totalmente impressas em uma impressora de mesa. No entanto, a maioria das obras são confeccionadas a partir de uma estrutura corporal, construídas em partes, e unidas posteriormente, em vez de tecidos flexíveis e funcionais.

### 3. Principais Técnicas e Materiais

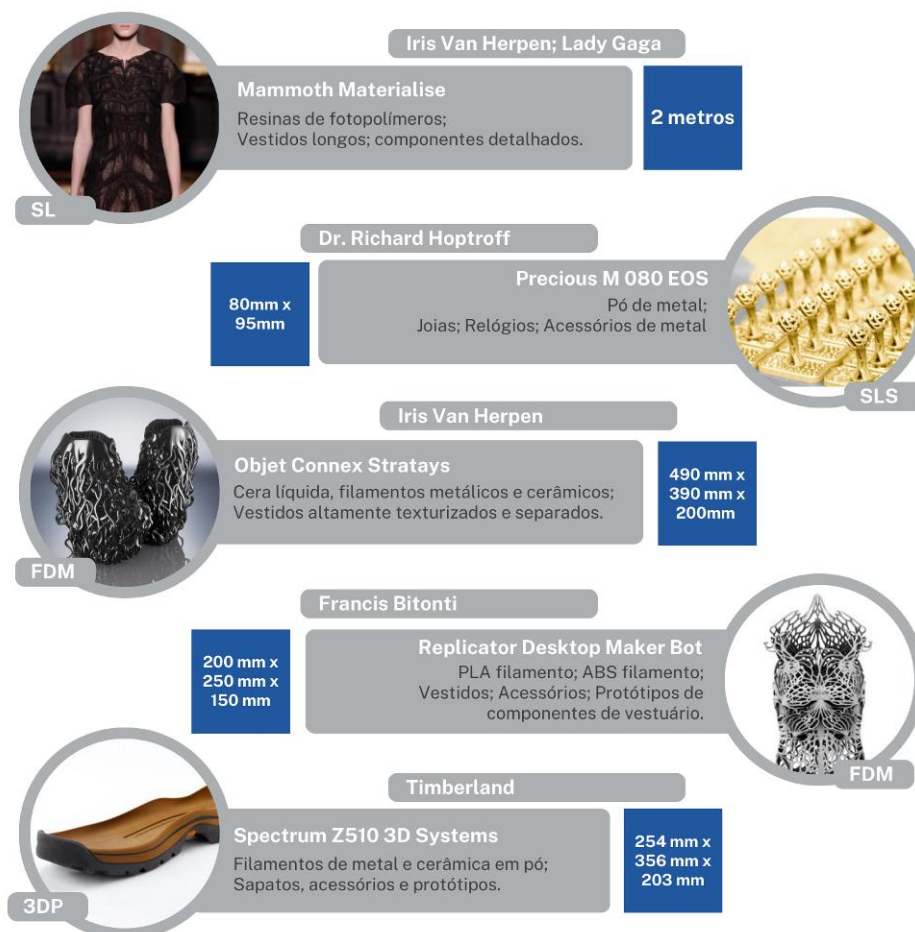
A impressão 3D é uma técnica de fabricação aditiva utilizada para fabricação de objetos sólidos. Durante o processo de fabricação esses materiais são montados sucessivamente em uma camada de cada vez, até que se obtenha o produto finalizado. O processo de fabricação inicia-se com a criação de um modelo digital usando programa de software de desenho, referido como CAD (*Computer-Aided Design*), onde os objetos são criados por uma combinação de modelagem 3D, texturização e renderização em design CAD. Após seu desenvolvimento, ele é cortado em camadas e elas são convertidas em arquivos compatíveis com a impressora 3D para serem impressos posteriormente, ou seja, adicionados sob a mesa cama por camada até formar o objeto (CHAN et al., 2021).

Para que o processo de impressão ocorra, além dos softwares CAD são necessários as



impressoras e os materiais, estes por sua vez, compreende-se em diferentes tipos que são usados para a impressão dos mais variados produtos em diferentes áreas da indústria. Entre os métodos de impressão 3D existentes, os cinco mais aplicáveis aos produtos de moda estão apresentados na Figura 9.

Figura 9: Comparação de cinco métodos de impressão utilizados na indústria da moda.



Fonte: Adaptado de VANDERPLOEG, LEE, MAMP (2017, p. 176).

Dos métodos de fabricação aditiva apresentados, o mais comumente usado é a tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM), geralmente usada para a produção de objetos multimateriais com têxteis. A tecnologia FDM baseia-se na extrusão de materiais, onde uma estação de pré-aquecimento eleva a temperatura do material polímero em forma de um fio a um grau Celsius acima de seu ponto de ebulição, para que ele possa fluir pelo sistema de alimentação (bico extrusor) em uma camada fina na plataforma da impressora. Isso faz com que o material endureça quase imediatamente após a dispersão e se ligue à camada abaixo dele. Depois que cada camada é concluída, a plataforma da impressora é abaixada para abrir espaço para a próxima camada. Após a finalização das camadas deve ser feita a quebra do suporte manualmente, pois cria-se uma espécie de base ou excesso de material entre os elos e camadas (HUANG et al., 2014); (VANDERPLOEG; LEE; MAMP, 2017).

Entre as matérias-primas mais utilizadas para o objeto impresso na tecnologia FDM

estão filamentos termoplásticos de ácido polilático (PLA), acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e recentemente também está disponível o nylon. Em relação a estes polímeros, algumas pesquisas mostram que a impressão com ABS produz menor adesão do que com PLA, o que pode ser resultado de uma maior viscosidade deste último durante o processo de impressão 3D (KOZIOR et al., 2020).

O PLA é um material ecológico não tóxico, cujos principais ingredientes são o milho e a cana-de-açúcar, tem a vantagem de não sofrer transformação, pois não encolhe facilmente mesmo com a queda de temperatura. O ABS tem a vantagem de baixo preço, como termoplástico que é comumente usado, mas as desvantagens incluem odor nocivo, dobras ou rachaduras por resfriamento rápido devido ao alto encolhimento (ČUK et al., 2020).

Muitos outros materiais são usados em impressão 3D, incluindo plástico de engenharia que é um material adequado para peças mecânicas devido à sua excelente resistência ao calor e ao impacto; filamento de nylon, mais flexível e macio que o PLA porém apresenta alto encolhimento; e filamento de madeira feito pela mistura de madeira reciclada com polímero de ligação, possui mais de 20 cores, incluindo branco, prata, marrom, preto, vermelho e amarelo, o que possibilita o desenvolvimento de diferentes produtos (NOH; LEE, 2016). Com as impressoras industriais, também é possível utilizar metal, cerâmica ou resinas fósseis, além de materiais próprios para processo de termo fixação (PARTSCH; VASSILIADIS; PAPAGEORGAS, 2015).

As propriedades mais importantes dos objetos multimateriais feitos de camadas impressas em 3D em substratos têxteis são uma boa adesão, mantendo a flexibilidade do tecido. Essa característica é um fator muito importante porque influencia a qualidade e a durabilidade do produto. No entanto, a flexibilidade também é de grande importância e uma das principais características necessárias para um têxtil impresso em 3D (ČUK et al., 2020).

#### **4. Metodologia**

As impressões realizadas têm o objetivo de reproduzir três das geometrias mais utilizadas na impressão de arquivos de vestuário apresentada anteriormente (Figura 3), a fim de obtê-las com os recursos disponíveis no Fab Lab Universidade na qual a pesquisa foi realizada, visando a possibilidade de execução de produtos do vestuário com recursos de fácil acesso.

Foi utilizado o material mais comum à impressão 3D no processo FDM o PLA, devido também ao seu valor que é mais acessível. Além disso, o material estava disponível no Fab Lab na versão rígida, sendo necessária a aquisição apenas do PLA flexível a fim de comparar os resultados obtidos posteriormente em virtude das características dos materiais relacionadas a flexibilidade.

A impressão das amostras foi feita a partir de arquivos disponibilizados no site Thingiverse - plataforma de propriedade da empresa MakerBot -, em que é compartilhado arquivos para serem impressos em 3D. A impressora utilizada foi no modelo Createbot Mini (FDM), com temperatura da mesa a 210°C, utilizando aproximadamente 500g de filamento para a impressão de cada amostra.

#### **5. Resultados**

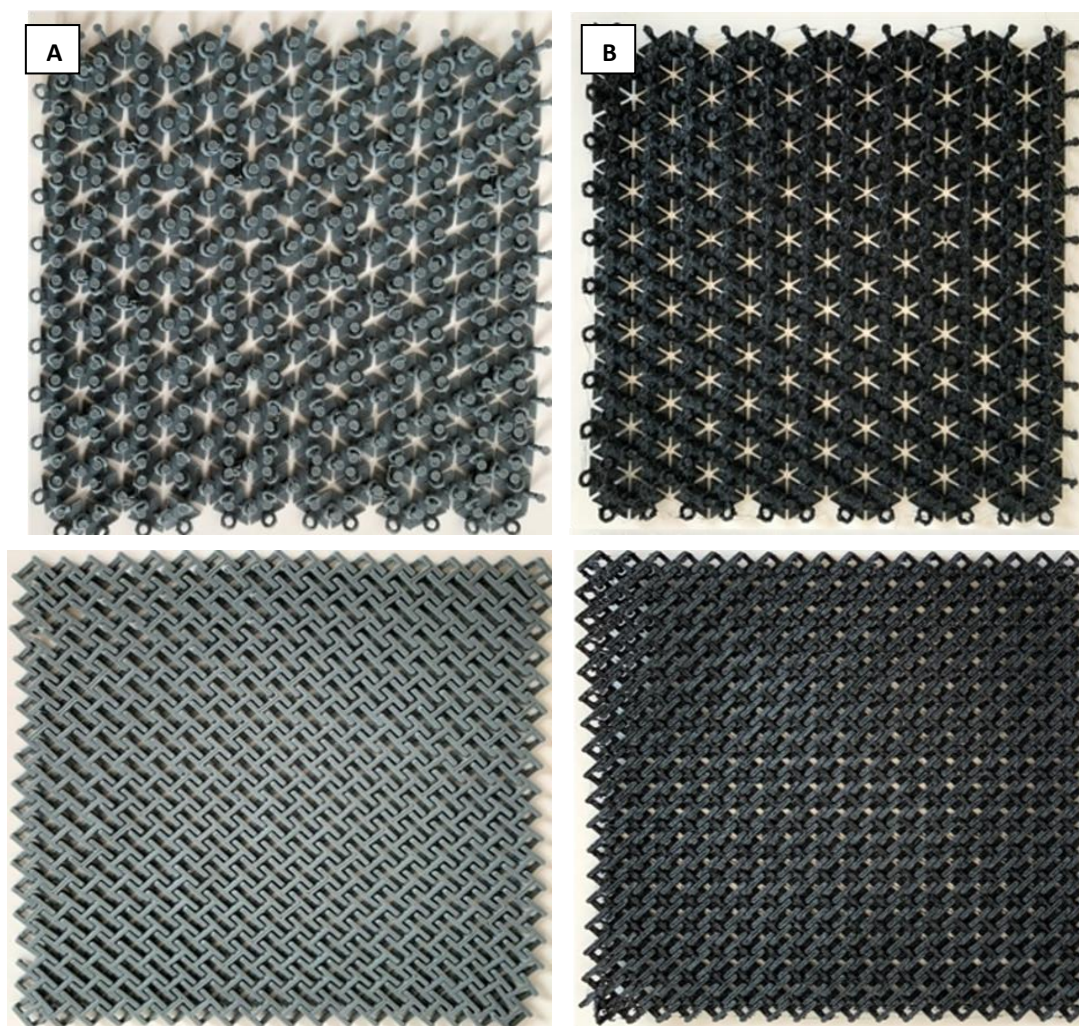
Neste estudo foram investigados aspectos que se referem a construção do têxtil impresso em 3D, a fim de conhecer as estruturas chamadas de geometrias com o intuito de analisar os

aspectos construtivos da forma que poderiam ser utilizados ao longo do estudo. Na revisão de literatura foi possível conhecer as geometrias mais utilizadas na construção de produtos do vestuário. Observou-se que entre os filamentos termoplásticos utilizados na técnica de FDM o PLA destacou-se devido ao seu baixo custo. A definição das geometrias a serem impressas foi realizada considerando a disponibilidade de arquivos em formato \*.stl (*Standard Triangle Language*) para download, devido o foco do trabalho ser a análise das geometrias já utilizadas em outros estudos.

### 5.1. Impressão das Amostras

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 que se assemelha a uma estrutura têxtil e na renda, na qual apresenta maior cobertura na superfície do corpo. Para tal, foram impressas ambas as geometrias em PLA flexível e PLA rígido (Figura 10).

Figura 10: A) Amostras impressas em PLA rígido; B) Amostras impressas em PLA flexível





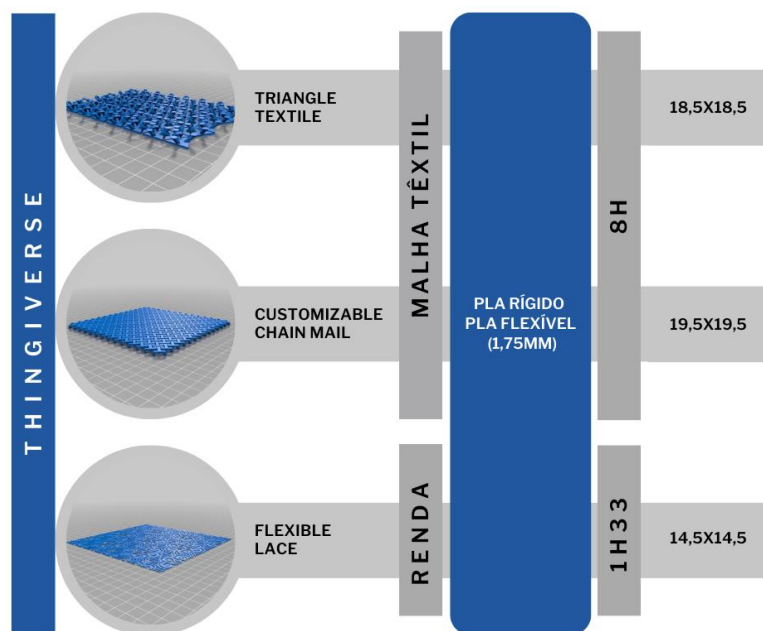


Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

## 5.2. Experimentação das Geometrias

A Figura 11, a seguir, apresenta um resumo das amostras impressas e as particularidades de cada amostra, apresentando a plataforma onde obteve o projeto, o desenho CAD, a geometria, bem como a estrutura da geometria, o tipo e a espessura do filamento, o tempo aproximado para a impressão e o tamanho final da amostra.

Figura 11: Parâmetros utilizados para a impressão das amostras em 3D.



Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

Ao analisar as experimentações percebe-se que as impressões em PLA rígido e os elos dos módulos podem influenciar diretamente no caimento e flexibilidade do têxtil, mesmo

sendo construída por um material rígido, uma vez que, as impressões realizadas não apresentaram resultados satisfatórios. Embora o método e o material utilizado sejam acessíveis e disponíveis nos Fab Labs das Universidades, percebe-se que as superfícies obtidas por ambos os materiais não são agradáveis. O PLA flexível apresentou muitos “fios” repuxados, atribuindo um aspecto áspero e grosseiro à amostra, sendo necessária a adequação desse tipo de têxtil para aplicação em uma grande área como em uma peça de vestuário, pois pode causar incômodo ao usuário.

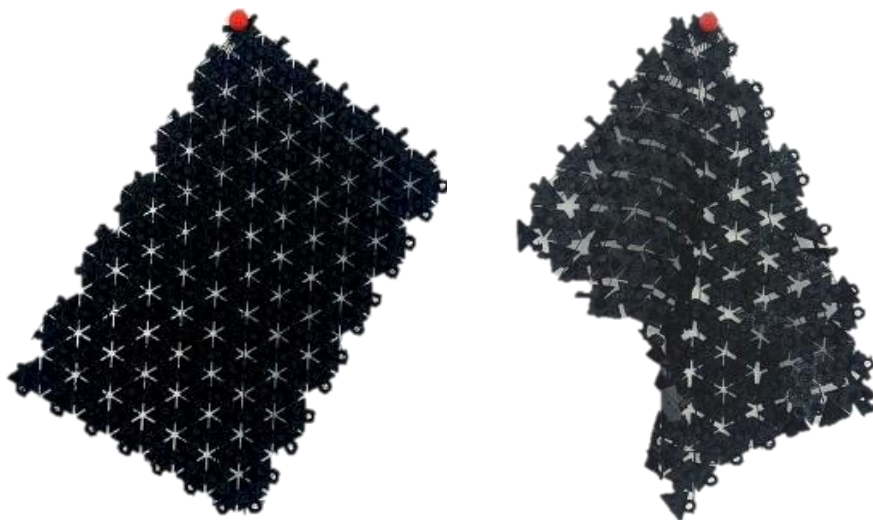
A fim de justificar qual fator define o comportamento do têxtil impresso em 3D, buscou-se analisar a geometria utilizada nas amostras e sua relação com o caimento e a flexibilidade das amostras. O caimento de um tecido segundo Aldrich (2013), possui relação direta com o peso, ou seja, quanto maior o peso mais estruturado é o caimento, e quanto menor o peso, o cair tende a ficar estático e sem a formação de dobras. Esse efeito obtido pelo caimento seja pela fluidez e leveza dos tecidos delicados ou da rigidez e armação dos tecidos mais pesados, é o que diferencia o corte e a modelagem de um 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).

Para as análises apresentadas nos tópicos a seguir, as amostras foram penduradas em um ângulo de 45° a fim de analisar visualmente a formação de caimento semelhante a um tecido convencional. Além disso, as amostras foram dobradas em lado avesso e direito, visando analisar o comportamento da geometria e do têxtil em relação a maleabilidade e flexibilidade. Cabe ressaltar, que os testes não seguiram normas técnicas, apenas uma análise visual e acadêmica a fim de trazer informações acerca dessas características e instigar o desenvolvimento de trabalhos futuros.

### 5.3. Triangle Textile (Geometria Triangular)

A impressão da amostra com a geometria em formato triangular foi realizada utilizando o filamento PLA flexível (A) e o PLA rígido (B) ambas por meio da técnica FDM. Nessa geometria os módulos triangulares se repetem encaixados por elos até formar a superfície (Figura 12).

Figura 12: A) Amostra impressa em PLA flexível; B) Amostra impressa em PLA rígido.



Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

Na amostra (A) foi possível perceber que embora tenha sido impressa em PLA flexível e com uma geometria de módulos articuláveis o têxtil apresentou-se com um aspecto rígido e estático. Acredita-se que as configurações da mesa de impressão ou o filamento tenham comprometido o seu caimento, principalmente pela falta de adesão durante a formação das camadas, o que resultou na formação de “fios” soltos e toque áspero (Figura 13).

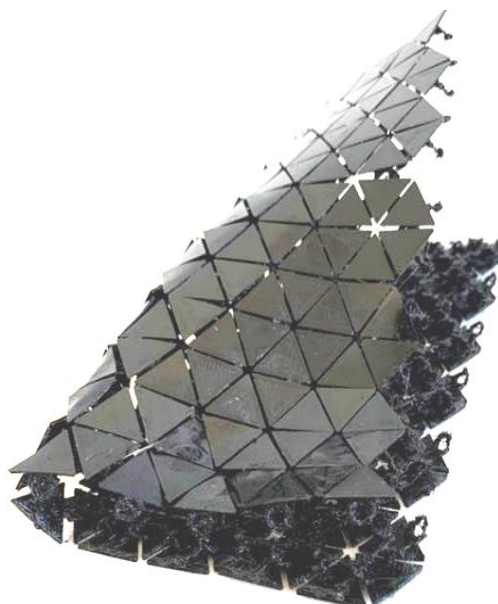
**Figura 13: Aproximação da amostra (A) impressa em PLA flexível**



Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

Porém, na amostra (B), impressa em PLA rígido na mesma geometria que a amostra (A), houve a presença de movimento e formação de dobras ao cair. Podendo estar diretamente relacionado à formação da estrutura, na qual não apresentou má construção na formação dos elos que tem a função de criar a movimentação dos módulos. Além disso, foi analisada a dobra do têxtil impresso em material flexível (Figura 14) e pode-se observar que devido ao problema decorrente da impressão o material acabou grudando uma parte na outra, impossibilitando seu manuseio.

**Figura 14: Processo de dobra da amostra (A) impressa em PLA flexível**



Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.



#### 5.4. Customizable Chain Mail (Geometria Quadrada)

A impressão da amostra com a geometria em formato quadrado foi realizada utilizando o filamento PLA flexível (A) e o PLA rígido (B) ambas por meio da técnica FDM. Nessa geometria os módulos quadrados se repetem e são ligados por elos até formar a superfície (Figura 15).

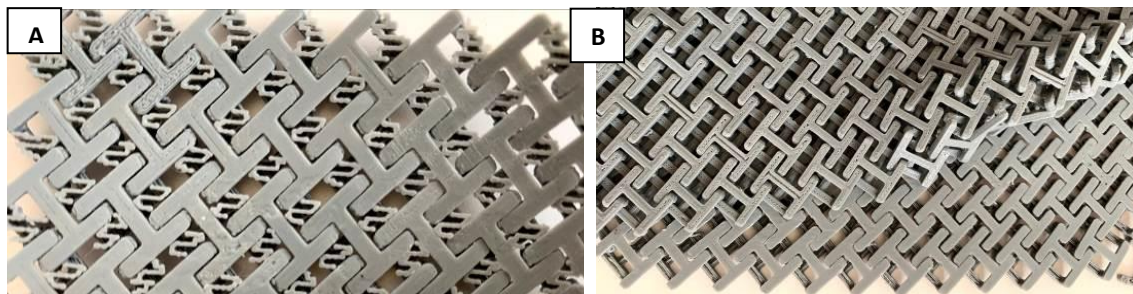
Figura 15: A) Amostra impressa em PLA flexível; B) Amostra impressa em PLA rígido

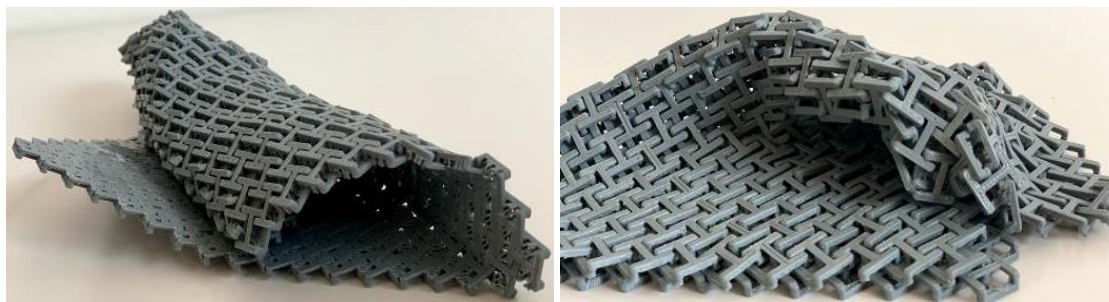


Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

Na Figura 15 B) observa-se que o caimento do têxtil impresso com o PLA rígido apresenta melhor caimento e com formação de dobras similar a um tecido convencional, resultado da mobilidade oferecida pelos módulos. Além disso, a construção dessa geometria apresenta similaridade ao processo de construção das malhas. Para que a mobilidade dos módulos fosse possível, após imprimir a amostra foi necessário “limpá-la” manualmente fazendo a remoção dos fios que foram impressos entre um módulo e outro (Figura 16 (A)), pois os fios que criam a base entre as camadas enrijecem a amostra dificultando o seu manuseio. Após isso foi possível realizar a dobra do material (Figura 16 (B)).

Figura 16: A) Amostra impressa em PLA rígido sem limpeza; B) Amostra limpa

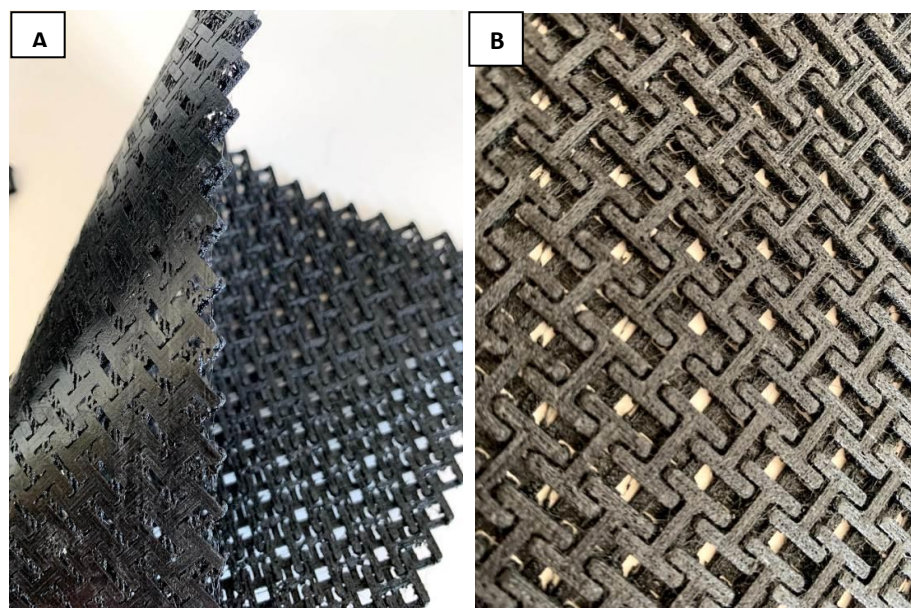




Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

Na impressão da amostra em PLA flexível (Figura 15 A)), assim como na geometria anterior, também não houve caimento e maleabilidade ao realizar a dobra do material. Para essa amostra, acredita-se que o problema esteja relacionado a espessura do têxtil, uma vez em que a superfície tenha ficado mais espessa, e ao fazer o aquecimento do filamento e a formação das camadas, o mesmo acabou grudando um ao outro e mesmo sendo realizada a limpeza da peça a maleabilidade do têxtil e a articulação do módulos ficaram comprometidas (Figura 17).

Figura 17: A) Amostra impressa em PLA flexível sem limpeza; B) Amostra limpa.



Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

### 5.5. Flexible Lace (Geometria Floral)

A impressão da amostra com a geometria em formato floral semelhante ao de uma renda foi realizada utilizando o filamento PLA flexível (A) e o PLA rígido (B) ambas por meio da técnica FDM. Nessa geometria os módulos florais se repetem sem que haja o encaixe de módulos assemelhando-se a construção de um *rapport* (repetição), que se repete até formar a superfície (Figura 18).



Figura 18: A) Amostra impressa em PLA flexível; B) Amostra impressa em PLA rígido.



Fonte: Elaborado por Natani A. do Bem.

Diferente das outras geometrias impressas, a geometria floral apresentou-se mais estática semelhante a um tecido armado. A amostra impressa em PLA rígido (Figura 18 (B)), apresentou-se totalmente rígida sem a possibilidade de realizar dobras sem que houvesse a quebra do material. Para a amostra em PLA flexível (Figura 18 (A)) tornou-se possível dobrar o material sem quebrá-lo, além disso, comparado as demais amostras impressas, essa foi a que se demonstrou mais hábil em relação ao processo de finalização pois, não apresentou a necessidade de limpeza o que pode estar relacionado a estrutura e espessura da geometria utilizada.

## 6. Considerações Finais

De acordo com os procedimentos de pesquisa realizados neste trabalho, foi possível observar que a maleabilidade e o caimento de um tecido podem sofrer influência da estrutura utilizada em sua construção, ou seja, a geometria. Podendo ser considerada o fator de principal influência devido ao formato dos módulos que permitem a sua movimentação e consequentemente a capacidade de torção e movimento do tecido.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que os têxteis impressos em camadas mais finas e sem elos tende a apresentar um caimento semelhante aos tecidos planos pois, apresentam um caimento aberto e armado, sem a formação de dobras, podendo estar relacionado às características como matéria-prima e peso.

Diante disso, conclui-se que a geometria, o filamento e as configurações de impressão são fatores que influenciam no índice de caída e de maleabilidade do material, resultando em percepções visuais diferentes em relação ao caimento. Quanto ao fator geometria, principal a ser analisado neste trabalho, percebeu-se que o tamanho dos módulos que compõem a geometria e a articulação presente neles é o que possibilita o caimento e a maleabilidade do têxtil.

Quanto ao fator filamento, mesmo tendo algumas amostras impressas em filamento flexível, observou-se que este material não possui elasticidade e maleabilidade para dois dos



tipos de geometria analisada. Além disso, outro fator que implica no uso desse filamento é o aquecimento do bico extrusor da impressora que acabou comprometendo a função dos elos e a estética do material.

Além disso, ao tratar de maleabilidade nos produtos impressos em 3D deve-se analisar as matérias-primas e a técnica utilizada durante a impressão. Uma vez em que, alguns materiais utilizados não apresentam conforto e flexibilidade necessária para um produto do vestuário. Portanto, para produzir roupas comerciais e em escala são necessárias melhorias no design/geometria dos têxteis, buscando atender as propriedades técnicas dos tecidos convencionais utilizados na indústria.

## Referências

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

BEECROFT, M. 3D printing of weft knitted textile-based structures by selective laser sintering of nylon powder. In: **IOP conference series: Materials science and engineering**. IOP Publishing, 2016. p. 012017. doi:10.1088/1757-899X/137/1/012017

CHAN, Ivonbony; AU, Joe; HO, Chupo; LAM, Jin. (2021) **Creation of 3D printed fashion prototype with multi-coloured texture**: a practice-based approach, *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 14:1, 78-90, DOI: 10.1080/17543266.2020.1861342

ČUK, Marjeta et al. 3D printing and functionalization of textiles. In: *Proceedings of the 10th International Symposium GRID*. 2020. p. 499-506. DOI: <https://doi.org/10.24867/GRID-2020-p56>

ELSASSER, V.H. **Textiles: Concepts and Principles**. 3 ed. Londres: Fairchild Books, 2010.

GRAIN, Emma. An analysis of 3D printed textile structures. In: MONTAGNA; CARVALHO (Ed.). *Textiles, Identity an Innovation: Design the Future*. London: Taylor & Francis Group, 2019. p. 41-48.

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.

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).

HUANG, Tina Qing et al. 3D printing of biomimetic microstructures for cancer cell migration. **Biomedical microdevices**, v. 16, p. 127-132, 2014.

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.

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.

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.

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.

NOH, Kyoung-Seok; SEO, Hae-Won; LEE, Yong-Gu. **3D printing structures that exhibit torsions**. Proceedings of the 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2016), 501-506.

PARK, Sarang et al. Poling-free spinning process of manufacturing piezoelectric yarns for textile applications. **Materials & Design**, v. 179, p. 107889, 2019.

PARTSCH, Leonie; VASSILIADIS, Savvas; PAPAGEORGAS, Panagiotis. 3D printed textile fabrics structures. In: **The International Istanbul Textile Congress, Istanbul, Turkey**. 2015.

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.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos**: história, tramas, tipos e usos. Editora Senac São Paulo, 2021.

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.

SPAHIU, Tatjana; CANAJ, Eriseta; SHEHI, Ermira. 3D printing for clothing production. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 15, p. 1-8, 2020; DOI:10.1177/1558925020948216

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/desprosigradi2016-510.

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>.