

## 5

### Atividades experimentais com ferramentas digitais

Inovação significa aceitar incertezas e ambiguidades, para pensar fora da caixa (...) no contexto do processo de desenvolvimento, deixar estruturas ou convenções existentes, afim de desenvolver produtos e serviços dentro de novos sistemas<sup>75</sup> (CELIK et al., 2017, p.35).

A incorporação de práticas inovadoras na indústria têxtil e de vestuário é uma forte tendência e pode ocorrer de diversas formas. As habilidades e o conhecimentos em torno dos modos tradicionais de produção de vestuário podem ser transferidos, preservados e aplicados de maneira adaptada às tecnologias digitais de fabricação. Tudo o que foi discorrido ao longo dos capítulos anteriores reforça a ideia de que o uso dessas ferramentas digitais pode representar oportunidades de mudança no processo de produção de roupas e acessórios individualizados, tendo em vista, principalmente, a flexibilidade dos processos.

A experimentação de uma base de modelagem parametrizada e a criação de amostras de padrões que podem ser usados na composição de têxteis digitais fazem parte dos objetivos propostos nesta pesquisa. Para alcançá-los, partiu-se da metodologia explicitada nas linhas que se seguem.

Os ensaios de caráter exploratório quanto aos objetivos, e experimental quanto aos procedimentos, foram iniciados a partir da digitalização tridimensional do pé de uma voluntária. O arquivo gerado, a partir do escaneamento, foi utilizado para a simulação virtual de uma palmilha anatômica.

Em seguida, sob os princípios da técnica de modelagem plana, criou-se as bases necessárias para a interpretação de moldes de peças superiores e inferiores. Toda a construção foi desenvolvida no software de modelagem tridimensional Rhinoceros®, juntamente com o programa de modelagem paramétrica Grasshopper®.

---

<sup>75</sup>Tradução livre da autora: '(...) innovation means to accept uncertainties and ambiguities, to think outside the box, (...), in the context of the development process, to depart from existing frameworks or conventions so as to develop services or products within new frameworks or frames'. CELIK, P.; KAMPE, G. **Innovation by experimentation**. [S.l.] Cuvillier Verlag. Auflage, 2017, p.35.

Ao fim, expõem-se amostras de padrões geométricos, com potencial de uso em composições de têxteis digitais, e que podem ser associados a uma modelagem desenvolvida virtualmente. Todas as amostras foram construídas a partir do processo de manufatura aditiva FDM utilizando filamento de PLA flexível (ver item 4.2.2, do capítulo 4).

Pretendeu-se, com as práticas, investigar o potencial de concepção e fabrico de itens de vestuário no contexto da digitalização corporal 3D e da manufatura aditiva, bem como, gerar uma base de conhecimento de automatização fundamentada em algoritmos tendo em vista a necessidade de criação de sistemas que possam atender os processos de customização em massa.

## 5.1

### Digitalização 3D

O ajuste das peças de roupa e acessórios, sobretudo calçados, ao corpo do usuário, há muito representa uma das questões fundamentais na criação de itens de vestuário. A tecnologia de digitalização corporal 3D, permite a criação de um arquivo com formas e medidas idênticas às do indivíduo escaneado (Figura 36).

Obviamente, a grande diversidade de requisitos que podem ser capturados de arquivos digitais, com a extensão de Linguagem Triangular Padrão (STL- *Standard Triangle Language* ou *Surface Tessellation Language*), vai requerer técnicas e ferramentas diferentes. Esse formato recria a geometria de superfície de um modelo sólido, em uma série de triângulos conectados. Quanto maior for o número de triângulos que formam um modelo, maior o tamanho do arquivo e mais detalhado o objeto.

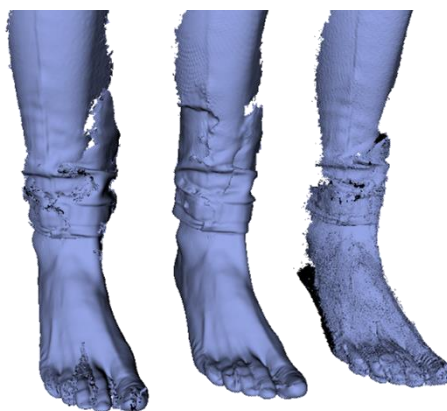


Figura 36 Comparativo da otimização de arquivos de escaneamento.  
Fonte: produzido pela autora.

O arquivo de digitalização do pé foi utilizado para o estudo de palmilhas equiparadas com a anatomia da extremidade do membro inferior (Figura 37). Santos et al. (2013) explicam que imagens desse tipo são a base para a geração de arquivos digitais que permitem a modelagem 3D virtual de modelos com as dimensões exatas de cada indivíduo.

A palmilha de montagem e o reforço da palmilha são componentes fundamentais na construção de um calçado. A palmilha de montagem é a peça na qual o cabedal<sup>76</sup> e a sola são presos. Já o reforço da palmilha ou palmilha de acabamento, constitui a região do calcanhar e da lateral dos pés (Godsi, 2015).

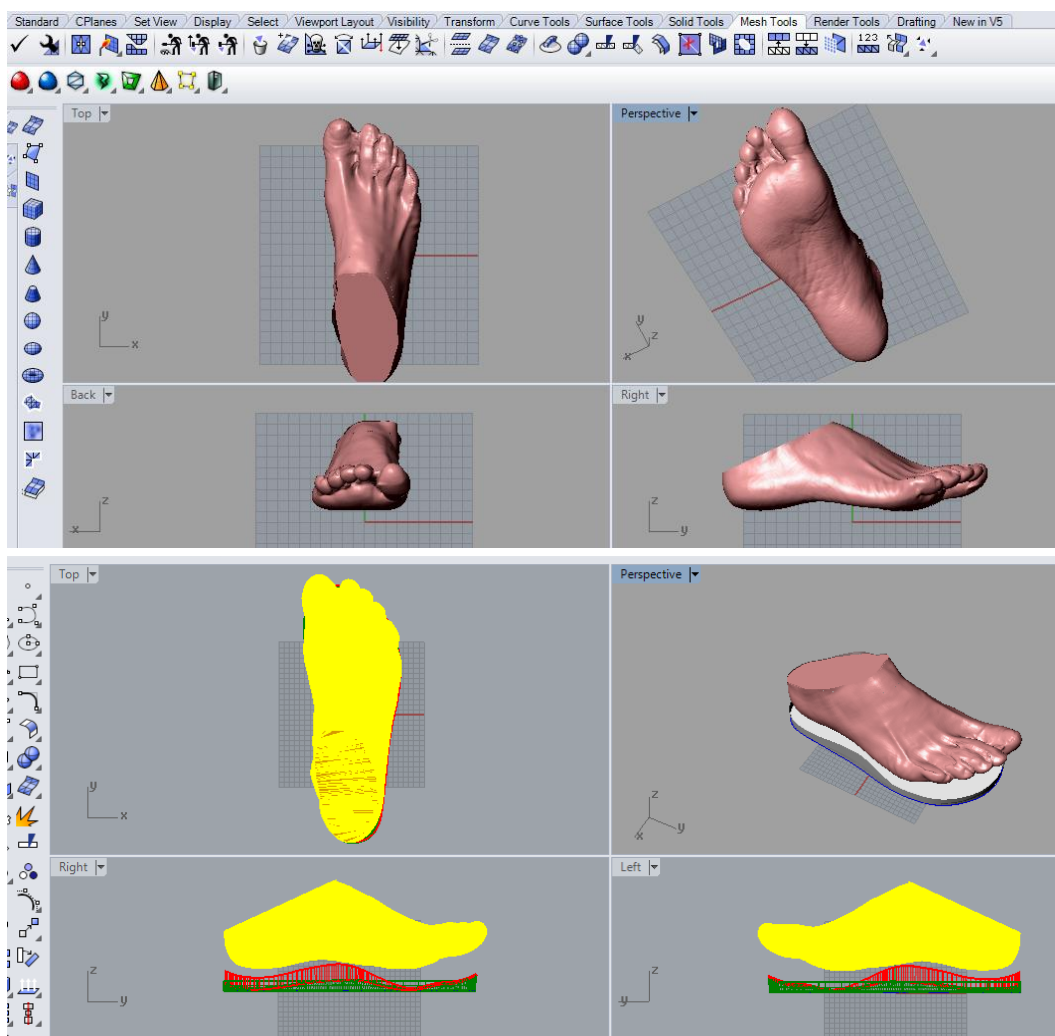


Figura 37 Estudo de palmilha anatômica. Fonte: produzido pela autora.

<sup>76</sup>Cabedal: parte superior do calçado que cobre e protege o dorso pé.

O tipo de caminhar do indivíduo está diretamente relacionado com a curvatura lateral (arcada) do pé (Figura 38). Essa classificação é dividida em três tipos básicos que estão descritos a seguir:

- Neutro: a curvatura do pé é normal e favorece a distribuição de carga e amortecimento de impactos de forma adequada;
- Pronado: curvatura muito pequena, o pé toca quase que por inteiro no solo, o que exige maior esforço na pisada. O pé apoia-se no lado mais interno e usa o dedão para ganhar impulso;
- Supinado: a curvatura lateral é bem acentuada, o que exige que o calcanhar exterior seja o primeiro a tocar no solo. O pé apoia-se no lado mais externo e usa o dedo mínimo para ganhar impulso.

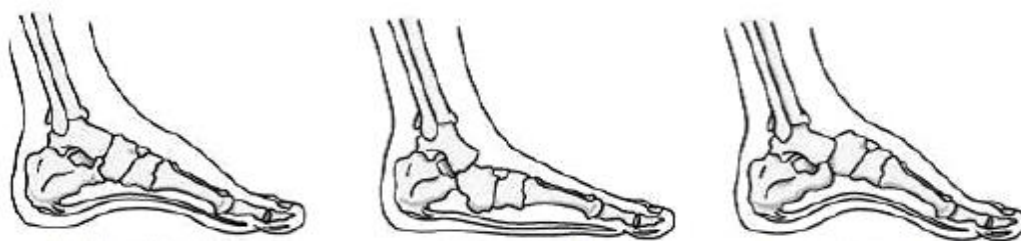


Figura 38 Representação dos tipos de pés (da esquerda para à direita): pé normal (curvatura normal), pé raso (curvatura quase plana) e pé cavo (curvatura acentuada).

Fonte: Desenvolvido pela autora

Com base nessa classificação, desenvolveu-se o esboço de uma palmilha anatômica, projetada de acordo com o tipo de arqueamento lateral do pé, afim de proporcionar maior conforto durante o ato de caminhar. De acordo com a figura 39, observa-se que a anatomia do pé da modelo que foi escaneada pode ser classificado com um pé cavo, devido a curvatura lateral acentuada.

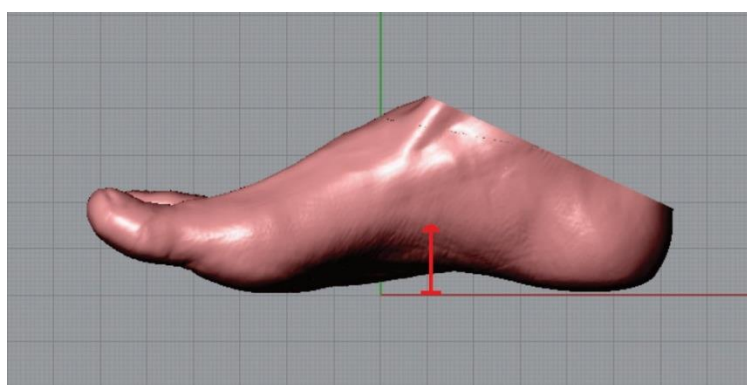


Figura 39 Representação da digitalização de um pé com curvatura lateral acentuada.

Fonte: desenvolvido pela autora.

A partir da análise do pé, foi desenvolvida a simulação virtual da modelagem de uma palmilha com curvatura elevada para compensar a distribuição e a sustentação do peso do corpo (Figura 40). Usar uma palmilha sob medida ajustar algumas alterações biomecânicas durante o caminhar. A palmilha com curvatura elevada aumenta a superfície de contato e melhora o amortecimento do pé.

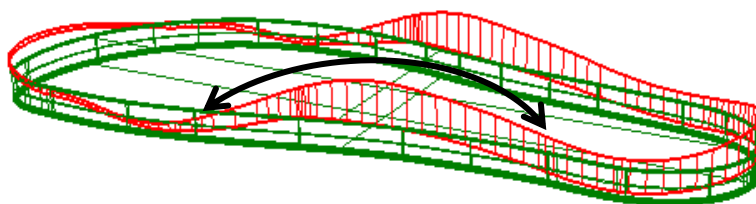


Figura 40 Esboço de palmilha anatômica com curvatura elevada.  
Fonte: desenvolvido pela autora.

Neste ensaio utilizou-se o método de digitalização 3D com sistema de luz branca estruturada, com o *scanner* portátil (Artec®), fez-se a varredura de toda a superfície do pé, de modo muito simples e rápido, com atenção para dois pontos: manter a distância mínima de captura de quarenta centímetros e garantir a imobilidade do indivíduo que está sendo escaneado.

## 5.2 Parametrização de bases de modelagem

Como foi explicitado no capítulo 2, a modelagem é uma das etapas mais importantes na produção de itens de vestuário. Sua precisão matemática apoia-se nos dados da tabela de medidas, que são baseadas em médias calculadas a partir de um determinado número de pessoas.

É quase impossível encontrar uma pessoa que apresente todas as medidas da tabela, porém, não teria outra forma de trabalhar industrialmente, a não ser utilizando medidas padronizadas (DELFINO, 2014, p.51).

Comumente, cada empresa trabalha com a sua tabela, o que leva a uma grande variabilidade de dimensionamento entre peças com a mesma numeração. Isso é um grande problema para o usuário, que sempre fica em dúvida na hora de definir o tamanho do seu próprio manequim.

O processo de interpretação da modelagem geralmente inicia-se a partir dos moldes base. Segundo Fulco (2003), as bases são desenvolvidas com o propósito de representar o contorno do corpo, de forma mais fiel possível.

De acordo com Osório (2007), a modelagem do corpo feminino compõe-se pelo conjunto de cinco bases: blusa frente, blusa costas, manga, saia frente e saia costas. Qualquer desenho de moda pode ser desenvolvido a partir da combinação e/ou adaptação desses cinco moldes. As bases são sempre traçadas pela metade. No caso da saia e da blusa, os elementos básicos, ou pontos referenciais para a sua construção, são as circunferências do busto, da cintura e do quadril, a medida do costado, e o comprimento.

Os sistemas CAD, específicos para o campo de vestuário, já oferecem ferramentas de desenvolvimento para a criação de modelagens digitais. No entanto, softwares de modelagem algorítmica como o Grasshopper® (ver capítulo 4), em razão da sua natureza paramétrica, possui condições de oferecer resposta rápida e eficiente com relação a mudanças realizadas no projeto, viabilizando a possibilidade de automatização de ajustamento individual.

A digitalização corporal 3D e os sistemas de modelagem algorítmica, são ferramentas digitais, que em conjunto, podem atender um grande número de usuários, que não conseguem comprar itens de vestuário a partir de medidas padronizadas. Especialmente, quando se pensa no sistema de compra online, que de acordo com a Ebit – pioneira em realizar pesquisas online e entender o consumidor virtual – o principal motivo das trocas e devoluções de vestuário, deve-se a inadequação dos tamanhos.

A hibridização dessas tecnologias, na prática projetual do designer de vestuário, possibilita a criação de modelos adaptáveis, a partir de um conjunto de condições pré-estabelecidas. Desse modo, quando se altera um parâmetro (medida) de algum ponto referencial da modelagem, todas as funções dependentes desse ponto são modificadas.

A personalização da base de modelagem é uma das etapas mais lentas no processo de construção de uma peça sob medida, já que é necessário o traçado individual de cada molde com as medidas personalizadas de cada cliente. (...) o tempo de alteração de uma modelagem, manualmente, é de aproximadamente quarenta minutos, já a alteração das medidas no sistema leva cerca de três minutos (COSTA, 2016, p.63)

A modelagem algorítmica permite controlar, associar, otimizar e automatizar as operações de ajuste através de um conjunto de instruções pré-definidas. Depois de parametrizada a base de modelagem pode ter suas medidas alteradas rapidamente, apenas com o ajuste de três pontos referenciais.

### Construção da modelagem paramétrica

No ensaio apresentado a seguir buscou-se desenvolver a modelagem algorítmica das bases de saia e de blusa femininas, utilizando como parâmetro, as medidas do manequim de *draping* da Draft®, que é pioneira na padronização de medidas para produção industrial (Quadro 5). O objetivo foi testar a eficácia de sistemas de adaptação de peças de vestuário, a partir da alteração das medidas de pontos referenciais da modelagem tornando o produto único para cada usuário. Uma espécie de sob medida virtual.

**Tabela de Medidas – Manequim Tamanho 40**

Referência	Medida (cm)
Ombro	12
Decote	42
Circunferência do Busto	86
Atura do Busto	20
Largura do costado	38
Cava	44
Circunferência do Cintura	69
Circunferência do Quadril	98
Altura do joelho	50

Quadro 5 Tabela de medidas do manequim de *draping* da Draft®, tamanho 40.  
Fonte: Desenvolvido pela autora.

O método escolhido para a construção das bases foi o relacionado aos princípios da modelagem plana. Entretanto, não se pretendeu aqui, entrar em detalhes pormenorizados sobre a construção dos moldes. O ponto central foi a exploração das etapas de construção a partir do software de modelagem algorítmica Grasshopper® (GH).

## Base da Saia

A base da saia corresponde à região dos membros inferiores do corpo. Compreende a distância entre a cintura e o joelho. A modelagem da base de saia tem uma estrutura simplificada, pois necessita apenas reduzir o volume do quadril para a cintura. As medidas básicas para a construção dessa base são a circunferência da cintura, a circunferência do quadril e a altura do joelho.

A construção do traçado da base de saia se dá por uma sequência de etapas que são listadas na figura 41. Onde também, pode-se observar a representação gráfica da geometria que a representa.

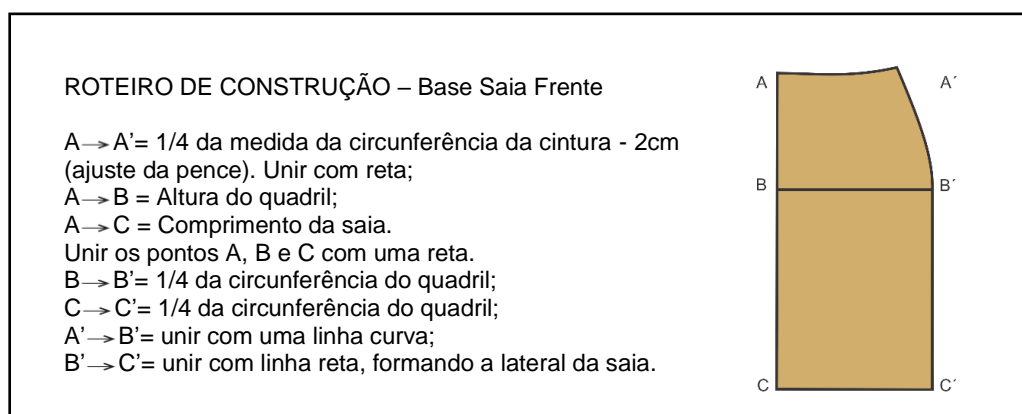


Figura 41 Roteiro de construção da base de saia frente. Fonte: desenvolvido pela autora.

Na área de trabalho do GH, inicia-se o traçado da base, com a representação do ponto A na origem do plano cartesiano (Figura 42).

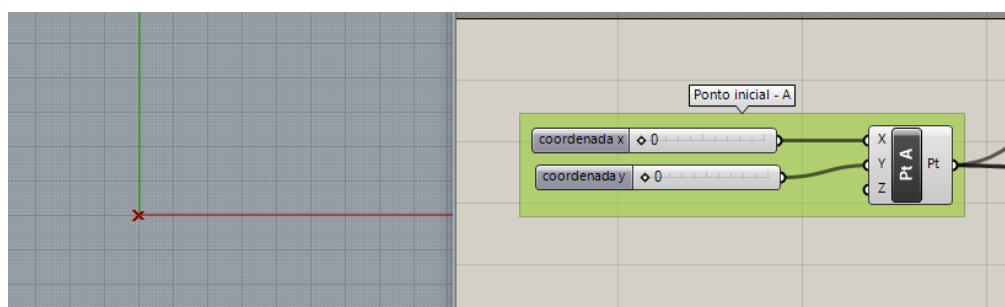


Figura 42 Marcação do ponto inicial. Fonte: desenvolvido pela autora.

Na figura 43 apresenta-se a etapa seguinte, que é a determinação da distância do ponto A ao ponto A', que corresponde a 1/4 da circunferência da cintura, subtraídos de 2cm referente ao ajuste da pence.



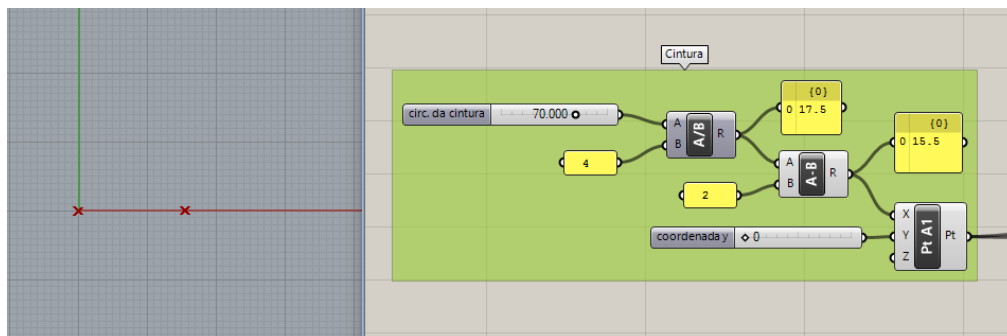


Figura 43 Marcação dos pontos da linha da cintura. Fonte: desenvolvido pela autora.

A altura do quadril refere-se a uma medida pré-determinada de 20cm, que indica o seu ápice (Figura 44).

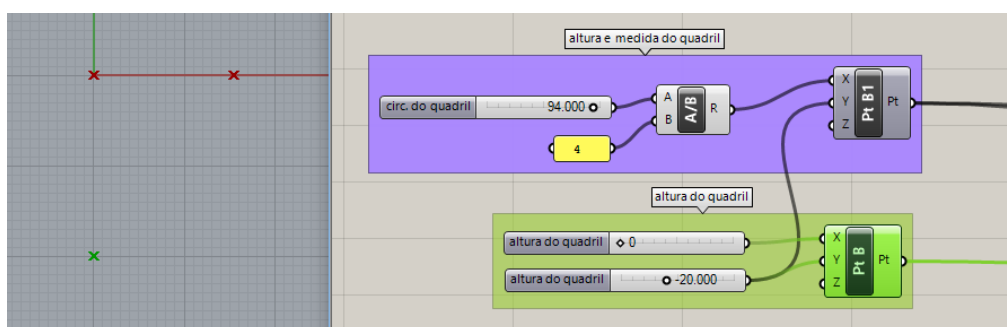


Figura 44 Marcação da altura do quadril. Fonte: desenvolvido pela autora.

O comprimento da saia é determinado pela medida correspondente à altura do joelho. Em seguida liga-se os pontos A, B e C com uma reta (Figura 45).

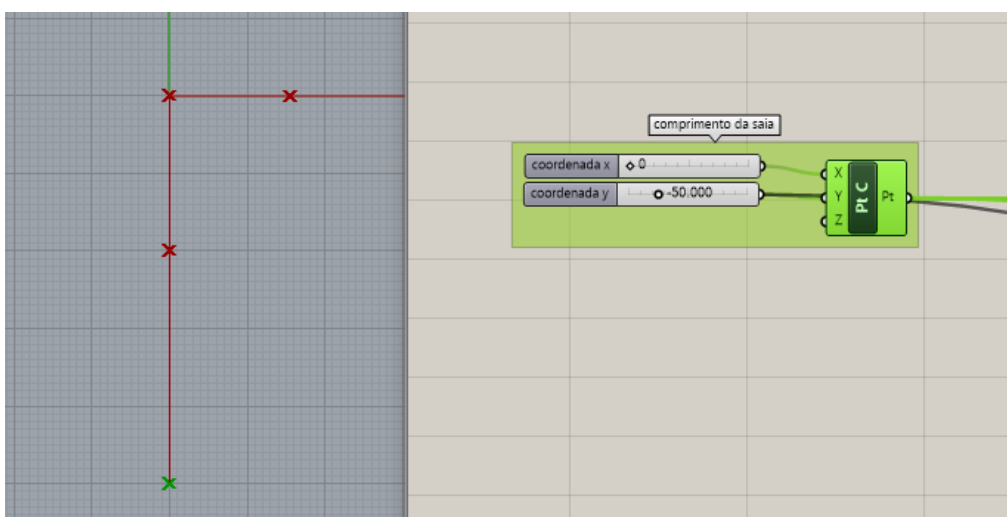


Figura 45 Marcação do comprimento da saia. Fonte: desenvolvido pela autora.

De acordo com o roteiro de produção da base da saia, o próximo passo foi determinar a distância entre B e B', que corresponde a  $\frac{1}{4}$  da circunferência do quadril (Figura 46).

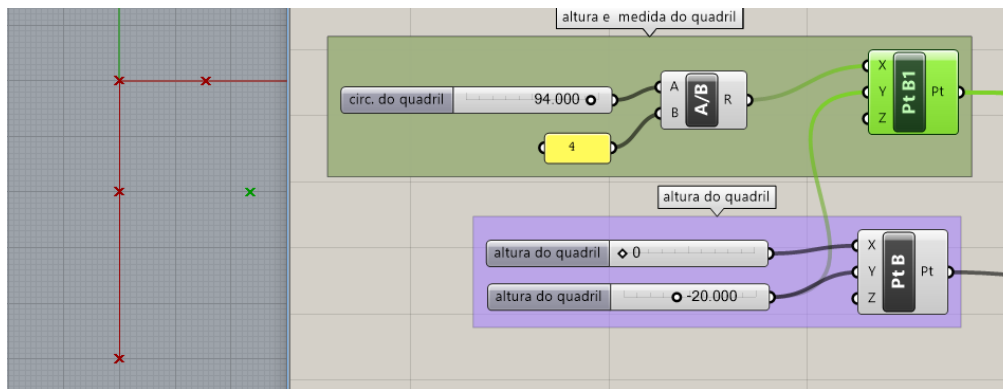


Figura 46 Marcação da largura do quadril. Fonte: desenvolvido pela autora.

O último ponto encontrado é o C', cuja medida também é representada por  $\frac{1}{4}$  da circunferência do quadril (Figura 47).

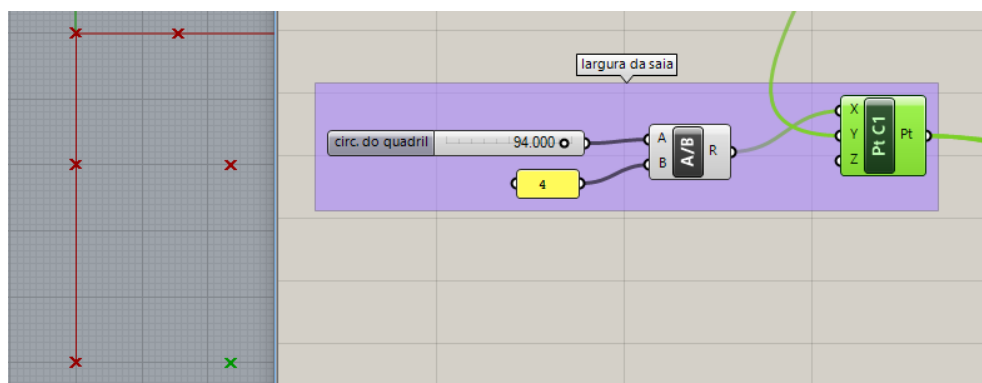


Figura 47 Marcação da largura da saia. Fonte: desenvolvido pela autora.

Para a finalização do traçado, ligar-se os pontos B' e C' e os pontos C e C' com retas. Para conectar os pontos A' e B', utiliza-se uma curva (Figura 48).

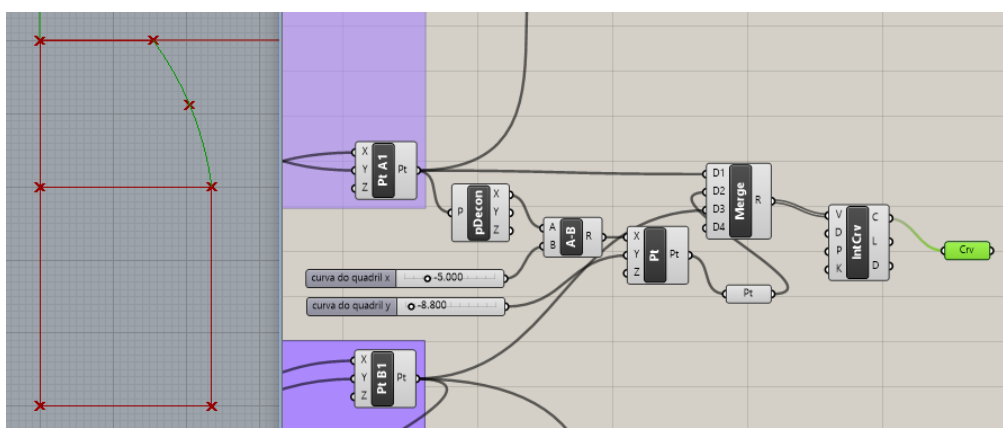


Figura 48 Definição da geometria da base de saia frente. Fonte: desenvolvido pela autora.

A figura 49, ilustra a modelagem da base de saia frente e a sua *definition* (conjunto de algoritmos). Todos os pontos sinalizados na base podem ser alterados, em conjunto ou individualmente, sem que haja a necessidade de reiniciar todo o processo.

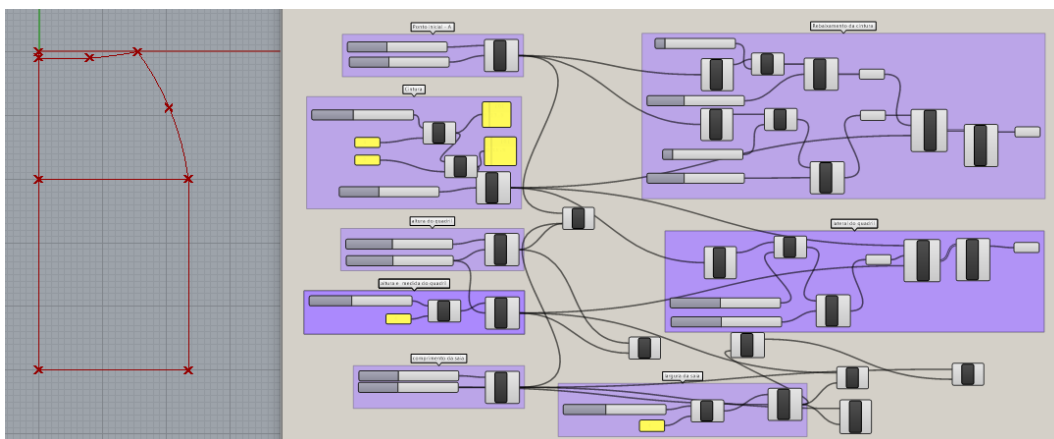


Figura 49 Representação da geometria da base de saia costas.  
Fonte: desenvolvido pela autora.

O desenvolvimento da base da saia costas acontece de forma análoga, o que as diferencia é o rebaixamento da cintura, que no lugar de 1cm passa a ser de 2cm, e o ajuste da pence, que nas costas é de menos três unidades. Por este motivo, as etapas dessa construção não foram detalhadas. O resultado final pode ser visualizado na ilustração a seguir (Figura 50).

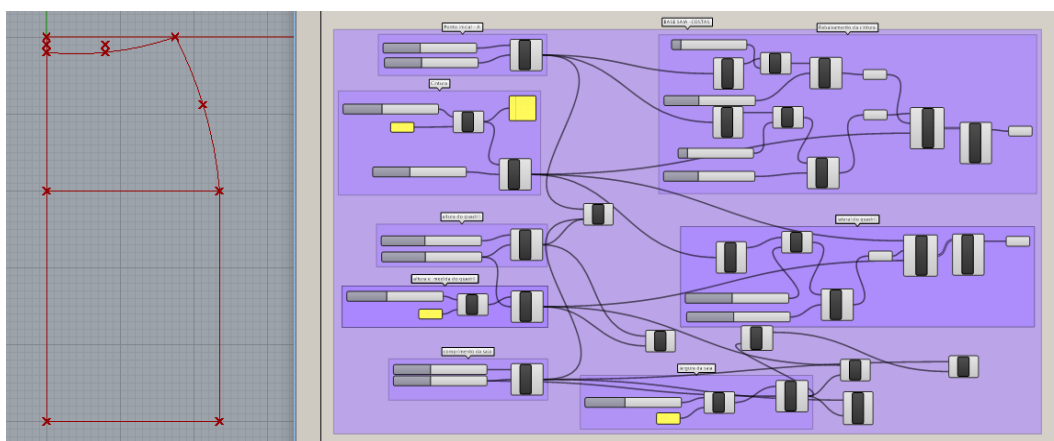


Figura 50 Representação da geometria da base de saia costas.  
Fonte: desenvolvido pela autora.

Como pode ser visto nas imagens acima, o conjunto de algoritmos que representam a modelagem da base da saia, é bastante complexo. Os componentes que equivalem aos pontos referenciais de ajuste da modelagem – circunferência da cintura, circunferência do quadril e comprimento da saia – são

destacados do conjunto de algoritmos. Qualquer alteração feita em um desses pontos, é reproduzida em todo o modelo.

Abaixo, tem-se a representação completa do conjunto de algoritmos que representam a base de saia (Figura 51 e 52). Logo após a modelagem parametrizada da base de saia (Figura 53).

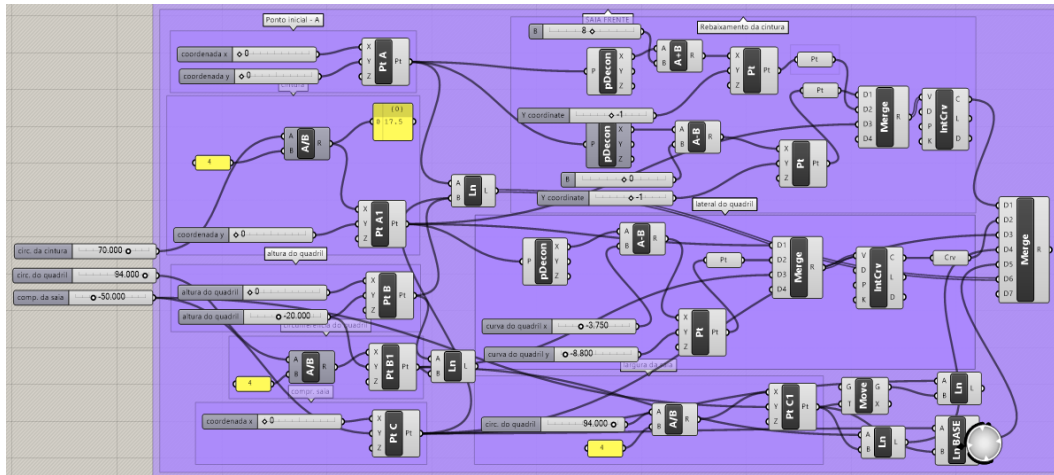


Figura 51 Conjunto de algoritmos da base de saia frente. Fonte: desenvolvido pela autora.

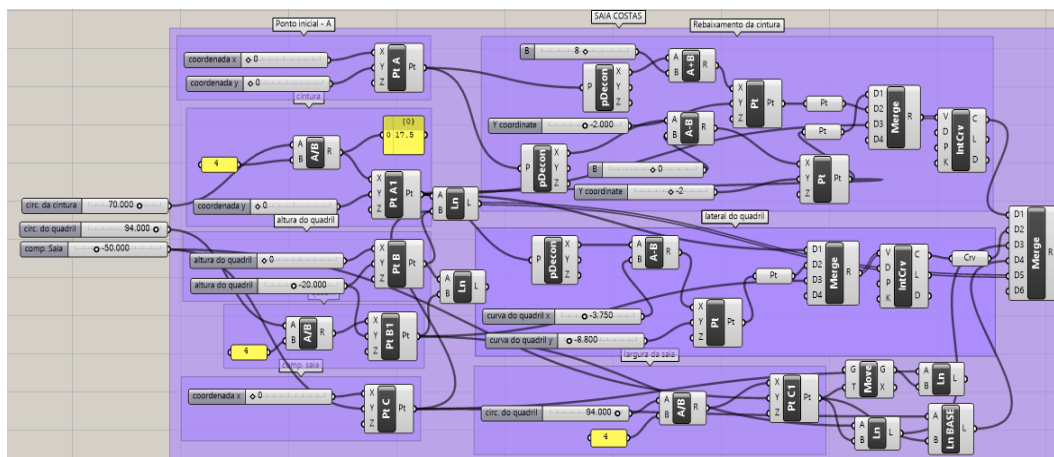


Figura 52 Conjunto de algoritmos da base de saia costas. Fonte: desenvolvido pela autora.

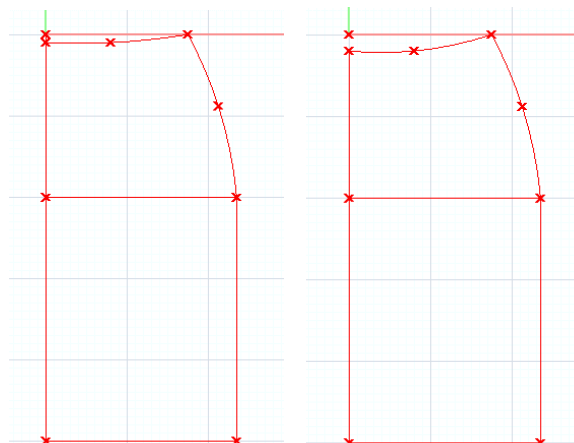


Figura 53 Representação da base de saia parametrizada. Fonte: desenvolvido pela autora.

## Base da Blusa

A base da blusa refere-se à região do tronco do corpo. Envolve a distância entre o ombro e a cintura. Os pontos referenciais para a construção da base da blusa são a medida do costado e as circunferências do busto e da cintura.

A sequência da construção do traçado da base de blusa é descrita no roteiro abaixo, junto com a geometria que a representa (Figura 54).

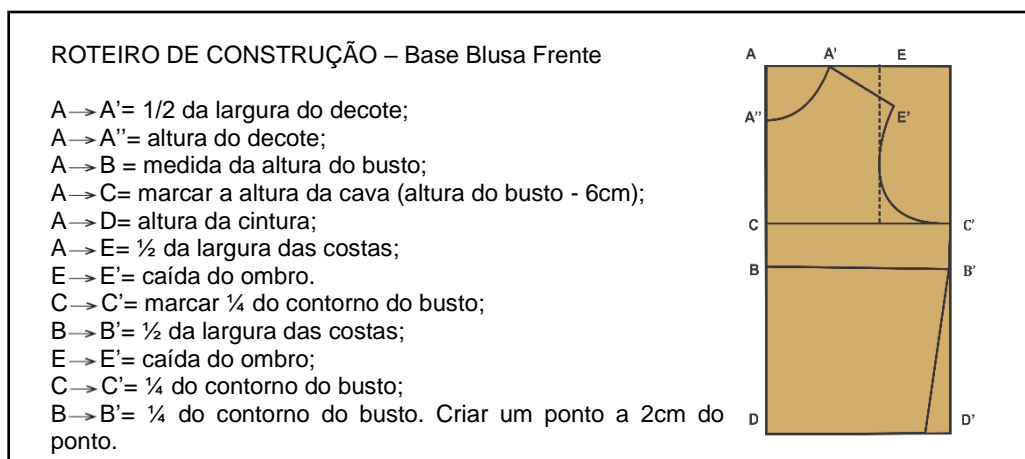


Figura 54 Roteiro de construção da base de blusa frente. Fonte: desenvolvido pela autora.

Para o desenvolvimento da base da blusa, toma-se como ponto de partida, a marcação do ponto A na origem (Figura 55).

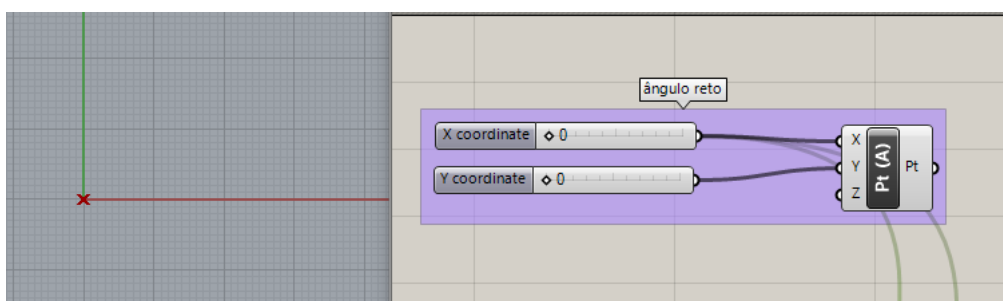


Figura 55 Marcação do ponto inicial. Fonte: desenvolvido pela autora.

Em seguida, determina-se o ponto B representado pela altura do busto, cujo valor, que não costuma variar muito, é de 27cm (Figura 56).

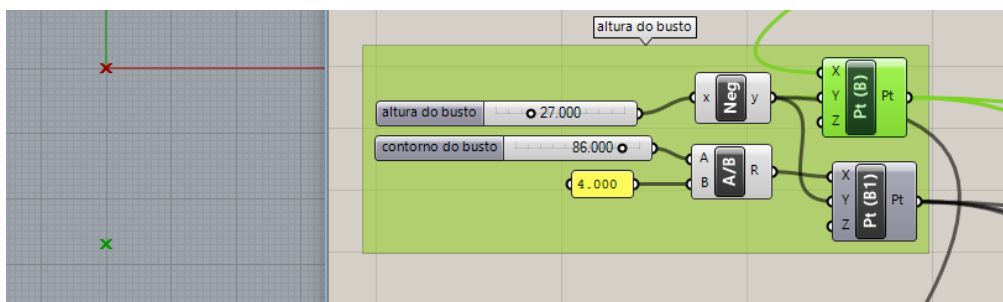


Figura 56 Marcação da altura do busto. Fonte: desenvolvido pela autora.

O passo seguinte é a marcação do ponto B', que corresponde a  $\frac{1}{4}$  da circunferência do busto (Figura 57).

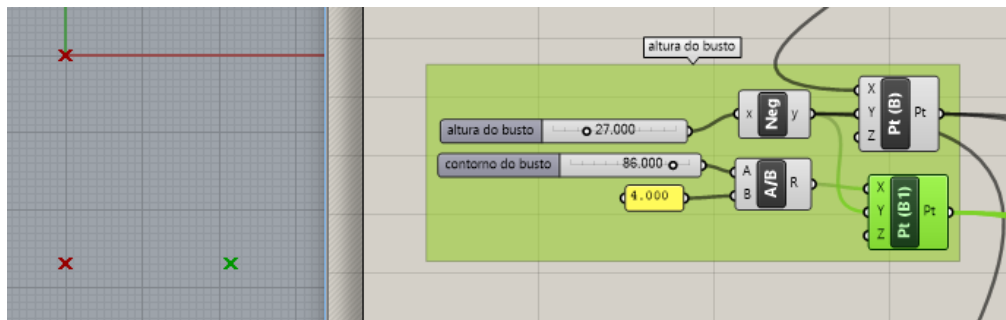


Figura 57 Marcação da largura do busto. Fonte: desenvolvido pela autora.

Segundo o método de modelagem industrial, convencionou-se determinar que a altura da cava, equivale ao valor da altura do busto subtraído de seis unidades. A largura da cava é  $\frac{1}{4}$  da circunferência do busto (Figura 58).

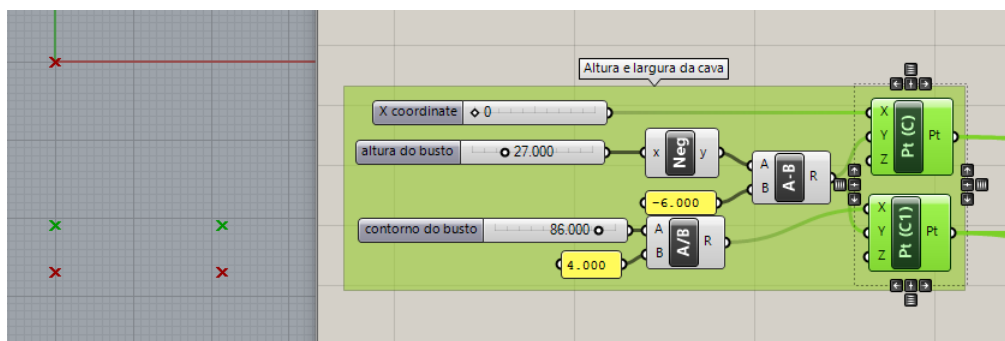


Figura 58 Marcação da altura e da largura da cava. Fonte: desenvolvido pela autora.

O decote na base é traçado junto ao pescoço. Somente no momento da interpretação é que se decide dar-lhe a forma exigida pelo modelo. Para atribuir os valores de altura e largura do decote, toma-se a medida do costado como referência. A largura é determinada pela divisão da medida do costado por três; e para a altura, acrescenta-se duas unidades a esse resultado (Figura 59).

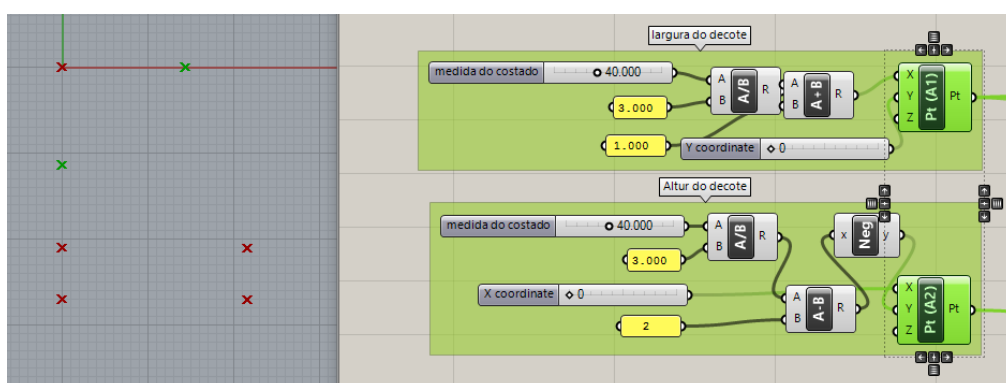


Figura 59 Marcação da altura e largura do decote. Fonte: desenvolvido pela autora.

O traçado da curva do decote é construído com a utilização dos mesmos componentes usados na curvatura do quadril na base da saia. Aqui, considera-se que a altura do ponto no eixo y, equivale à medida do costado subtraído de uma unidade (Figura 60).

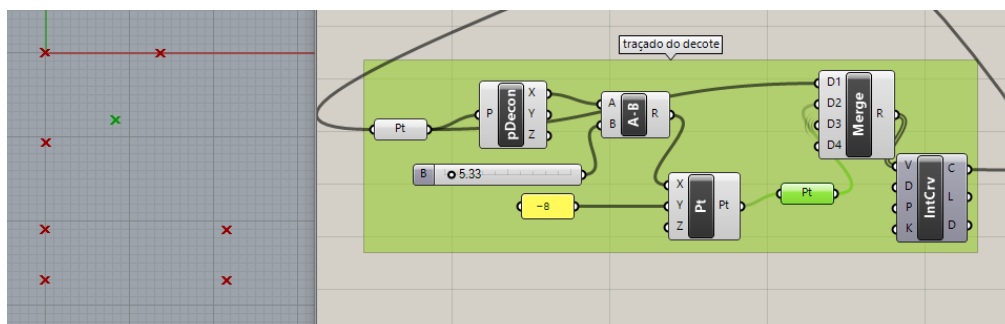


Figura 60 Marcação da curvatura do decote. Fonte: desenvolvido pela autora.

A próxima etapa é a marcação do ombro. No processo industrial, sempre se atribui o valor de 4,5cm na marcação do rebaixamento do ombro. Quando a modelagem é feita sob medida, esse valor pode variar (Figura 61).

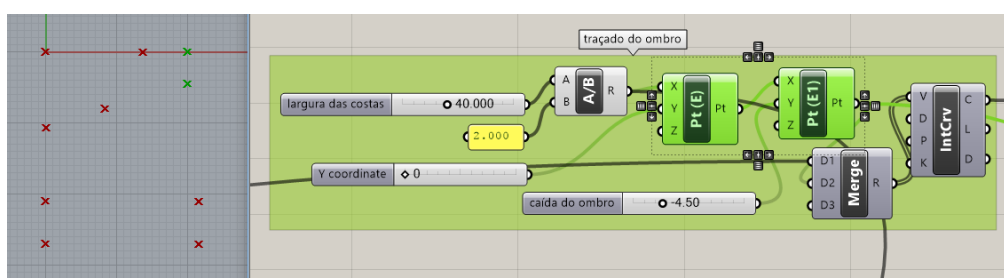


Figura 61 Marcação do rebaixamento do ombro. Fonte: desenvolvido pela autora.

A cava figura-se por uma linha curva que se inicia no ponto E' e termina no ponto C', localizado na costura lateral. Atribui-se um ponto intermediário nessa curva para facilitar o traçado da cava (Figura 62).

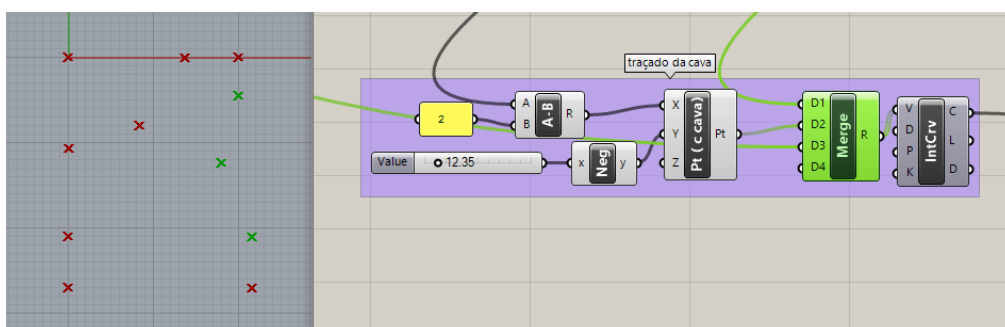


Figura 62 Marcação da curvatura da cava. Fonte: desenvolvido pela autora.

Para determinar o comprimento e a circunferência da blusa, faz-se uso das medidas de altura da blusa e da circunferência da cintura, respectivamente. Na base da blusa, a altura coincide com a linha da cintura (Figura 63).

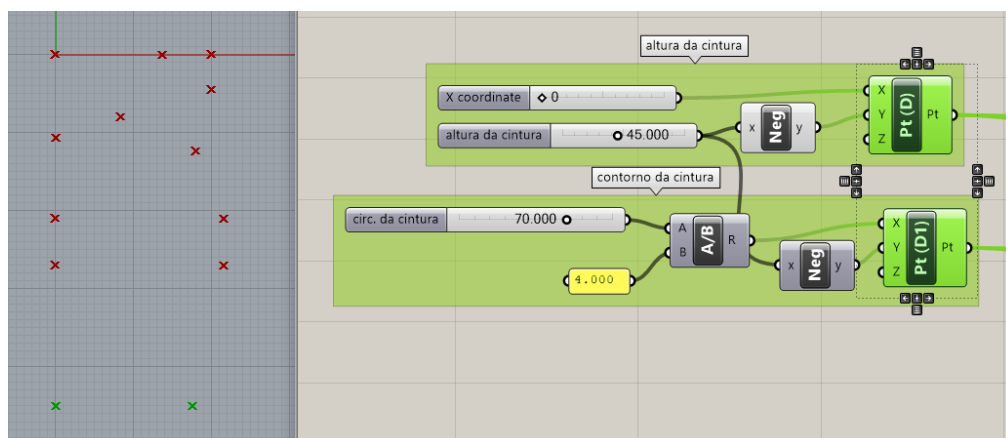


Figura 63 Marcação da altura e da circunferência da cintura. Fonte: desenvolvido pela autora.

Depois de finalizada a marcação de todos os pontos da base, estes devem ser unidos, ora com curvas, ora com retas. Lembrando que essas marcações devem estar parametricamente relacionadas com seus respectivos pontos referenciais no momento de fazer a união. Abaixo, tem-se a representação da base de blusa frente (Figura 64).

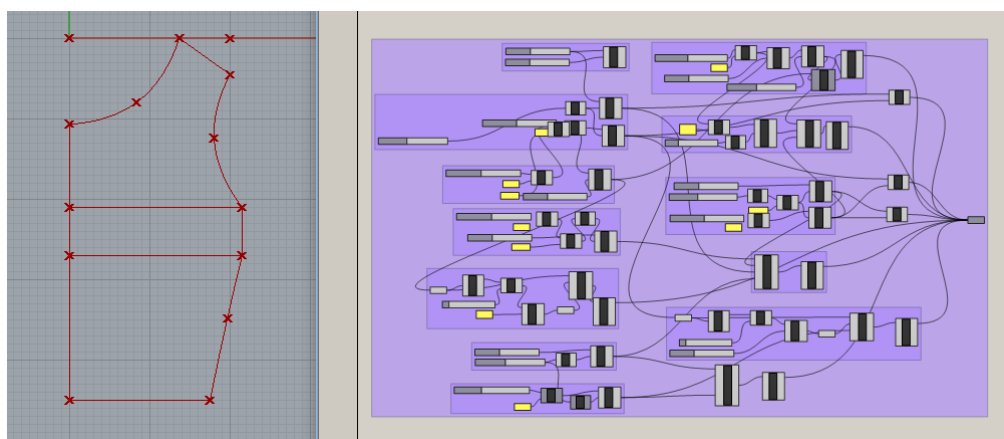


Figura 64 Conjunto de algoritmos da base de blusa frente. Fonte: desenvolvido pela autora.

A construção da base da blusa costas, apresenta uma sequência de construção semelhante ao da blusa frente. As principais diferenças são a altura do decote e a ausência da linha de marcação do busto. Por este motivo, decidiu-se não discorrer detalhes sobre o processo. Na figura 65, apresenta o roteiro com as etapas de construção da base de blusa costas.



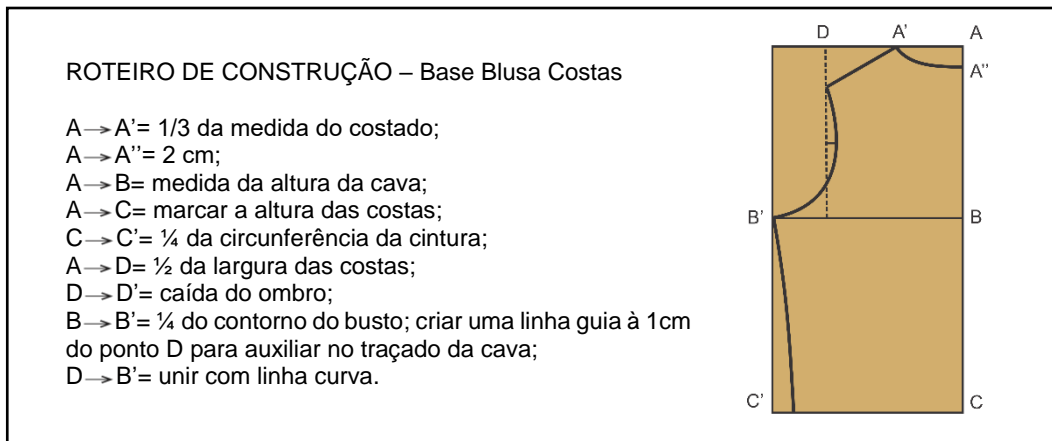


Figura 65 Roteiro de construção da base de blusa costas. Fonte: desenvolvido pela autora.

A seguir, representação gráfica e o conjunto de algoritmos que representa a modelagem da base da blusa costas (Figura 66).

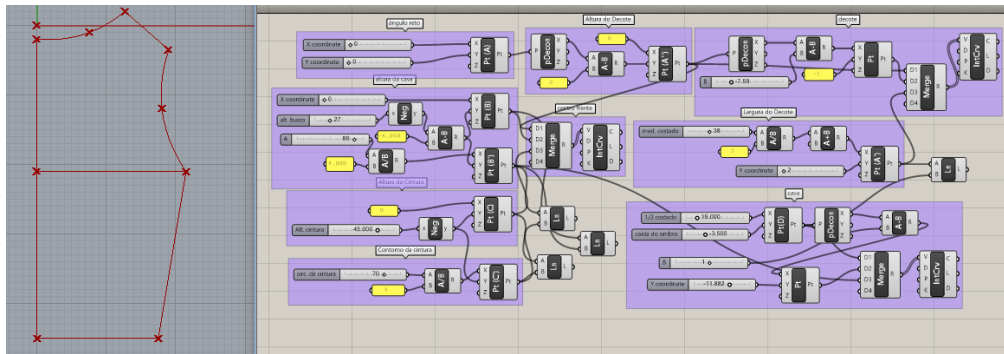


Figura 66 Representação da geometria da base de blusa costas. Fonte: desenvolvido pela autora.

Abaixo, os conjuntos de algoritmos que correspondem à construção da base de blusa frente e costas, com destaque para os componentes que representam os pontos referenciais. A partir da alteração desses três inputs, toda a base é parametricamente ajustada (Figura 67 e 68).

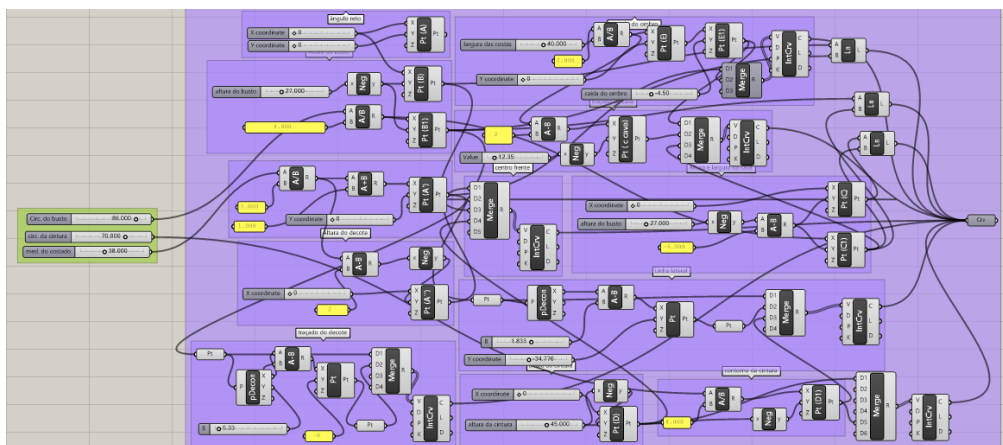


Figura 67 conjunto de algoritmos da base de blusa frente: Fonte: desenvolvido pela autora.

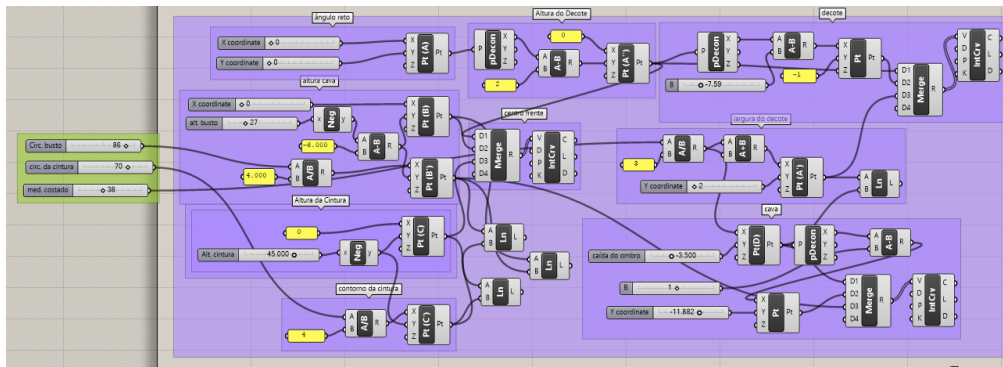


Figura 68 Conjunto de algoritmos da base de blusa costa. Fonte: desenvolvido pela autora.

Na figura 69, tem-se a representação da base da blusa frente e costa parametrizada.

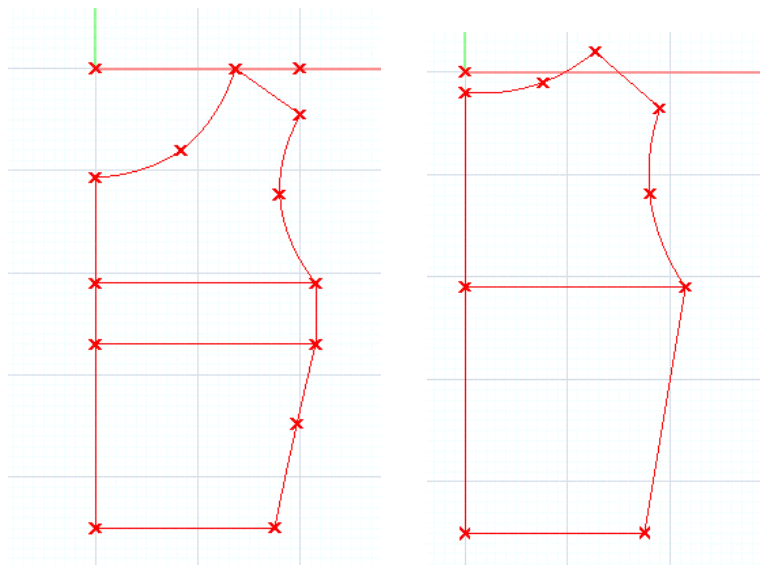


Figura 69 Representação da base de blusa parametrizada. Fonte: desenvolvido pela autora.

Além das alterações relacionadas ao ajuste da peça, pode-se oferecer ao usuário a possibilidade de realizar alterações no modelo, de acordo com opções pré-estabelecidas.

### 5.3 Manufatura aditiva de padrões têxteis

Todos os produtos feitos a partir de processos de manufatura aditiva podem ser únicos de alguma forma. Isso significa que com a manufatura aditiva pode-se lidar com um lote e um tamanho base mais facilmente do que no processo tradicional de fabricação. Isso implica dizer que os produtos poderiam ser feitos um de cada vez, com variações específicas.

O processo de manufatura aditiva é muito flexível e tem a capacidade de reproduzir formas de grande complexidade geométrica. Pode-se imprimir praticamente tudo o que é projetado em um computador, desfazendo-se as limitações por conta de máquinas, ferramentas, e outros processos intermediários.

Os têxteis tradicionais são construídos a partir de técnicas de tecelagem<sup>77</sup>. Os padrões dos tecidos variam de acordo com tipo de entrelaçamento dos fios, que resulta em diferentes padrões. Uma das principais características dos tecidos é a sua maleabilidade, o que permite a construção de peças de vestuário que acompanham a silhueta e os movimentos do usuário.

Quando se pensa em desenvolver um têxtil não convencional, deve-se considerar dois pontos primordiais: a conformação estrutural e o material utilizado. O objetivo deste ensaio, foi explorar a impressão de padrões que remetem a estruturas têxteis, através do processo de manufatura aditiva FDM, utilizando filamento de PLA flexível.

### **Manufatura aditiva FDM e Filamento Flexível**

A escolha do método de Modelagem de Deposição por Fusão (*Fused Deposition Modeling* – FDM) para realizar as experimentações deu-se pelo fato de ser hoje, a tecnologia de manufatura aditiva mais acessível do mercado. E o filamento de PLA flexível, um elastômero termoplástico (TPE) com uma base de poliuretano alguns aditivos e corantes, permite a criação peças maleáveis.

A maioria das impressoras trabalham bem com o filamento flexível. O PLA não requer uma mesa aquecida, tem aparência brilhante e suave, e o ponto de fusão é mais baixo, em relação ABS. O filamento de PLA apresenta boas propriedades elásticas e alto coeficiente de atrito<sup>78</sup>.

O excesso de fricção do filamento, em alguns casos, pode causar problemas no momento de carregar o material. O filamento acaba saindo pelo lateral da engrenagem que o conduz até a extrusora. Nesses casos, é importante garantir que o tubo de alimentação não tenha curvas acentuadas ou torções, para permitir que o filamento percorra o caminho até a cabeça de impressão sem obstáculos.

Projetos desenvolvidos em softwares de modelagem tridimensional, podem gerar arquivos no formato STL que é reconhecido por qualquer impressora. Depois da definição da geometria do objeto, o próximo passo é o fatiamento do modelo geométrico em camadas bidimensionais (Figura 70).

<sup>77</sup> Tecelagem é o ato de tecer através do entrelaçamento de fios de trama (horizontais) com os fios de urdume (verticais), formando os tecidos.

<sup>78</sup> Coeficiente de atrito é o coeficiente adimensional que expressa a oposição de dois corpos em contato, ao deslizar um em relação ao outro.

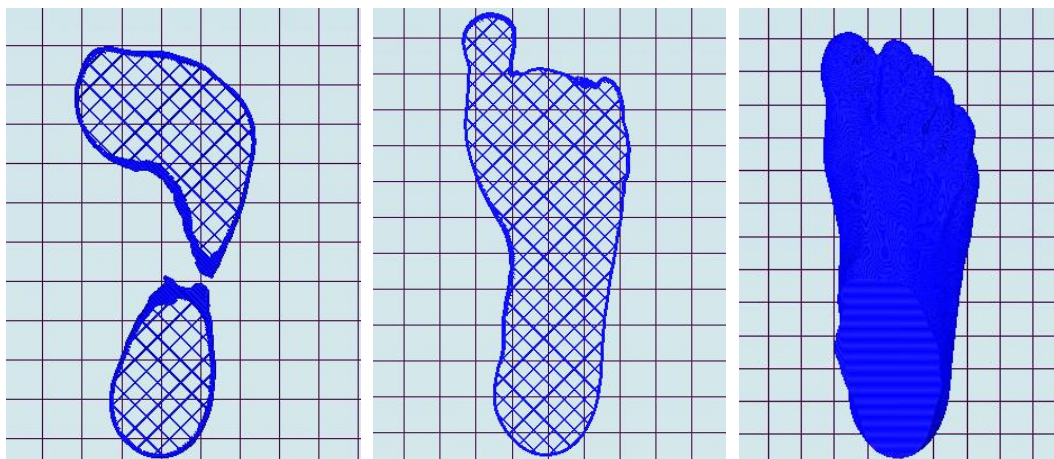


Figura 70 Camadas bidimensionais de impressão do pé. Fonte: desenvolvido pela autora.

Essa divisão em seções planas, é feita em softwares específicos<sup>79</sup>. Cada uma dessas superfícies obtidas, através do fatiamento da figura original, é descrita, geralmente, em uma linguagem criada em tecnologias de CNC (controle numérico) denominada *gcode*<sup>80</sup>. O *gcode* descreve cada superfície horizontal através de comandos utilizados em máquinas de controle numérico, tais como: caminhe a uma velocidade de X das coordenadas “A” até “B”. Isso fará com que a impressora 3D, imprima uma linha sólida de espessura pré-determinada, no plano definido pelas coordenadas “A” e “B”. A impressão de diversas linhas sólidas num determinado plano definirá a impressão da superfície desejada. O arquivo *gcode* descreve todas as superfícies fatiadas em um único arquivo que é interpretado pela maioria das impressoras 3D.

Os softwares de fatiamento permitem a configuração geral do processo de impressão. Pode-se controlar a velocidade, a temperatura da mesa e do extrusor, a densidade do objeto, a precisão da impressão, etc. Finalizado o processo de fatiamento, tem-se a previsão do tempo de impressão, e em alguns casos a quantidade de material que será consumido no processo e a precisão dimensional pelo número e espessura das camadas horizontais.

A última etapa é a fabricação do modelo físico tridimensional. A primeira camada é depositada sobre a mesa de impressão, em seguida, a mesa desloca-se até a altura da segunda camada, e novamente o material é depositado. Essa deposição ocorre de forma sucessiva, até que a composição do objeto esteja concluída (Figura 71).

<sup>79</sup> Exemplo de softwares de fatiamento: *Slic3r*, *CuraEngine*.

<sup>80</sup> *Gcode* é um código de linguagem de programação que pode ser interpretado por máquinas que operam por comando numérico computadorizado (CNC).

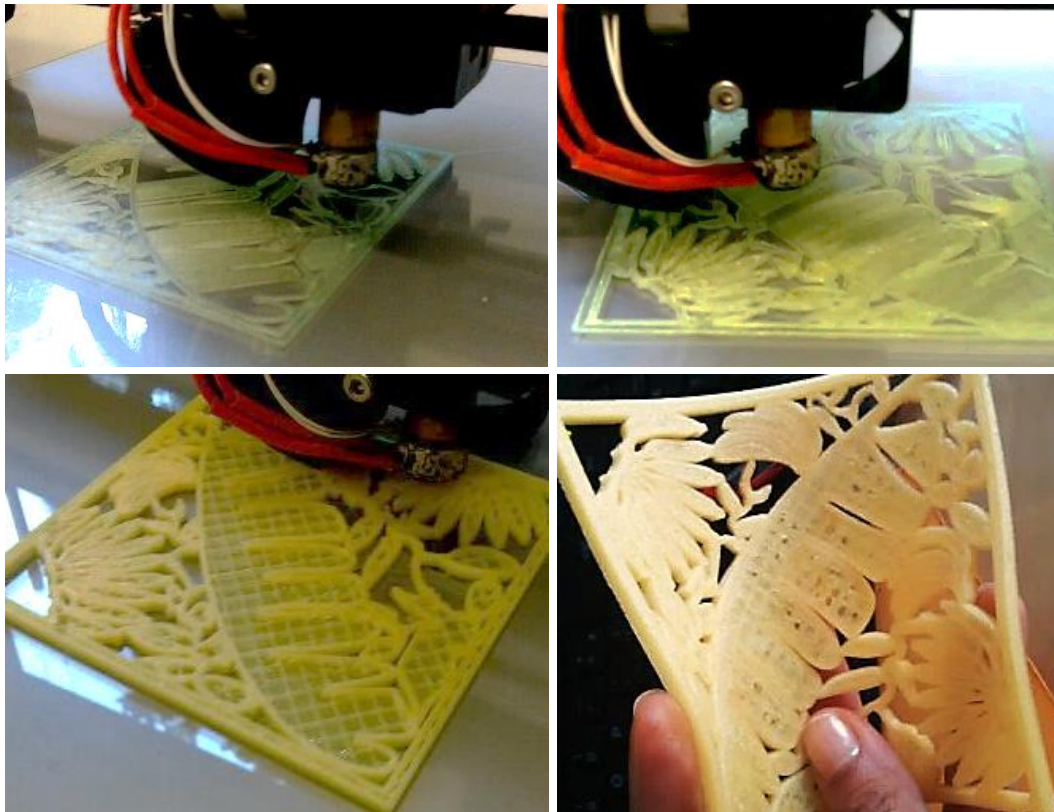


Figura 71 Processo de impressão do padrão *Renda Brasileira I*. Fonte: desenvolvido pela autora.

Na série de padrões *Renda Brasileira*, desenvolvida pela autora, observou-se o estudo de três arranjos diferentes para a composição dos elementos. Aproveitou-se também para testar como o filamento de PLA flexível se comportava com diferentes espessuras, como no padrão *Renda Brasileira II* (Figura 72).

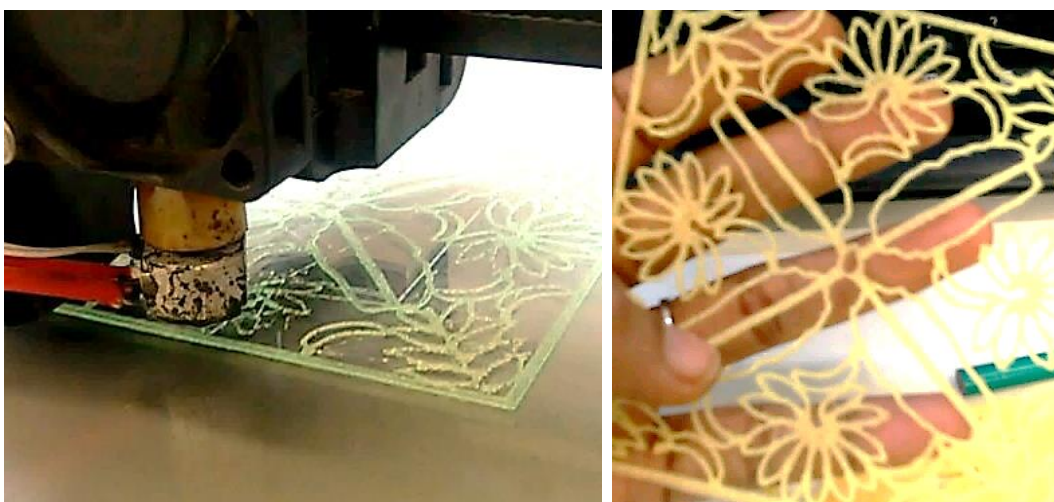


Figura 72 Processo de impressão do padrão *Renda Brasileira II*. Fonte: desenvolvido pela autora.



Quando se trabalha com o PLA flexível, é importante reduzir a velocidade de impressão e ajustar o comprimento de retração, em torno de 4mm, para garantir um melhor resultado (Figura 73).

Padrões como os que foram expostos acima podem ser inseridos em modelagens construídas no Rhinoceros® e no Grasshopper®. Existem também sites com arquivos de padrões que podem ser usados para compor estruturas têxteis. O *Thingiverse* é um dos portais pioneiros em agregar gratuitamente conteúdo focado em impressão 3D. O site dispõe de inúmeras categorias de objetos para download que podem ser diretamente utilizados em impressoras 3D.

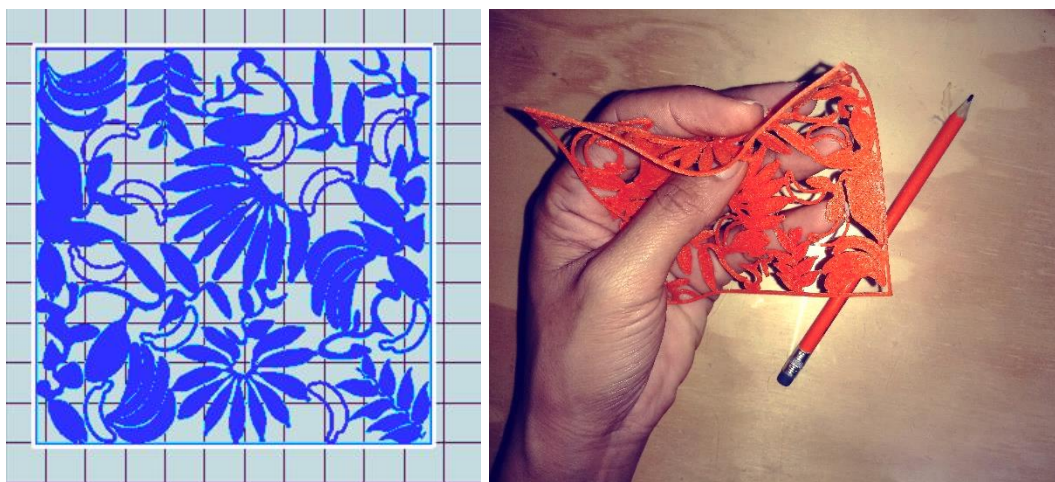


Figura 73 Processo de configuração da impressão do padrão *Renda Brasileira III*.  
Fonte: desenvolvido pela autora.

A manufatura aditiva FDM praticamente não gera resíduos em seu processo de fabricação. Este é um ponto importante a ser considerado, levando-se em consideração que a indústria têxtil é uma das que mais gera resíduos sólidos.

## 5.4 Resultados

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa buscou-se o embasamento teórico acerca das tecnologias que foram utilizadas nos experimentos. As principais inovações realizadas no processo demonstraram a viabilidade de hibridização das ferramentas digitais que foram aplicadas.

O primeiro ensaio demonstrou que fazendo-se uso da técnica de digitalização tridimensional, pode-se adaptar o calçado aos contornos exatos do pé do usuário. Em decorrência, tem-se um produto mais confortável e com grande diferencial competitivo. Os dados da digitalização tanto podem ser usados para

tornar os processos tradicionais mais assertivos, quanto para a realização de compras online.

Como foi dito antes, as bases são o ponto de partida para a criação da modelagem de qualquer modelo. A partir das bases parametrizadas resultantes do segundo ensaio, é possível desenvolver diferentes peças, seguindo-se as técnicas de interpretação de modelagem.

Outra possibilidade de construção das bases de modelagem é a partir de dados antropométricos obtidos do processo de digitalização corporal 3D. Esses dados podem ser lidos automaticamente pelo software Grasshopper® para gerar modelagens tridimensionais com formas ainda mais precisas.

No último ensaio testou-se a possibilidade de criação de têxteis digitais a partir de padrões baseados nos tradicionais tecidos de renda. Com o experimento foi possível observar que a distribuição dos elementos interfere diretamente na conformação final do padrão, pois, é preciso considerar a maleabilidade limitada do filamento de PLA flexível. Uma aplicação interessante para os resultados obtidos neste ensaio, seria o uso desses têxteis digitais para compor detalhes em peças de roupa convencionais, expandindo as possibilidades de criação.

Mesmo que a fabricação de têxteis com detalhes semelhantes aos produzidos pelas técnicas convencionais de tecelagem seja ainda algo para o futuro, isso não impede que se pense sobre como esses produtos poderão ser produzidos com o apoio das tecnologias digitais. A pesquisa de materiais que poderão ser usados pelas impressoras 3D está evoluindo rapidamente, ao mesmo passo em que a tecnologia vem se popularizando. Em breve, será possível alcançar resultados cada vez mais próximos aos têxteis convencionais.

Os experimentos permitiram a confirmação da hipótese de que é possível projetar objetos de vestuário adaptáveis, em softwares de modelagem paramétrica, a partir da aplicação de dados antropométricos obtidos em processos de digitalização corporal, ou da inserção manual de medidas específicas. O arquivo final pode ser materializado por meio de processos de fabricação digital, em impressora 3D FDM.

A partir dos resultados alcançados nesta pesquisa é possível criar um sistema de produção de vestuário interativo, onde o usuário possa fazer alterações, pré-estabelecidas pelo designer, tornando a peça exclusiva e feita sob medida digitalmente. O arquivo customizado seria enviado para o usuário e o mesmo poderia materializá-lo em centros de impressão 3D ou até mesmo em casa. Entretanto, os resultados dos ensaios também podem ser aproveitados individualmente na otimização de processos convencionais de produção de

vestuário. O ajustamento da modelagem para alcançar um bom caimento, é uma das etapas mais demoradas nos processos de fabricação convencionais. Cada mudança no modelo demanda a confecção de uma nova peça piloto, e isso ocasiona perda de tempo, gasto de matéria-prima e geração de resíduos. Esses ajustes poderiam ser realizados com o apoio dos softwares de modelagem utilizados no segundo ensaio e os modelos testados sobre um avatar com silhueta idêntica à do usuário, gerado a partir dos dados da digitalização corporal.