Modelagem Sob Medida: Parametrização do Traçado de Moldes Básicos para Calça Feminina

Stella L. Sapper, **stellasapper@gmail.com** – Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Fábio G. Teixeira, **fabiogt@ufrgs.br** – Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Thays N. Costa, **thaysncosta@hotmail.com** – Programa de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Resumo

O processo de modelagem é uma etapa fundamental no desenvolvimento de produtos de vestuário. Nesse processo, é necessário o desenvolvimento de moldes básicos, que servirão como base para a interpretação de diferentes modelos. O objetivo deste artigo é apresentar o processo de automatização do traçado de moldes básicos para a construção de calça feminina. Para tanto, foi utilizado o programa de modelagem paramétrica Grasshopper, que é um plugin do software Rhinoceros. Esse sistema permite a parametrização de formas, de maneira que possibilite a adaptação de medidas da geometria criada. Para o desenvolvimento do traçado dos moldes básicos da calça feminina, foram utilizadas as etapas indicadas no método de modelagem do vestuário proposto por Romero (1995). O processo de elaboração do traçado no Grasshopper utiliza parâmetros, operações matemáticas e ferramentas para o desenho de pontos, retas e curvas. Com a automatização do traçado de moldes básicos, é possível adaptar parâmetros de acordo com a tabela de medidas de empresas ou clientes individuais. Essa adaptação também auxilia na criação de diversos modelos sob medida, como outros tipos de calça, bermudas e shorts, que podem ser interpretados por meio da modelagem básica da calça. Em uma análise comparativa com o método tradicional, os moldes gerados no Grasshopper obtiveram alta fidelidade em comparação ao traçado realizado manualmente, o que possibilita o desenvolvimento dos moldes sem perda de qualidade. Nesse contexto, este projeto também visa colaborar para a construção de um conjunto de moldes básicos que apoie o desenvolvimento de roupas sob medida.

Palavras-chave**: **Modelagem Plana, Desenvolvimento de Vestuário Assistido por Computador, Moda.

Custom Modeling: Parameterization of the Trace of Basic Patterns for Women's Pants

Abstract

The pattern making process is a key step in the development of apparel products. In this process, it is necessary to develop basic patterns, which serve as basis for the interpretation of different types of clothes. The purpose of this article is to present the automation of the basic patterns design process for women's pants construction. To do so, we used the Grasshopper parametric modeling program, which is a plugin of the Rhinoceros software. This system allows a parameterization of shapes, in a way that allows an adaptation of measurements of the geometry created. For the development of the tracing of the basic models of the women's pants, we used the steps indicated in the garment modeling method proposed by Romero (1995). The process in the Grasshopper uses mathematical operations and tools for drawing points, lines and curves. With the automation of the basic mold tracing, it is possible to adapt parameters according to the measurement chart of individual companies or customers. This adaptation also assists in the creation of several custom patterns, such as other types of pants and shorts, which can be interpreted through the basic pattern of pants. In a comparative analysis with the traditional method, the molds generated in the Grasshopper obtained high fidelity in comparison to the tracing done manually, which allows the development of the molds without loss of quality. In this context, this project also aims to collaborate in the construction of a set of basic patterns that support the development of custom clothing.

Keywords: Flat Pattern, Development of computer-aided clothing, Fashion.

1. INTRODUÇÃO

No processo de desenvolvimento de produtos do vestuário, a modelagem é umas das etapas mais importantes (TREPTOW, 2007). Para a construção da base para modelagem, primeiramente a forma do corpo humano deve ser traduzida em medidas referentes ao contorno físico de uma pessoa. No caso de empresas, pode ser utilizado a média de um grupo de pessoas que representam o público-alvo, compondo uma tabela de medidas. Após a definição das medidas, essas são transformadas em moldes básicos, que compreendem a reprodução geométrica da forma anatômica do corpo humano construído em 2D (OSÓRIO, 2007).

Os moldes básicos servem de apoio para a interpretação dos modelos desenhados pelo estilista. Todos os modelos são fundamentados em moldes básicos, para que possam vestir o corpo com medidas adequadas e bom caimento. Os moldes básicos não possuem apelo estético e servem como ponto de partida para orientar o modelista no desenvolvimento de modelagens mais complexas (SABRÁ, 2009; NÓBREGA, 2014).

Uma das técnicas de modelagem mais utilizadas por costureiras e ateliês é a modelagem planificada. Apesar dessa técnica ser eficiente para construção do vestuário, quando aplicada em peças sob medida pode tornar o processo lento, pois o modelista precisa obter as medidas individuais do cliente e construir todos os moldes básicos necessários para interpretação de modelos. Nesse contexto, a cada novo cliente o modelista necessita realizar novos moldes básicos.

Os softwares para modelagem do vestuário com sistema CAD/CAM (*Computer Aided Design* e *Computer Aided Manufacturing*) auxiliam o modelista na elaboração e desenvolvimento de modelagem, reduzindo o tempo e os erros do processo. Dentre os softwares para modelagem do vestuário destacam-se: Audaces Vestuário, AccuMark, Lectra Modaris, Optitex Pattern Making Software e Moda-01. Apesar de eficientes, esses softwares ainda possuem valores altos, com um investimento que varia de R$ 10.900,00 a R$ 40,000,00, inviabilizando a informatização de pequenas confecções e ateliês.

Foi verificado um aumento dos estudos na área de parametrização dos moldes básicos do vestuário, seja em 3D ou 2D. Alguns autores realizaram pesquisas relevantes na área de desenvolvimento de produtos personalizados por meio de CADs, como: Au e Ma (2010); Liu, Zhang e Yuen (2010); Lu et al. (2010); Meng, Mok e Jin (2010); Li e Lu (2011); Meng, Mok e Jin (2012); Huang et al. (2012); Lee, Ma e Choi (2013); Lin e Wang (2015). Foi observado a predominância de estudos a respeito da geração de moldes básicos e estilizados sobre modelos 3D e a estruturação de modelos 3D para provas de modelagem. Os estudos de Meng, Mok e Jin (2012) e Huang et al. (2012) abordam a planificação de moldes (2D) por meio da modelagem gerada em um modelo 3D.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é apresentar o processo de automatização do traçado de moldes básicos para a construção de calça feminina, a fim de possibilitar a adaptação de medidas. Para tanto, foi utilizado o programa de modelagem paramétrica Grasshopper, que é um *plugin* gratuito do software Rhinoceros. O Rhinoceros possui uma licença com valor mais acessível se comparado aos softwares de modelagem mais utilizados por empresas de vestuário.

O projeto também busca colaborar para a construção de um conjunto de moldes básicos que auxilie a adaptação e desenvolvimento de roupas sob medida. Costa (2016) propôs em seu trabalho a automatização de moldes básicos de saia, blusa e manga feminina. Assim, esse estudo dá segmento à pesquisa de Costa (2016).

O processo elaborado é indicado para qualquer pessoa que queira adaptar os moldes básicos de acordo com suas medidas ou de seus clientes, no caso de costureiras e empresas da área. A adaptação dos moldes básicos também possibilita a criação de diversos modelos sob medida que podem ser interpretados a partir da modelagem básica da calça, como outros modelos de calças, bermudas e shorts.

2. DESIGN PARAMÉTRICO APLICADO AO VESTUÁRIO

O design paramétrico é umas das tecnologias emergentes de CAD, aplicado para o desenvolvimento e visualização digital nas áreas do design, arquitetura, engenharia e construção. Por meio do design paramétrico é possível gerar soluções de design de forma inovadora. Os aspectos generativos e evolutivos do design paramétrico auxiliam a geração de diferentes projetos (LEE; GU; WILLIAMS, 2014).

No desenvolvimento de vestuário, existem softwares de modelagem paramétrica disponíveis para auxiliar os profissionais, porém, como citado anteriormente, esses softwares possuem um alto custo e consequentemente o uso se restringe a empresas de médio e grande porte. Com isso, a partir do ano de 2010 foram realizadas diversas pesquisas na área do design paramétrico aplicado ao vestuário. Liu, Zhang e Yuen (2010) publicaram o estado da arte dos softwares que abordam o desenvolvimento 3D para a indústria de vestuário. Os autores ressaltam que boa parte dos softwares até então tinham foco em modelagem 2D, pois para a construção do vestuário os moldes precisam ser planificados. Com a tecnologia 3D é possível simular o resultado final da modelagem, além de facilitar a compreensão das proporções e caimento da peça desenvolvida. Os profissionais interessados na tecnologia 3D já estão familiarizados com softwares para modelagem paramétrica em 2D.

Au e Ma (2010) apresentam um processo de parametrização que envolve a simulação 3D e posterior planificação (2D), de maneira associativa. De acordo com os autores, o desenvolvimento paramétrico de vestuário está em crescimento em concordância com a tendência de personalização em massa, adaptando peças de acordo com as medidas do cliente ou de tabelas de medidas de diferentes nichos de mercado. A simulação em manequins paramétricos 3D é facilitadora da indústria e possibilita a planificação dos moldes em 2D, essencial para a construção da roupa.

Lu et al. (2010) desenvolveram um sistema inteligente para a confecção de roupas personalizadas. O sistema envolve a coleta das dimensões corporais, a geração de moldes de roupas e o corte do tecido. Os autores propõem duas alternativas para a coleta das dimensões corporais, uma utilizando dados de varredura 3D e outra utilizando fotografias 2D. Por meio do sistema é possível definir as regras de criação da modelagem. As dimensões coletadas podem ser convertidas em uma representação gráfica dos moldes de vestuário em formato CAD. Em seguida, uma máquina CNC de corte a laser pode automatizar o corte do tecido. O sistema proposto possibilita a personalização em massa ao integrá-lo com o processo de costura, montagem e ajuste final do vestuário, além de reduzir os esforços humanos, custos e tempo de produção.

Para Xiu, Wan e Cao (2010), dentre as diversas técnicas do desenvolvimento sob medida, o design paramétrico é considerado uma solução significativa. Xiu, Wan e Cao (2010) propõem o sistema DisDraw, um sistema CAD para vestuário paramétrico interativo. O sistema é bastante similar ao CAD da Audaces, que permite o desenho direto do molde com a inserção de valores para gradação de moldes e interpretação de modelos.

O desenvolvimento de vestuário assistido por computador inclui três partes integradas: o design de moldes em 2D e 3D, experimentação virtual (*virtual try-on*) e simulação realista do vestuário. Na década de 1980 alguns resultados importantes foram obtidos no desenho de moldes 2D/3D e na simulação do vestuário. Assim, a área de experimentação virtual ainda está sendo bastante explorada por pesquisadores e pela indústria (MENG; MOK; JIN, 2010). Meng, Mok e Jin (2010) propõem um sistema que integra simulação de vestuário e experimentação virtual, reduzindo os erros na indústria e possibilitando a interação do usuário com a interface do sistema. A desenvolvedora brasileira Audaces possui os softwares Audaces 3D, para simulação e experimentação virtual, e o Audaces Idea4D, que permite a criação diretamente em um manequim tridimensional e a materialização de peças em impressoras 3D.

Li e Lu (2011) apresentam uma nova abordagem para a personalização de modelos de vestuário 3D. Com o sistema proposto é possível transferir os moldes para um modelo humano de referência e, posteriormente, para o modelo humano-alvo, com características físicas específicas. A estrutura é composta por três técnicas principais: (1) adaptação do modelo humano, de um modelo referência para um modelo-alvo; (2) tetraedralização do modelo humano vestido, convertendo o espaço em torno do modelo humano vestido em um conjunto de malhas tetraédricas; (3) deformação volumétrica (*Laplacian deform*), deformando as malhas tetraédricas com as restrições extraídas do encaixe do modelo humano. Com isso, o vestuário inicialmente compatível com o modelo humano de referência é ajustado ao modelo humano-alvo. Essa abordagem é indicada pelos autores para facilitar compras em ambientes virtuais, possibilitando ao usuário realizar uma experimentação simulada das peças em um modelo humano com suas medidas.

O estudo de Lee, Ma e Choi (2013) propõe um sistema automatizado para experimentação de peças de vestuário que pode se adaptar a diferentes modelos humanos, com características distintas. O objetivo principal do sistema é proporcionar experimentações virtuais realistas em diferentes tipos de corpos. Esse sistema pode ser utilizado em diversas aplicações, tanto pela indústria do vestuário, em lojas virtuais, como para o desenvolvimento de games, animações e ferramentas de CAD.

Em conformidade com o estudo de Lee, Ma e Choi (2015), Lin e Wang (2015) também propõem um sistema para avaliação de ajustes e experimentação virtual. Esse sistema envolve o escaneamento 3D para geração de um modelo humano virtual, o desenvolvimento de modelagem 2D de vestuário em sistema CAD para posterior experimentação e análise em ambiente real e virtual. Os autores simularam a experimentação de diferentes tamanhos de moldes de camisetas em corpos de seis diferentes indivíduos. Como resultado, as experimentações real e virtual tiveram resultados similares, validando o sistema proposto para aplicação na indústria.

As metodologias utilizadas para o desenvolvimento da modelagem do vestuário são baseadas em cálculos matemáticos e figuras geométricas básicas. Nesse contexto, Huang et al. (2012) apresentam uma abordagem do 3D para o 2D. O processo envolve a parametrização de modelos humanos, construção da modelagem 3D por meio de blocos e posterior planificação dos moldes em 2D. Meng, Mok e Jin (2012) propõem um modelo semelhante ao de Huang et al. (2012), porém, para geração do modelo 3D são usadas malhas triangulares ao invés de blocos.

3. METODOLOGIA

Para a construção dos moldes básicos da calça feminina foi utilizado o programa de modelagem paramétrica Grasshopper, que é um *plugin* do software Rhinoceros. Os procedimentos adotados foram divididos nas seguintes fases: (1) escolha do método de construção dos moldes básicos da calça, (2) organização das etapas para construção do traçado da calça, (3) processo de modelagem paramétrica no programa Grasshopper, (4) teste de mudança de medidas e interpretação de diferentes modelos, (5) análise comparativa com método convencional.

Existem muitos métodos de modelagem do vestuário que apresentam as etapas para o traçado dos moldes básicos. Para esse projeto, em conformidade com o estudo de Costa (2016), foi utilizada a metodologia de modelagem plana do SENAI, elaborada por Romero (1995). Para a construção dos moldes básicos, foram utilizadas as medidas referentes ao tamanho 40, conforme a tabela de medidas proposta por Romero (1995). As medidas necessárias para a construção da calça são: contorno do quadril, contorno na cintura, altura do joelho, largura do joelho, entrepernas e largura da boca da calça. Essas medidas estão apresentadas na tabela 1. Esses parâmetros podem ser adaptados de acordo com as medidas de clientes individuais ou de tabelas de medidas de empresas.

Tabela 1: Medidas da calça feminina. Fonte: Elaborado com base no método do SENAI de Romero (1995).

MEDIDAS: CALÇA FEMININA TAMANHO 40	
Contorno do quadril	96 cm
Contorno da cintura	68 cm
Altura do gancho	23 cm
Largura do joelho	40 cm
Entrepernas	82 cm (medida fixa)
Boca da calça	40 cm (variável)

Posteriormente foram organizadas as etapas para a construção do traçado da calça de acordo com a metodologia de Romero (1995). As tabelas 2 e 3 apresentam as etapas do traçado da parte dianteira e traseira da calça básica feminina. Para o traçado da frente são necessárias quatro etapas e para o traçado das costas duas etapas. Cada etapa é dividida na marcação de pontos, retas, curvas e parâmetros necessários para o traçado dos moldes. As operações matemáticas para a parametrização também estão explicitadas nas tabelas 2 e 3.

O traçado das costas é realizado a partir do traçado da frente, como observado no diagrama da tabela 3. Para facilitar a parametrização da calça, primeiro foi traçado a parte dianteira e depois foram feitas as adaptações para o traçado da parte traseira.

Após o processo de modelagem paramétrica no programa Grasshopper, foi realizado um teste de mudança de medidas e interpretação de outros modelos de calça. Posteriormente, foi feita uma análise comparativa com o processo de modelagem convencional (manual), para conferir as medidas e curvas dos moldes.

Tabela 2: Etapas do traçado da parte dianteira da Calça Feminina. Fonte: Elaborado com base no método do SENAI de Romero (1995).

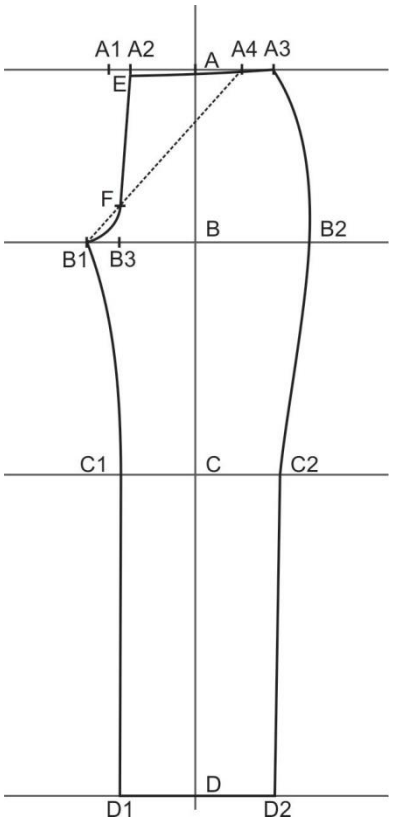
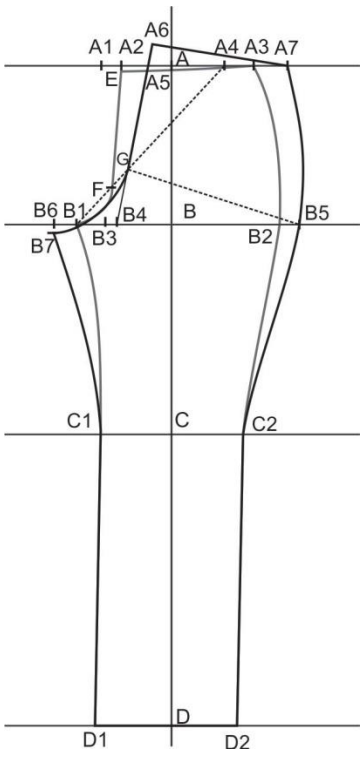
TRAÇADO DA FRENTE	
1ª Etapa: **A** = Início da linha reta; **A** – **B** = Marque a altura do gancho; **B** – **C** = Marque metade da medida do entrepernas menos 5 cm; **C** – **D** = Marque metade da medida do entrepernas mais 5 cm;	
2ª Etapa: **D** – **D1** = **D** – **D2** = Marque ¼ da largura da boca da calça; **C** – **C1** = **C** – **C2** = Marque ¼ da largura do joelho; **D1** – **C1** e **D2** – **C2** = Unir com linha reta; **B** – **B1** = **B** – **B2** = Calcular ¼ do contorno do quadril + 1/30 do contorno do quadril e divida o resultado por 2 (marcar para cada lado de B o valor encontrado); **B1** – **C1** = Unir com linha curva (alfaiate); **B2** – **C2** = Unir com linha curva (alfaiate); **B1** – **B3** = Marque 1/30 do contorno do quadril;	
3ª Etapa: **A** – **A1** = Marque a mesma medida de **B** – **B3** (Medida não encontrada na tabela de medidas/ Deve-se medir o traçado); **A1** – **A2** = Entrar 1 cm; **A2** – **B3** = Unir com linha reta; **A2** – **A3** = Marque ¼ do contorno da cintura; **A3** – **B2** = Unir com linha curva, formando o quadril;	
4ª Etapa: **A4** = Marque na metade de **A** – **A3**; **A4** – **B1** = Unir com linha reta (pontilhada); **F** = Marcar o cruzamento das linhas **B1** – **A4** e **A2** – **B3**; **B1** – **F** = Unir com linha curva formando o gancho dianteiro; **A2** – **E** = Desça 1 cm para a caída da cintura; **E** – **A3** = Unir com linha levemente curva, formando a cintura da calça.	

Tabela 3: Etapas do traçado da parte traseira da Calça Feminina. Fonte: Elaborado com base no método do SENAI de Romero (1995).

TRAÇADO DAS COSTAS*	
***O traçado das costas é feito sobre a modelagem dianteira da calça. Da linha do joelho para baixo não há modificações. 1ª Etapa: **B3** – **B4** = Marque 1,5 cm; **A2** – **A5** = Marque 1/20 do contorno do quadril; **B4** – **A5** = Unir com linha reta, ultrapassando o ponto A5; **A5** – **A6** = Subir, marcando 1/30 do contorno do quadril; **A6** – **A7** = Marque ¼ do contorno da cintura; Apoiar a régua no ponto A6 e encontrar a medida na linha horizontal; **G** = Marque no cruzamento das linhas A6 – B4 e A4 – B1; **G** – **B5** = Marque ¼ do contorno do quadril; **B5** – **A7** = Unir com linha curva formando o quadril (alfaiate); **B5** – **C2** = Unir com linha curva;	
2ª Etapa: **B4** – **B6** = Marque 1/10 do contorno do quadril; **B6** – **C1** = Unir com linha levemente curva; **C1** – **B7** = Medir o traçado **B1** – **C1** da parte dianteira e aplique de **C1** a **B7** para a parte traseira; **B7** – **G** = Unir com linha curva formando o gancho traseiro.	

3.1 Grasshopper e principais componentes para a geração de moldes do vestuário

Para a utilização do Grasshopper, deve-se digitar o seu nome na barra de comandos do Rhinoceros. O Rhinoceros funciona como um visualizador dos componentes gerados no Grasshopper. Na figura 1, pode-se observar a área de trabalho dos dois programas, à esquerda o Rhinoceros e à direita a tela do Grasshopper.

Assim como o Rhinoceros, o Grasshopper trabalha com os eixos X, Y e Z. O Grasshopper possui um conjunto de componentes que possibilitam a construção de formas bi e tridimensionais, que funcionam basicamente por meio de operações matemáticas. Para a construção dos moldes da calça feminina, conforme a figura 2, os principais componentes utilizados foram os seguintes: *slider* (caixa com valor numérico), ponto (Pt), linha, curva, adição, multiplicação, divisão e subtração.

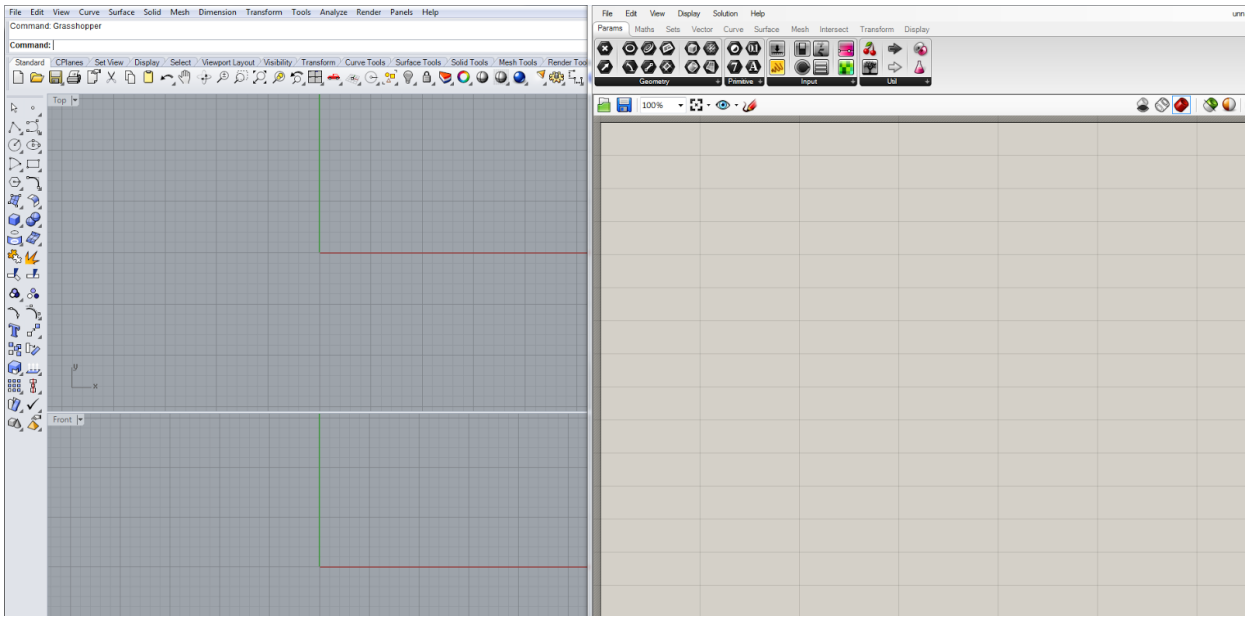


Figura 1: Interface do Rhinoceros e Grasshopper.

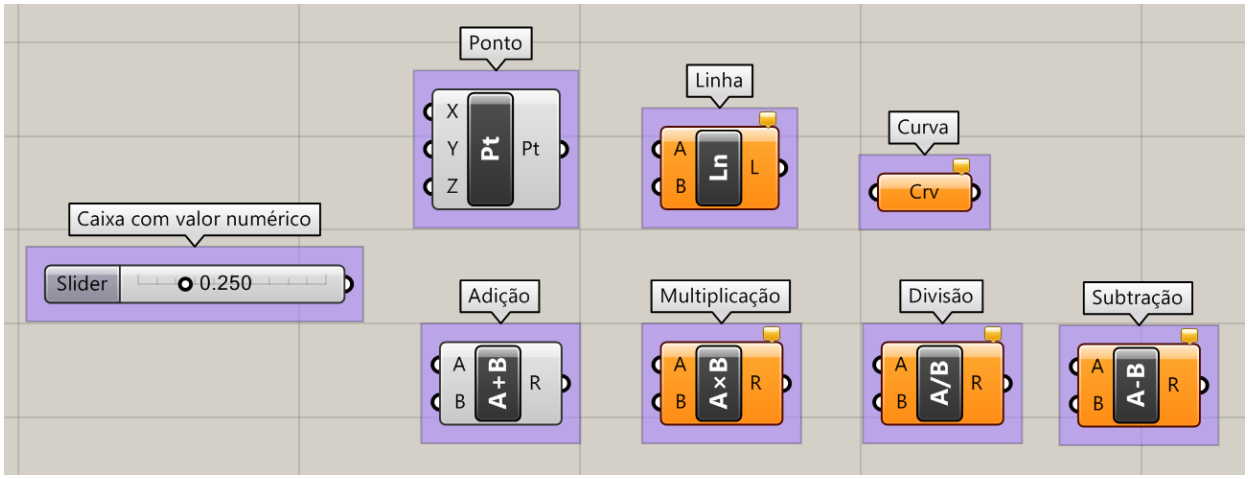


Figura 2: Principais componentes para construção de moldes.

O *slider* é uma caixa que possibilita a inserção de valores numéricos e permite o uso de números positivos, negativos e casas decimais. O *slider* também pode ser utilizado como um organizador (PAYNE; ISSA, 2009). No caso dos moldes da calça, as medidas foram colocadas em *sliders* para possibilitar a mudança do tamanho dos moldes sem a necessidade de manipular outros componentes.

O ponto (Pt) é o principal componente para a construção dos moldes, pois a metodologia de Romero (1995) se baseia na construção de pontos que guiam as linhas para o fechamento do molde. O ponto é construído por meio das três coordenadas (X, Y e Z). Outros componentes foram utilizados em conjunto com o ponto (Pt), como o pDecom, que possibilita a decomposição de um ponto para utilização de uma só coordenada.

Os componentes matemáticos também são fundamentais para a construção dos moldes, como pode-se observar na descrição das tabelas 2 e 3. Esses componentes permitem realizar as operações matemáticas descritas na metodologia de Romero (1995). Além dos componentes matemáticos, também são utilizados a linha e a curva, que conectam os pontos, fechando o contorno do molde.

Diferente dos programas CAD tradicionais, a modelagem paramétrica é resultado de um conjunto de condições pré-estabelecidas pelo usuário. Ao mudar um parâmetro, todas as funções dependentes dele serão afetadas. Com isso, ao mudar os parâmetros dos *sliders* com as medidas do usuário, é possível alterar o molde básico, possibilitando a adaptação com medidas personalizadas com poucas alterações. No tópico a seguir será descrito o processo de parametrização dos moldes básicos da calça.

4. PROCESSO DE PARAMETRIZAÇÃO DOS MOLDES BÁSICOS DA CALÇA FEMININA

O procedimento para parametrização dos moldes básicos da calça feminina foi iniciado com a construção do traçado do molde da frente. Como tamanho padrão, foram utilizadas as medidas referentes ao número 40. Conforme a metodologia de Romero (1995), as medidas necessárias para a construção da calça são: contorno do quadril, contorne da cintura, altura do gancho, largura do joelho, entre pernas e largura da boca da calça. Para a construção do traçado dos moldes, foram utilizadas as etapas indicadas por Romero (1995), de acordo com as tabelas 2 e 3 apresentadas na metodologia.

O traçado do molde da frente é dividido em 4 etapas. A primeira etapa envolve a criação de 4 pontos (A, B, C e D), que irão gerar a linha central do molde da calça. O ponto A é o ponto de partida para iniciar o traçado, com isso ele foi gerado utilizando dois *sliders* referentes às coordenadas X e Y com o valor zerado. Para a geração do ponto B, Romero (1995) indica a marcação da altura do gancho do ponto A até o ponto B. Como A está localizado em X=0, o ponto B foi gerado por meio de um *slider* com o valor zerado ligado à coordenada X e um *slider* com a medida da altura do gancho (23 cm) ligado à coordenada Y. O valor da altura do gancho foi multiplicado por -1, pois o molde é gerado abaixo da coordenada X, com valores negativos de Y. Isso ocorre devido ao ponto A estar localizado em X=0 e Y=0. A figura 3 apresenta os componentes usados para a criação dos pontos A e B.

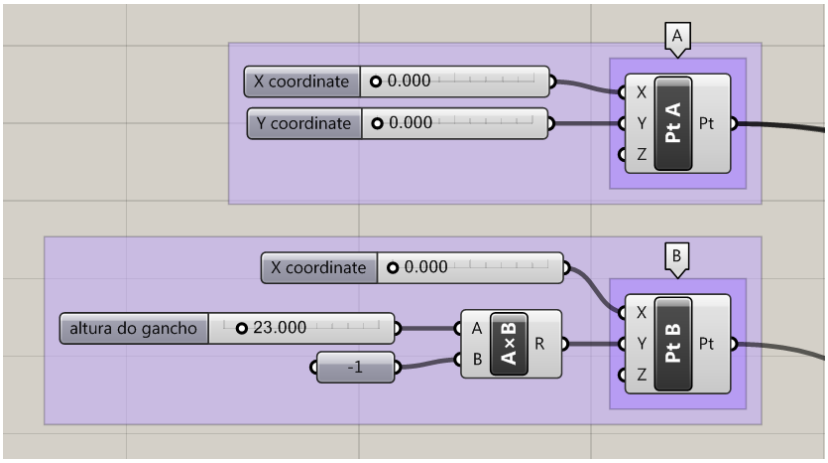
ETAPA 1: PARTE 1	COMPONENTES GRASSHOPPER
A = Ponto de partida da linha central do molde. **A - B** = Medida da altura do gancho.	

Figura 3: Etapa 1 - criação dos pontos A e B.

A segunda parte da etapa 1, envolve a criação dos pontos C e D. De acordo com Romero (1995), a medida entre B e C é a metade da medida do entrepernas (82cm) menos 5 cm e a medida entre C e D é a metade da medida do entrepernas mais 5 cm. Para a criação do ponto C (figura 4) a medida do entrepernas foi dividida por 2 e subtraído 5. O valor resultante dessa operação foi somado a medida da altura do gancho (medida do ponto B) e multiplicado por -1. O resultado dessa operação gerou o valor da coordenada Y do ponto C, sendo X=0. Para a criação do ponto D, foi somado 5 à metade da medida do entrepernas e o resultado multiplicado por -1. Para encontrar a medida da coordenada Y do ponto D, foi somado ao resultado a medida da coordenada Y do ponto C. Conforme a figura 4, é possível observar que as operações matemáticas podem ser interligadas para a geração dos pontos, não sendo necessário repetir operações realizadas anteriormente.

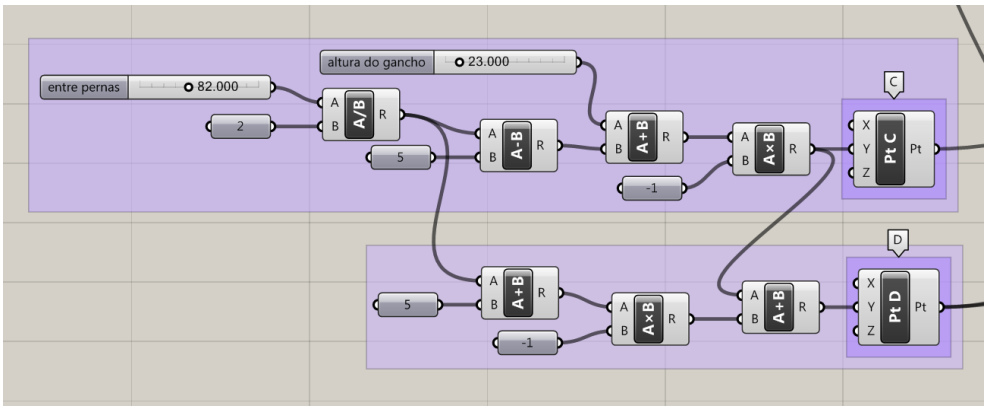
ETAPA 1: PARTE 2	COMPONENTES GRASSHOPPER
B - C = Metade da medida do entrepernas menos 5cm. **C - D** = Metade da medida do entrepernas mais 5cm.	

Figura 4: Etapa 1 - criação dos pontos C e D.

Com os pontos A, B, C e D feitos, eles foram ligados por uma linha (Ln). Essa linha central é a base para a construção do molde da calça. Terminada a etapa 1, a etapa 2 envolve a criação dos pontos D1, D2, C1, C2, B1, B2 e B3. Esses pontos são gerados a partir das coordenadas dos pontos da linha central (A, B, C e D). Para a criação dos pontos D1 e D2 (figura 5) foi utilizada a coordenada Y do ponto D. A coordenada X do ponto D2 é o valor da largura da boca da calça divido por 4. No ponto D1 esse valor foi multiplicado por -1 para que o ponto fique localizado à esquerda do ponto D.

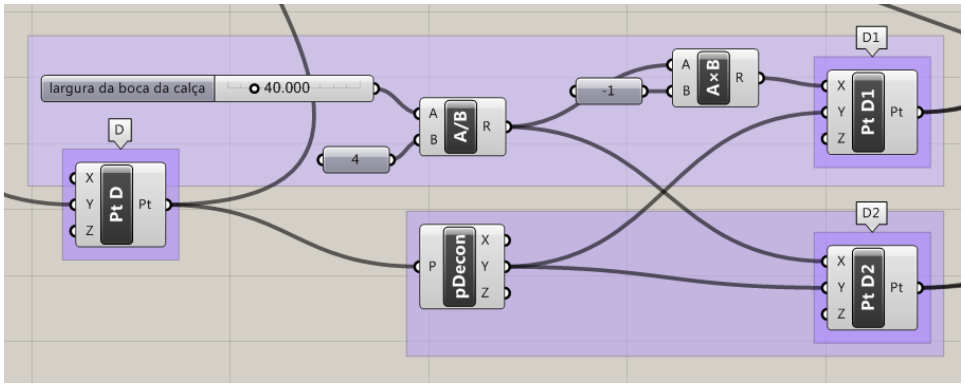
ETAPA 2: PARTE 1	COMPONENTES GRASSHOPPER
D - D1 = D - D2 = Marque 1/4 da largura da boca da calça.	

Figura 5: Etapa 2 - criação dos pontos D1 e D2.

Para a criação dos pontos C1 e C2 (figura 6), foram utilizados os mesmos procedimentos dos pontos D1 e D2. O valor da coordenada Y do ponto C foi utilizado na coordenada Y dos pontos C1 e C2. Para a coordenada X do ponto C2, o valor da largura do joelho foi dividido por 4. Para a coordenada X do ponto C1, esse valor foi multiplicado por -1, para que o ponto fique localizado à esquerda do ponto C. Posteriormente, os pontos D1 e C1 e D2 e C2 foram unidos por uma linha (Ln) reta.

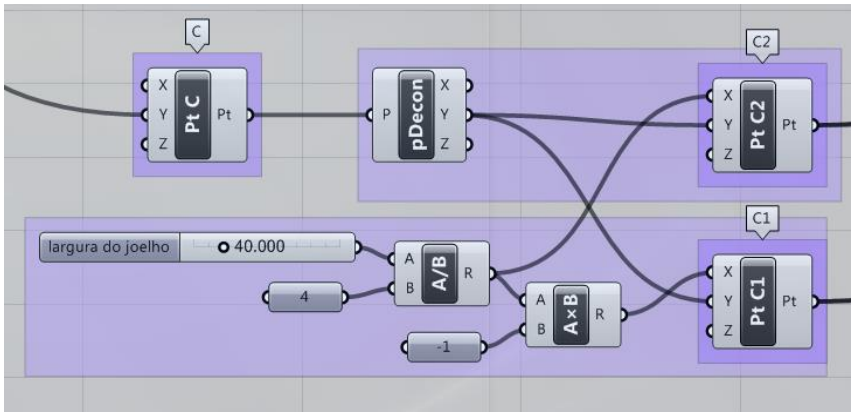
ETAPA 2: PARTE 2	COMPONENTES GRASSHOPPER
C - C1 = C - C2 = Marque 1/4 da largura do joelho.	

Figura 6: Etapa 2 - criação dos pontos C1 e C2.

Nos pontos B1 e B2 foi utilizado o valor da coordenada Y do ponto B. Para a coordenada X do ponto B2, 1/4 da medida do contorno do quadril foi somado a 1/30 da medida do contorno do quadril e o resultado dividido por 2. Para a coordenada X do ponto B1, o valor resultante dessa operação foi multiplicado por -1. O ponto B3 é composto pela coordenada Y do ponto B1 e a coordenada X foi definida somando o valor da coordenada X do ponto B1 ao valor de 1/30 da medida do contorno do quadril. Na etapa 2, Romero (1995) indica a união dos pontos B1 e C1, B2 e C2 com curvas. A construção de todas as curvas no Grasshopper será apresentada ao final das etapas.

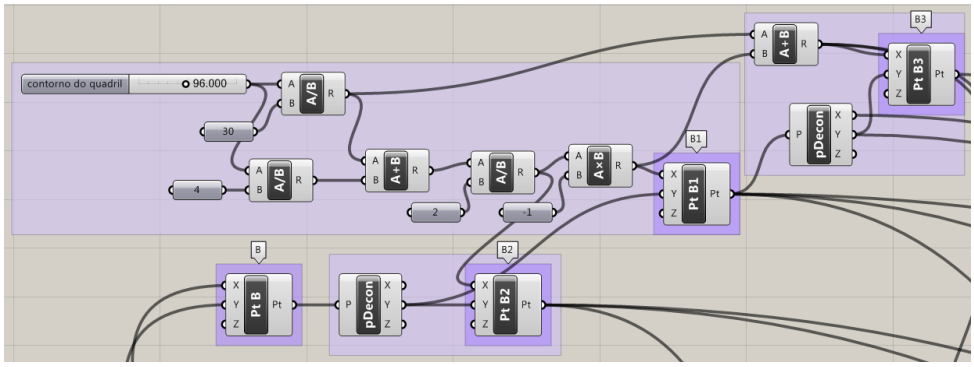
ETAPA 2: PARTE 3	COMPONENTES GRASSHOPPER
B1 = **B** – **B2** = Calcular ¼ do contorno do quadril + 1/30 do contorno do quadril e divida o resultado por 2 (marcar para cada lado de B o valor encontrado). **B1** – **B3** = Marque 1/30 do contorno do quadril.	

Figura 7: Etapa 2 - criação dos pontos B1, B2 e B3.

A etapa 3 do molde da frente da calça envolve a construção dos pontos A1, A2 e A3 (figura 8). A distância entre o ponto A e o ponto A1 é a mesma distância entre B e B3. Para a criação do ponto A1, foi utilizado o valor da coordenada X do ponto B3 e o valor da coordenada Y do ponto A. A coordenada X do ponto A2 é o valor da coordenada X do ponto B3 mais 1 e a coordenada Y é o mesmo valor da coordenada Y do ponto A. A coordenada Y do ponto A3 é o mesmo valor da coordenada Y do ponto A2. A coordenada X do ponto A3 é ¼ do contorno da cintura somado ao valor da coordenada X do ponto A2. Os pontos A2 e B3 foram unidos por uma linha (Ln).

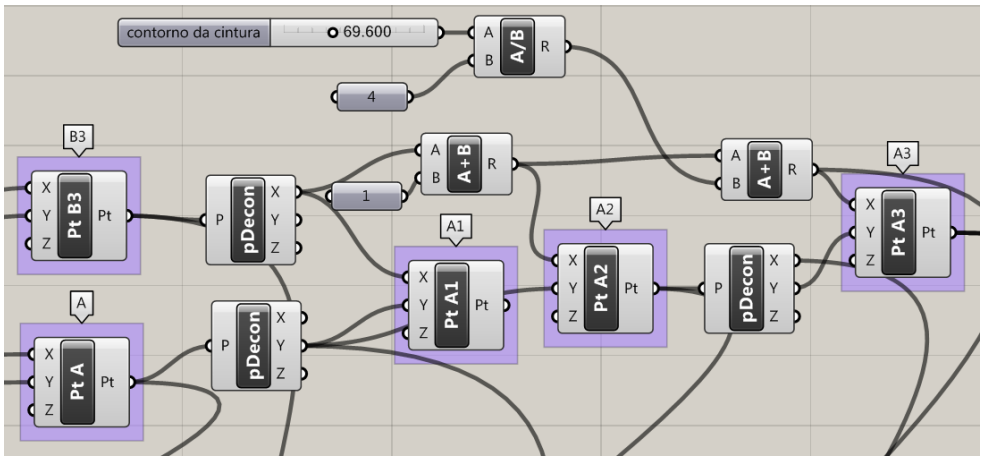
ETAPA 3	**COMPONENTES GRASSHOPPER**
A – **A1** = Marque a mesma medida de **B** – **B3** (Medida não encontrada na tabela de medidas/ Deve-se medir o traçado). **A1** – **A2** = Entrar 1 cm. **A2** – **A3** = Marque ¼ do contorno da cintura.	

Figura 8: Etapa 3 - criação dos pontos A1, A2 e A3.

A etapa 4 da construção do molde é a criação dos pontos A4, F e E. A coordenada X do ponto A4 foi definida a partir do valor da coordenada X do ponto A3 dividido por 2 e a coordenada Y é igual a coordenada Y do ponto A. Como se pode observar na figura 9, os pontos A4 e B1 foram unidos por uma linha (Ln).

O local do ponto F é a intersecção das linhas A4-B1 e A2-B3. Para isso, foi utilizado o componente LLX (*Line*), que identifica a intersecção entre duas linhas (figura 10). Para a criação do ponto E deve-se descer 1 cm a partir do ponto A2, com isso a coordenada Y de A4 é a mesma de A2 e a coordenada X é o valor da caída da cintura (-1).

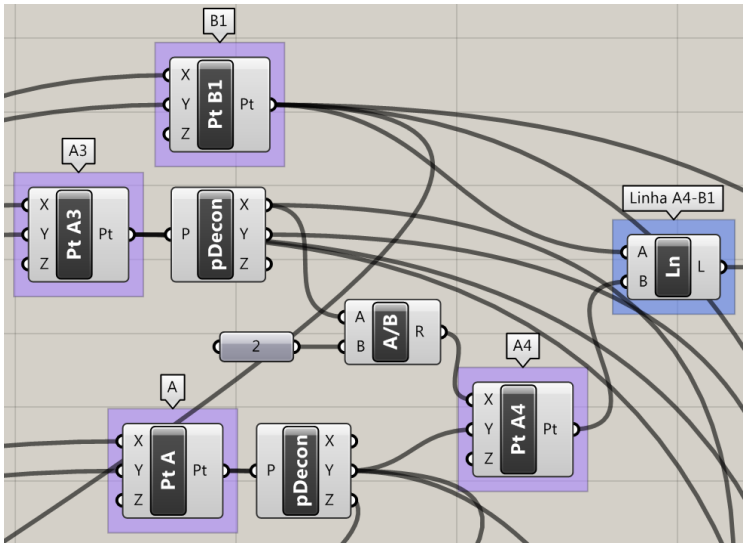
ETAPA 4: PARTE 1	**COMPONENTES GRASSHOPPER**
A 4 = Marque na metade de **A - A3.** **A4 - B1** = Unir com linha reta.	

Figura 9: Etapa 4 - criação do ponto A4.

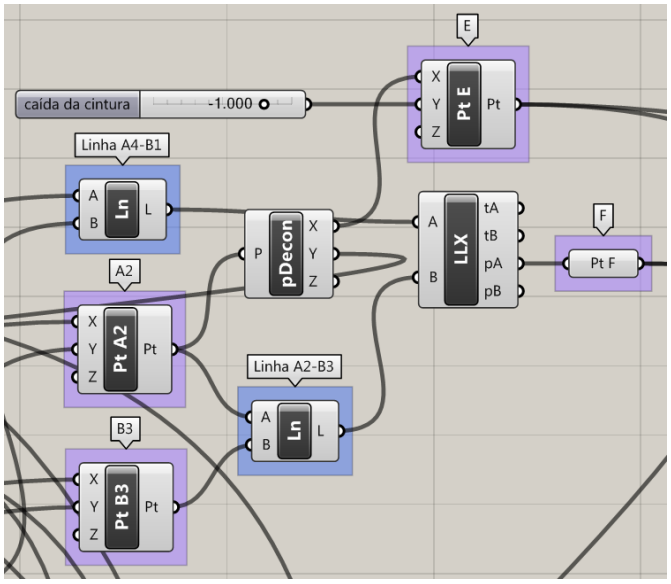
ETAPA 4: PARTE 2	COMPONENTES GRASSHOPPER
F = Marcar o cruzamento das linhas **B1** – **A4** e **A2** – **B3**. **A2** – **E** = Desça 1 cm para a caída da cintura**.**	

Figura 10: Etapa 4 - criação dos pontos F e E.

Com a finalização da criação dos pontos e linhas do molde, foi feita a construção das curvas. O molde da frente da calça possui cinco curvas: curva do entrepernas (B1-C1), curva da coxa (B2-C2), curva do quadril (A3-B2), curva da cintura (A2-A3) e curva do gancho (B1 - F).

Todas as curvas do molde são feitas com o mesmo procedimento. Como exemplo, é descrita a criação da curva do entrepernas (figura 11). Para a construção da curva foi criado um ponto de apoio (Pt) que auxilia no ajuste da curva. A coordenada X do ponto de apoio é a subtração do valor da coordenada X do ponto B1 (ponto superior da extremidade da curva) e um *slider* numérico X com valor variável. A coordenada Y do ponto de apoio também é definida por um *slider* numérico com valor variável. Esses *sliders* possibilitam mover o ponto de apoio para auxiliar no ajuste da curva.

Após a criação do ponto de apoio, os componentes que compõem a curva foram fundidos (*Merge*), no caso o ponto B1, o ponto de apoio (Pt) e o ponto C1. Para finalizar a curva, foi utilizado o componente IntCrv (*Interpolate Curve*), que cria uma curva por meio de um conjunto de pontos.

A figura 11 apresenta todos os componentes envolvidos na criação da curva.

COMPONENTES GRASSHOPPER: CURVA DO ENTREPERNAS

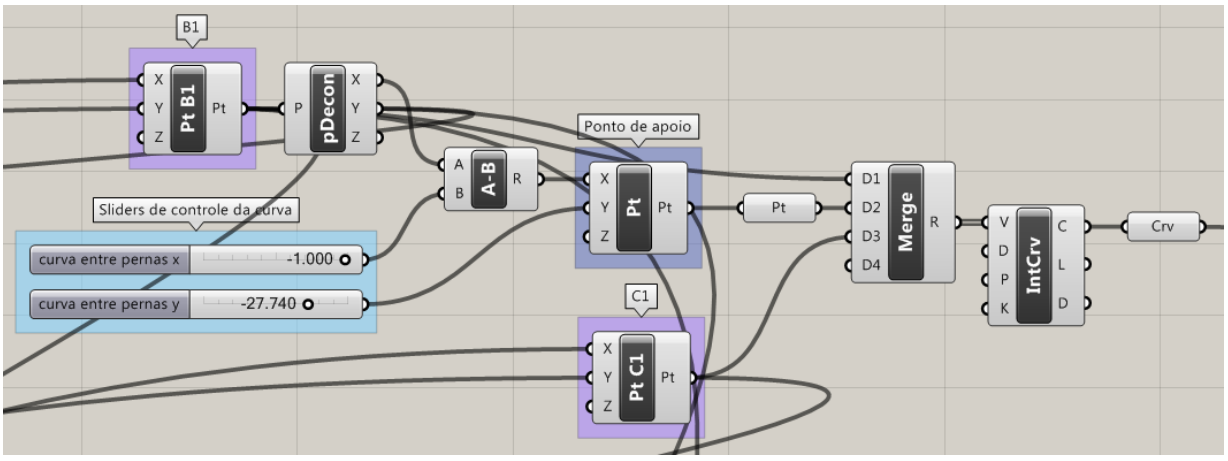


Figura 11: Criação de curva.

Com a criação de todas as curvas, o molde da frente da calça foi finalizado. A figura 12 apresenta a estrutura de todos os componentes na interface do Grasshopper que foram utilizados para a construção do molde da frente da calça. A figura 13 apresenta à esquerda a visualização do molde da frente no Rhinoceros, com todos os pontos, linhas e curvas geradas e, à direita, os *sliders* de medidas no Grasshopper. Os *sliders* foram organizados em 3 grupos (medidas, curvas e caída da cintura (valor fixo)), e dispostos de maneira que possibilite a mudança dos valores sem a necessidade de contato com os demais componentes. Os *sliders* das curvas possibilitam o ajuste das curvas após a inserção das medidas.

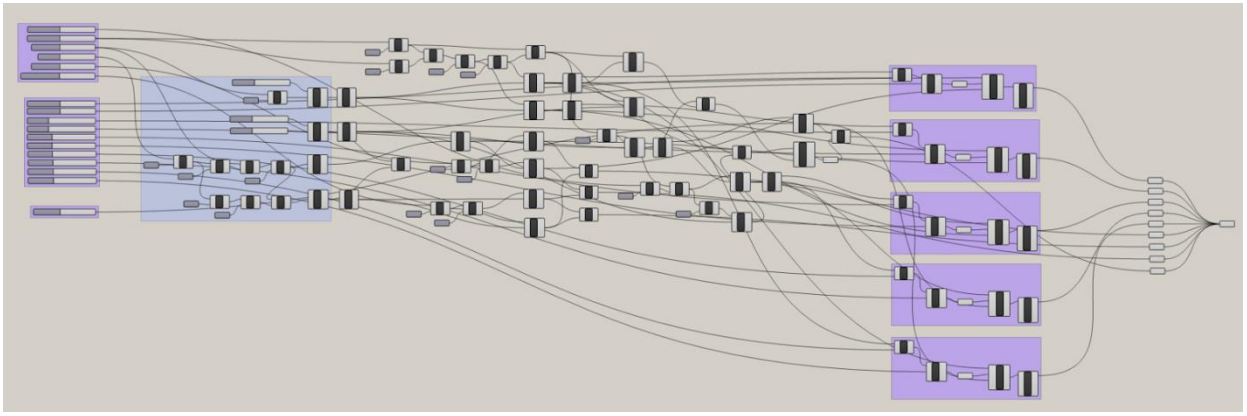


Figura 12: Componentes do Grasshopper do molde da frente da calça.

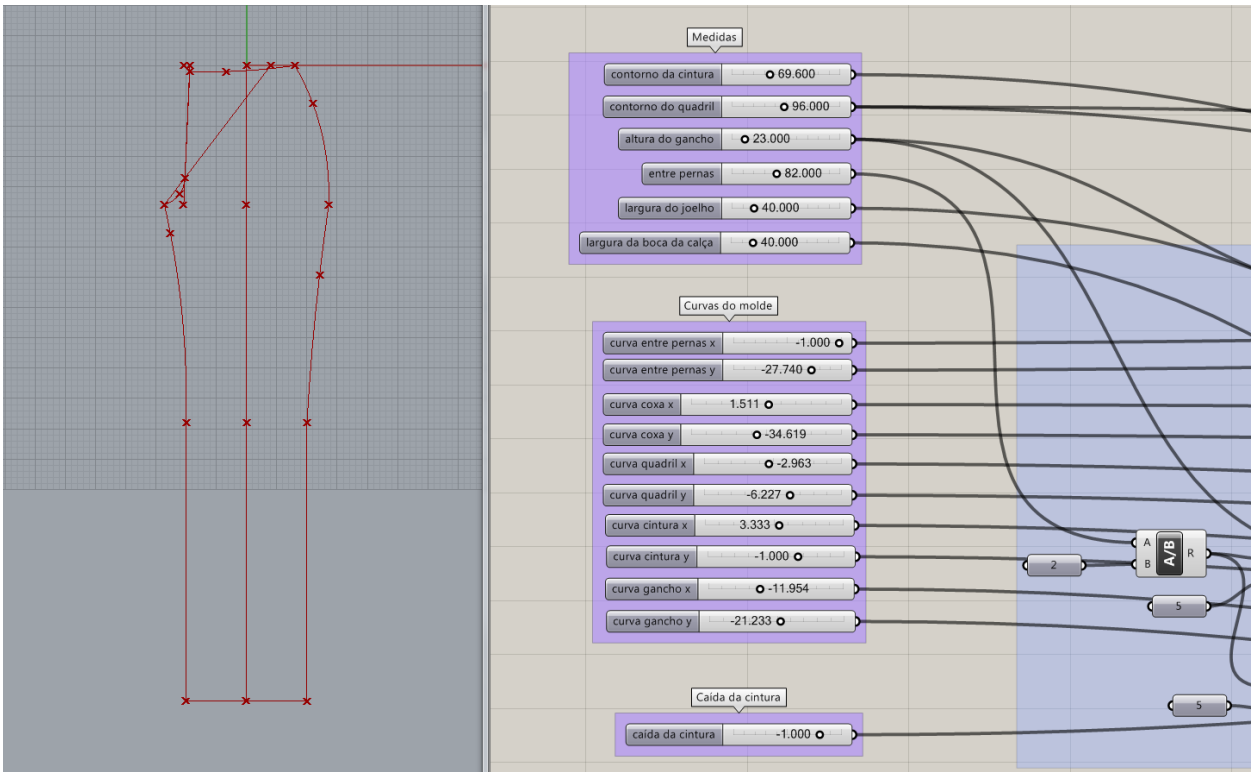


Figura 13: Molde da frente da calça finalizado e *sliders* de medidas do Grasshopper.

Após a finalização do molde da frente, foi criado o molde das costas da calça. O traçado do molde das costas é feito sobre a modelagem dianteira, não tendo nenhuma alteração do joelho para baixo, ou seja, os pontos C, C1, C2, D, D1 e D2 não foram modificados. Os demais pontos foram adequados conforme as orientações presentes na tabela 3 da metodologia. Os procedimentos para construção dos pontos são os mesmos que os utilizados no molde da frente. Na figura 14 está a estrutura dos componentes do Grasshopper para a construção do molde das costas.

A figura 15 apresenta à esquerda a visualização do molde das costas no Rhinoceros e à esquerda os *sliders* de valores no Grasshopper para ajuste do molde.

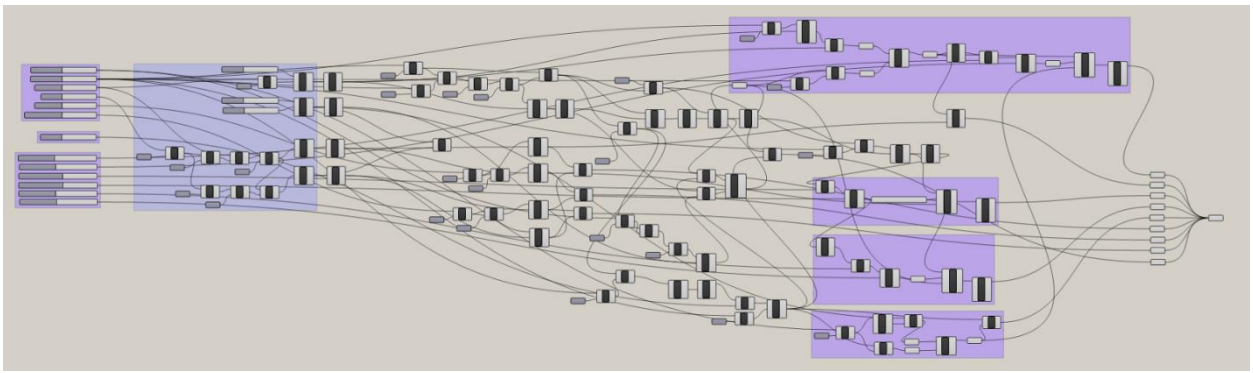


Figura 14: Componentes do Grasshopper do molde das costas da calça.

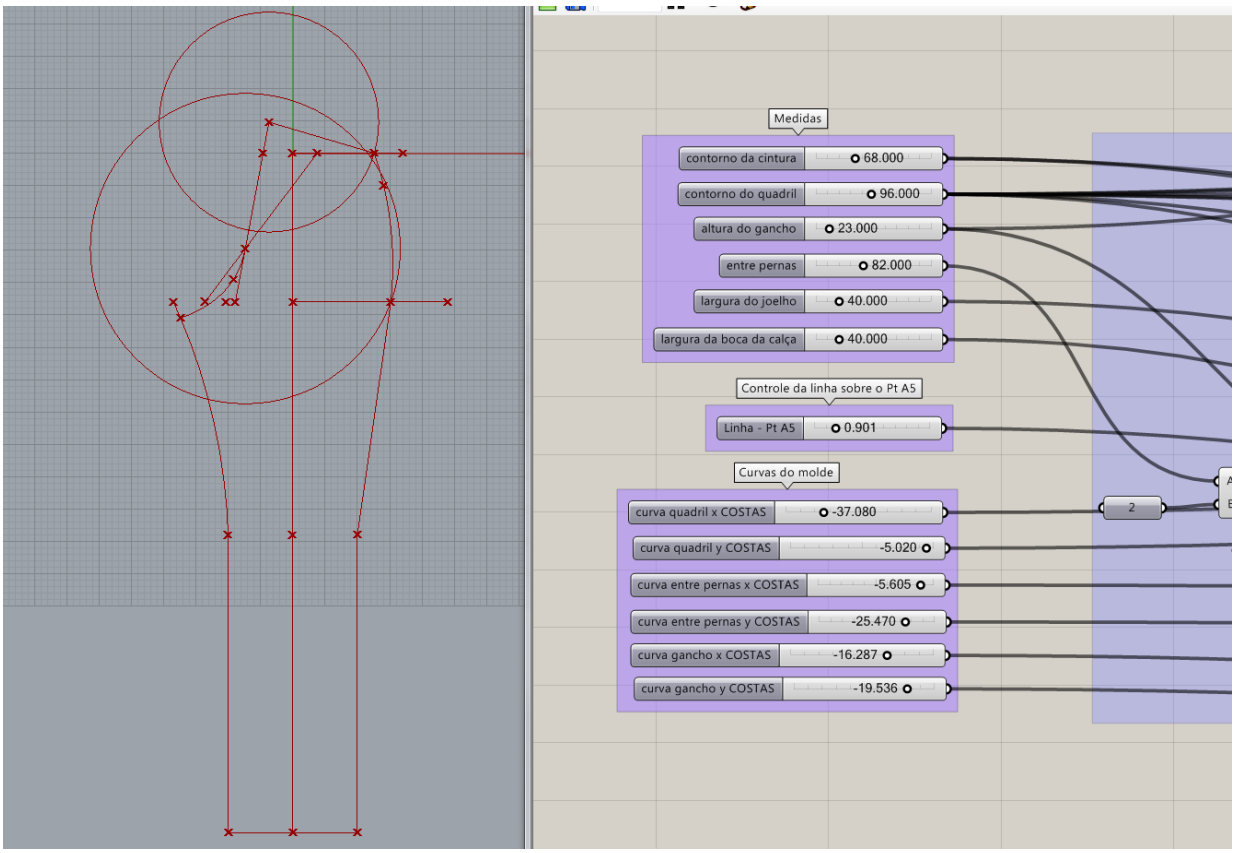


Figura 15: Molde das costas da calça finalizado e *sliders* de medidas no Grasshopper.

5. ADAPTAÇÃO DAS MEDIDAS, INTERPRETAÇÃO DE MODELOS E ANÁLISE COMPARATIVA COM MÉTODO CONVENCIONAL

Com a finalização do processo de modelagem paramétrica da calça feminina no programa Grasshopper, foram realizados testes para verificar a aplicabilidade e a fidelidade dos moldes gerados digitalmente em comparação com os moldes gerados pelo método convencional (manual).

Primeiro foi verificado a mudança de tamanho por meio dos *sliders* de medidas. Após a mudança das medidas, as curvas devem ser ajustadas nos *sliders* correspondentes. Na figura 16, estão apresentadas 4 variações da calça com diferentes medidas de cintura, quadril, largura do joelho e largura da boca da calça. A largura do joelho e da boca da calça são as mesmas para o modelo de calça reta, porém essas medidas podem ser customizadas para interpretação de outros modelos. Em menos de 2 minutos é possível realizar todas as adaptações de tamanho na calça nos moldes frente e costas.

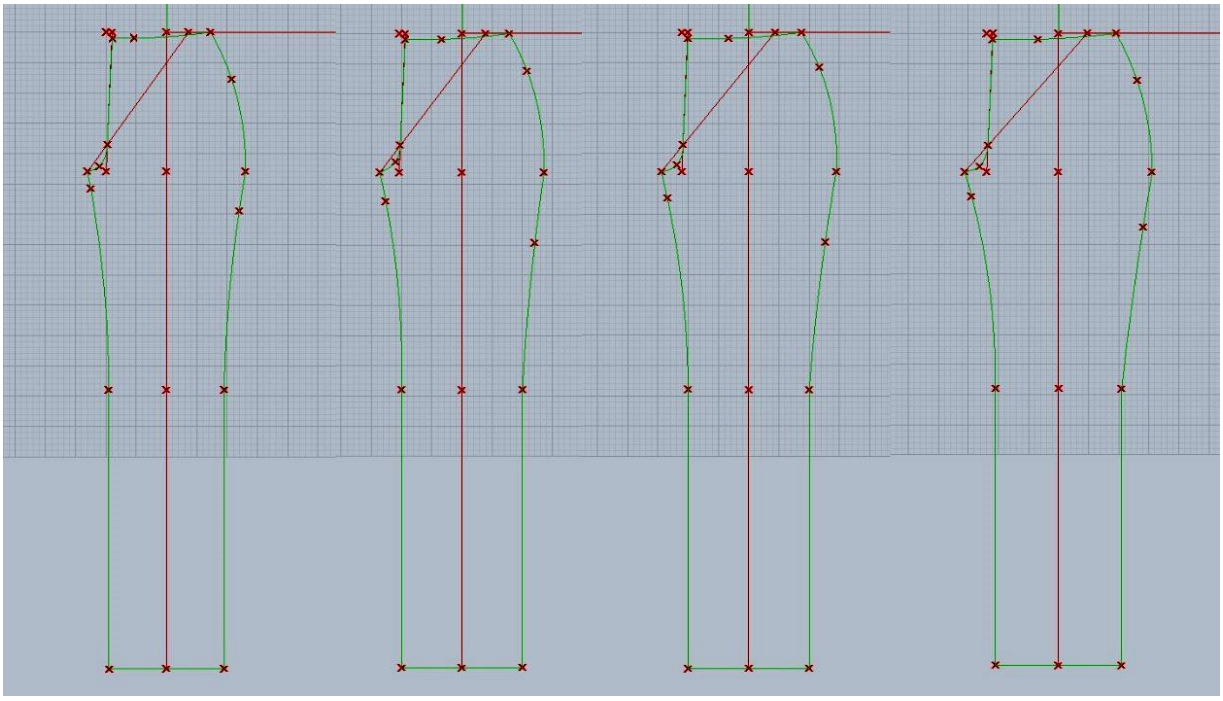


Figura 16: Teste de mudança de tamanho por meio dos *sliders*.

Os *sliders* de largura do joelho e largura da boca da calça podem ser modificados para criação de novos modelos. Após a mudança das medidas nos *sliders*, é necessário realizar os ajustes das curvas do molde nos *sliders* correspondentes. A figura 17 apresenta 4 diferentes modelos de calça feitos com variação das medidas da largura do joelho e da boca da calça. Os testes de mudança de medidas e variação de modelos foram positivos, pois o processo de automatização gera moldes customizáveis em todos os parâmetros utilizados para a construção da modelagem.

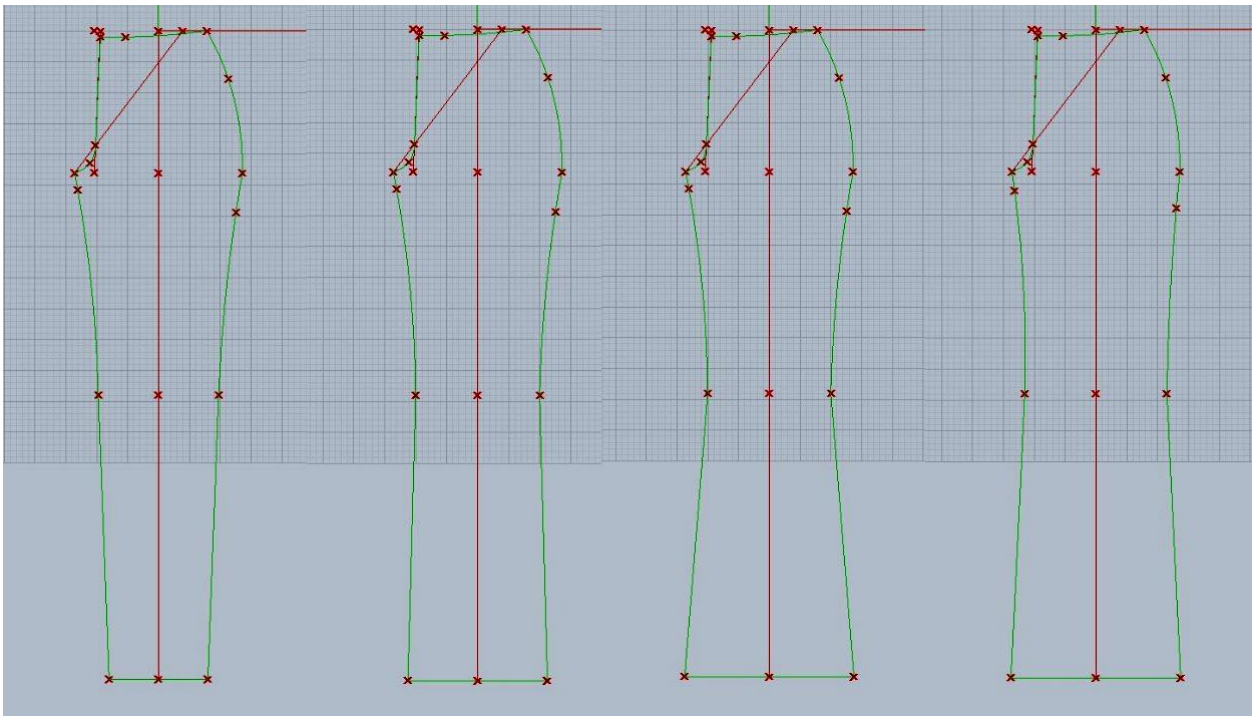


Figura 17: Teste de variação de modelo da calça.

Após o teste de mudança de medidas e variação de modelos, foi realizada uma análise comparativa dos moldes gerados no Grasshopper com os feitos de maneira convencional.

Primeiro os arquivos foram preparados para impressão. Para isso, os componentes que geram o contorno do molde, como pode ser observado em cor verde na figura 17, devem estar conectados a uma única curva (*Crv*). Com o botão direito deve-se acionar o comando *Bake* (figura 18), que tem o papel de tornar todas as curvas do Grasshopper em objeto no Rhinoceros. Assim, o Rhinoceros que antes atuava como um visualizador, agora possui objetos editáveis na sua interface. Na figura 19, estão os moldes frente e costas no Rhinoceros, prontos para impressão.

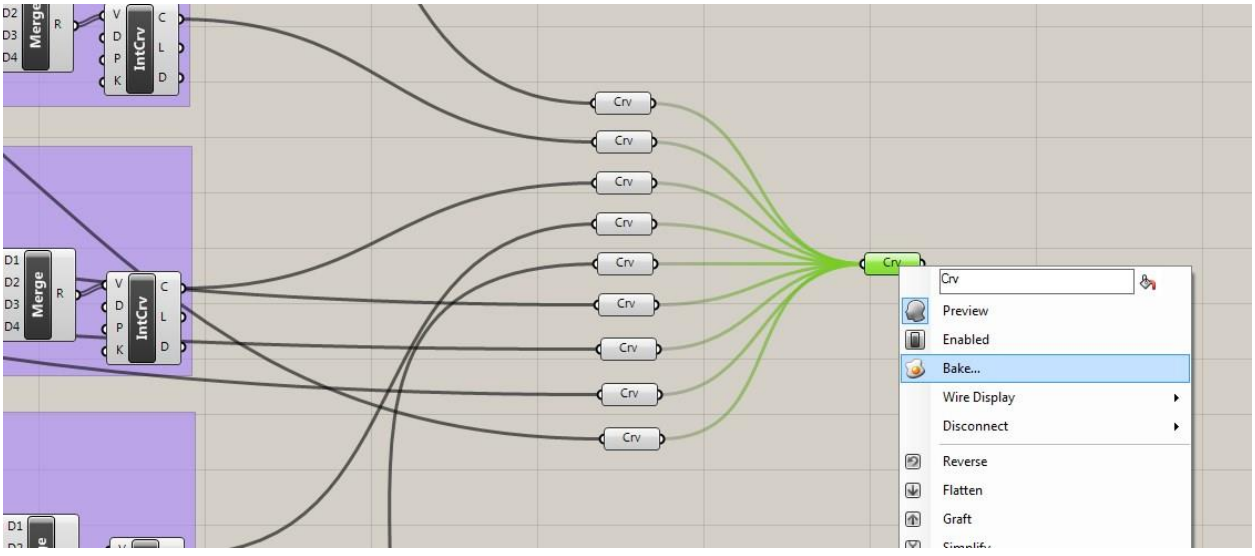


Figura 18: Comando *Bake* para transformar as curvas em objeto no Rhinoceros.

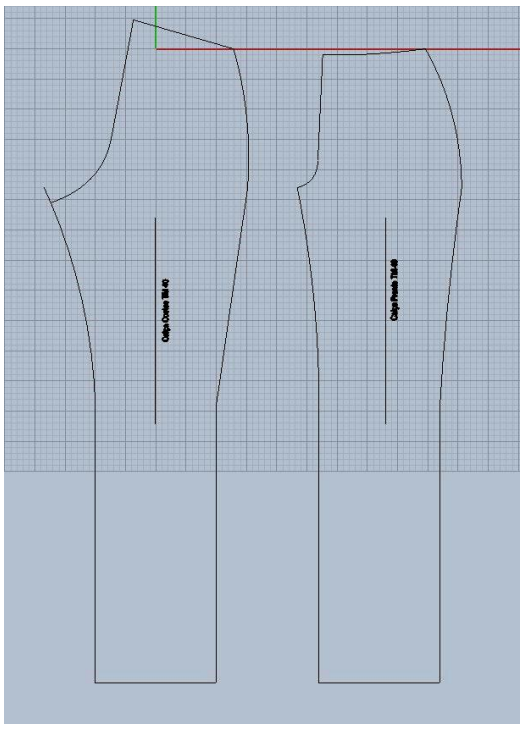


Figura 19: Moldes frente e costas da calça feminina no Rhinoceros.

Após a impressão dos moldes, foi realizada a modelagem da calça de maneira convencional. Para isso, foram utilizados papel e réguas específicas para modelagem (régua flexível, régua curva francesa e régua curva alfaiate).

Para a análise comparativa, os moldes impressos e os gerados manualmente foram recortados e sobrepostos. Com isso, foi possível comparar as medidas e verificar a fidelidade dos traçados das curvas e pontos. Os moldes também foram colocados lado a lado e as medidas principais conferidas (quadril, cintura, altura do gancho, joelho e boca da calça). A figura 20 apresenta a comparação dos moldes da calça.

Os moldes da parte da frente da calça não apresentaram diferenças nas medidas principais (A). Na sobreposição dos moldes, foi possível observar uma variação de 5mm na curva do quadril do molde gerado no Grasshopper (B). Essa variação pode ser explicada em função da curva ter sido feita digitalmente, diferente da curva manual, que utiliza as curvaturas pré-estabelecidas pelas réguas de modelagem.

Na comparação dos moldes das costas da calça feminina (C), também foi observada uma variação de 5mm na curva do quadril (D). Na figura 20 o contorno em vermelho das imagens B e D representa a curva do quadril no molde manual, e o contorno em azul representa a curva do quadril no molde impresso, gerado no Grasshopper. As demais curvas (curva do gancho e as curvas do entrepernas), tiveram variação de 2mm ou menos. Os moldes das costas também não apresentaram variações nas medidas principais.

As pequenas variações apresentadas na comparação dos moldes não interferem na qualidade da modelagem e da peça final, principalmente em função das medidas principais não terem apresentado variação entre os moldes. Porém, o profissional de modelagem pode refilar as curvas de acordo com as réguas padrão ou ajustá-las diretamente no Grasshopper.

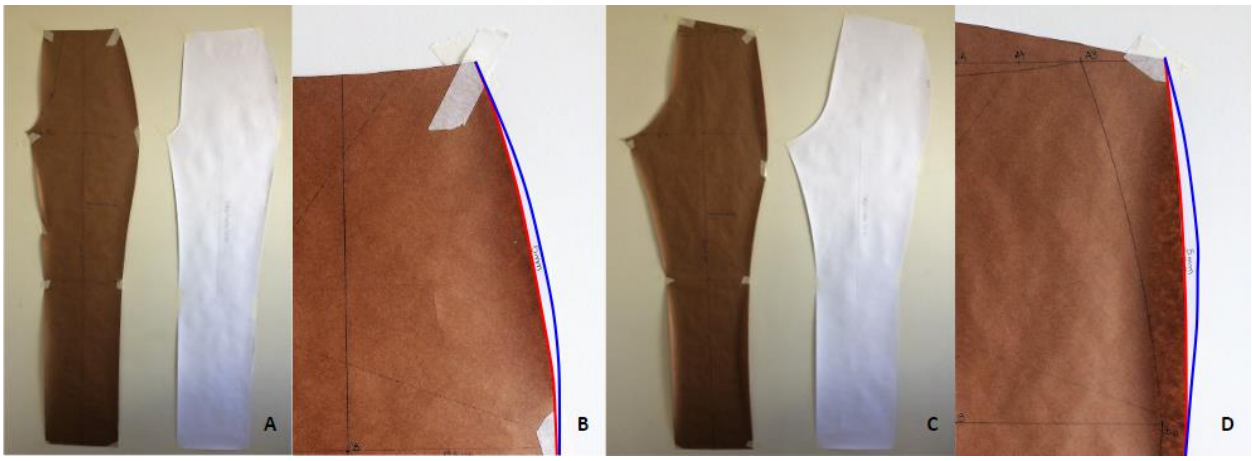


Figura 20: Comparação dos moldes da frente da calça (A-B); Comparação dos moldes das costas da calça (C-D).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de automatização do traçado de moldes básicos para a construção de calça feminina com o software de modelagem paramétrica Grasshopper se mostrou eficiente, tanto em relação as etapas de construção, quando aos resultados alcançados.

A utilização do Grasshopper junto ao software Rhinoceros ainda pode ser bastante explorada na indústria do vestuário, pois é uma alternativa mais acessível em comparação com os demais programas utilizados na área. Ambos softwares possuem uma interface que facilita a compreensão dos componentes, principalmente o Grasshopper que trabalha com operações matemáticas, elementos e ligações.

Apesar de selecionar a metodologia de Romero (1995) para utilizar no processo de automatização, é importante salientar que o processo é passível de adaptação com outras metodologias de modelagem do vestuário. Isso ocorre, pois a modelagem é desenvolvida em cima de uma tabela de medidas e de operações matemáticas. Se o profissional compreende seu método e as operações envolvidas, é possível transpor para o processo de automatização dos moldes.

O processo de automatização agiliza o processo de construção dos moldes básicos e de criação e desenvolvimento de novos modelos interpretados. Em poucos minutos é possível adaptar medidas de diferentes clientes, reduzindo o tempo de trabalho e os erros de projeto.

Para trabalhos futuros, é sugerido ampliar as possibilidades de modificação dos moldes diretamente no Grasshopper, como adição de margens para costura e folgas de movimento, assim como a aplicação em modelos de vestuário mais complexos, como peças de alfaiataria (camisas

e blazers) e vestidos. Também é indicada a inserção de processos de fabricação digital, como o corte a laser, para a confecção dos moldes físicos, o que resulta em um corte preciso dos moldes.

O processo proposto pode ser aplicado em outros produtos, como blusas, saias, vestidos e casacos, desde que sejam utilizados padrões adequados para o produto a ser desenvolvido. Acredita-se que esse processo pode auxiliar profissionais e estudantes da área do vestuário, que queiram explorar novos processos de desenvolvimento de produtos e otimizar o tempo de produção em seu ambiente de trabalho.

REFERÊNCIAS

[1]. AU, C. K.; MA, Y.-S. Garment pattern definition, development and application with associative feature approach. *Computers in Industry*, 2010.

[2]. COSTA, T. N. *Automatização do Traçado dos Moldes Básicos Femininos por Meio de Software de Modelagem.* Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

[3]. HUANG, H. Q.; MOK, P. Y.; KWOK, Y. L.; AU, J. S. Block pattern generation: from parameterizing human bodies to fit feature-aligned and flattenable 3D garments. *Computers in Industry*, v. 63, p. 680-691, 2012.

[4]. LEE, J.; GU, N.; WILLIAMS, A. P. Parametric design strategies for the generation of creative designs. International Journal of Architectural Computing, v. 12, n.03, 2014.

[5]. LEE, Y.; MA, J.; CHOI, S. Automatic pose-independent 3D garment fitting. *Computers & Graphics*, v. 37, p. 911-922, 2013.

[6]. LI, J.; LU, G. Customizing 3D garments based on volumetric deformation. *Computers in Industry*, v. 62, p. 693-707, 2011.

[7]. LIN, Y.; WANG, M. J. The development of a clothing fit evaluation system under virtual environment. *Multimed Tools Appl*, v. 75, p. 7575-7587, 2015.

[8]. LIU, Y.; ZHANG, D.; YUEN, M. M. A survey on CAD methods in 3D garment design. *Computers in Industry*, v. 61, p. 576-593, 2010.

[9]. LU, J.; WANG, M. J.; CHEN, C.; WU. J. The development of an intelligent system for customized clothing making. *Expert Systems with Applications*, v. 37, p. 799-803, 2010.

[10]. MENG, Y.; MOK, P. Y.; JIN, X. Computer aided clothing pattern design with 3D editing and pattern alteration. *Computer-Aided Design*, v. 44, p. 721-734, 2012.

[11]. MENG, Y.; MOK, P. Y.; JIN, X. Interactive virtual try-on clothing design systems. *Computer-Aided Design*, v. 42, p. 310-321, 2010.

[12]. MORAIS, C.; MONTAGNA, G. Customized wardrobe: clothing according to user. *Procedia Manufacturing 3*, p. 5814-5821, 2015.

[13]. NÓBREGA, L. C. O. *Modelagem 2D para Vestuário*. São Paulo: Érica, 2014.

[14]. OSÓRIO, L. *Modelagem:* organização e técnicas de interpretação. Caxias do Sul, RS: Editora da UCS, 2007.

[15]. PAYNE, A; ISSA, R. *The Grasshopper Primer.* Second Edition. FLUX: Architecture in a Parametric Landscape, California College of the Arts, 2009.

[16]. ROMERO, L. F. *Apostila de Modelagem Feminina*. Porto Alegre, RS: SENAI-RS, 1995.

[17]. TREPTOW, D. *Inventando Moda:* planejamento de coleção. Brusque, SC: D. Treptow, 2013.

[18]. XIU, Y.; WAN, Z.; CAO, W. A constructive approach toward a parametric pattern-making model. *Textile Research Journal*, v. 81, n. 10, p. 979-991, 2010.