

Este trabalho propõe um método chamado sKanner3D para geração automática de humanos virtuais utilizando apenas uma câmera RGBD que captura o modelo, cria um mapa de textura, realiza o *rigging* e gera variantes críveis da pessoa capturada. Para realizar o *rigging* são identificados pontos-chaves para o posicionamento das juntas e, pela informação de cor é gerado um mapa de textura. Para gerar os modelos variantes, foi utilizado o método FFD para deformação da malha por pontos de controle, dirigidos por informações antropométricas associadas a níveis de obesidade, aplicados de modo diferenciado para os lados (frente, laterais e costas) de cada segmento do corpo. Para validar o modelo gerado foi calculado e comparado o volume dos modelos geométricos associados a cada nível de obesidade e, para avaliar a geração dos modelos, foi aplicado um questionário a profissionais relacionados à área de Percepção Corporal.

Orientador: André Tavares da Silva

Joinville, 2018

ANO  
2018



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

GABRIEL CAIXETA SILVA | SKANNER3D: CAPTURA CORPORAL 3D COM  
MODELAGEM AUTOMÁTICA ENRIQUECIDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
**SKANNER3D: CAPTURA CORPORAL  
3D COM MODELAGEM  
AUTOMÁTICA ENRIQUECIDA**

GABRIEL CAIXETA SILVA

JOINVILLE, 2018

**GABRIEL CAIXETA SILVA**

**SKANNER3D: CAPTURA CORPORAL 3D COM MODELAGEM  
AUTOMÁTICA ENRIQUECIDA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, para a obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Dr. André Tavares da Silva

**JOINVILLE**

**2018**

Silva, Gabriel Caixeta  
sKanner3D: Captura Corporal 3D com Modelagem  
Automática Enriquecida / Gabriel Caixeta Silva. -  
Joinville , 2018.  
133 p.

Orientador: André Tavares da Silva  
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas,  
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada,  
Joinville, 2018.

1. Humanos Virtuais. 2. Captura Corporal. 3.  
Modelagem. 4. Deformação. I. Silva, André Tavares  
da. II. Universidade do Estado de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação. III. Título.

**Skanner3D: Captura Corporal 3D com Modelagem Automática Enriquecida**

por

**Gabriel Caixeta Silva**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

**Mestre em Computação Aplicada**

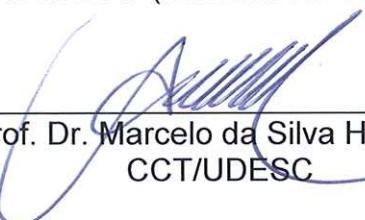
Área de concentração em “Ciência da Computação”,  
e aprovada em sua forma final pelo

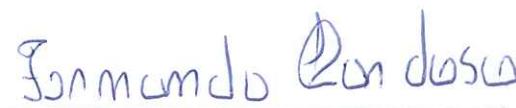
CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM COMPUTAÇÃO APLICADA  
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. André Tavares da Silva  
CCT/UDESC (Orientador/Presidente)

  
Participação Por Usado Conveniente  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Soraia Raupp Musse  
PUC-RS

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcelo da Silva Hounsell  
CCT/UDESC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fernando Luiz Cardoso  
CEFID/UDESC

Joinville, SC, 23 de março de 2018.



## RESUMO

A modelagem de humanos virtuais é um desafio e requer a solução de vários problemas, entre estes estão os processos de reconstrução de um modelo escaneado, associação de um esqueleto à malha geométrica (*rigging*) e texturização. A fim de gerar diversidade populacional, é importante possibilitar também o uso de técnicas para deformação do modelos gerados ou capturados. Assim, realizou-se uma revisão da literatura destes problemas, em busca de processos de deformação baseados em aspectos fisiológicos do corpo (como vigor físico, idade, massa corporal), com o intuito de produzir humanos virtuais críveis e variados. Encontrou-se trabalhos que realizam as tarefas de captura, textura, *rigging* de um modelo, ou deformação da malha dos modelos como processos isolados, mas em geral não contemplam todos eles. Em especial, as deformações geométricas da malha de modelos de humanos virtuais possuem níveis diferenciados de manipulação (direta ou por controles), bem como focos distintos (animação e geração de multidões). Desta forma, propôs-se um método, chamado sKanner3D, que gera um processo automático com apenas uma câmera RGBD que captura o modelo, cria um mapa de textura, realiza o *rigging* e gera variantes críveis da pessoa capturada. Para realizar o *rigging* são identificados pontos-chaves para o posicionamento das juntas e, pela informação de cor é gerado um mapa de textura. Para gerar os modelos variantes, foi utilizada uma técnica de deformação da malha por pontos de controle, dirigidos por informações antropométricas associados a níveis de obesidade, aplicados de modo diferenciado para os lados (frente, laterais e costas) de cada segmento do corpo. Para validar o modelo gerado foi calculado e comparado o volume dos modelos geométricos associados a cada nível de obesidade com medidas coletadas de crianças de 7 a 10 anos. Para avaliar a geração dos modelos foi aplicado um questionário a profissionais relacionados a área de Percepção Corporal, além de uma análise objetiva da validação dos modelos gerados. Os dados mostram que o sKanner3D consegue gerar modelos críveis, apesar de algumas limitações da etapa de captura que influenciam no processo de deformação. Além disso, percebeu-se uma dificuldade na avaliação subjetiva devido à falta de consenso sobre a forma ideal do corpo para cada grupo de IMC.

**Palavras-chaves:** Humanos Virtuais, Captura Corporal, Modelagem, Deformação.



## ABSTRACT

The modeling of virtual humans is a challenge that requires the solution of several problems such as the reconstruction of a scanned model, the association of the geometric mesh with the bones of a skeleton (rigging) and texturing. In order to generate population diversity, it is also important to allow the use of techniques to deform the generated or captured models. Therefore, a literature review of these problems was carried out, searching for deformation processes based on physiological aspects of the body (e.g., physical vigor, age, body mass), in order to produce credible and varied virtual humans. We find work that performs the tasks of capturing, texturing, rigging a model or deforming the mesh of the models as isolated processes, but they generally do not contemplate them all. In particular, the geometric deformations of the mesh of virtual human models have different levels of manipulation (direct or by controls), as well as distinct focuses (animation and crowd generation). Thus, this work proposes a method, called sKanner3D, that generates a geometric model of a person with texture and rigging through an automatic capture process using only an RGBD camera and then generates believable variants of the captured geometric model. Key points are identified to position the joints and perform the rigging process, and the texture mapping is generated by color information. A technique of mesh deformation by control points was used to generate variations in the geometric models, being directed by anthropometric information associated with obesity levels, applied differently to the sides (front, sides and back) of each segment of the body. In order to validate the generated model, the volume of the geometric models associated with each level of obesity was calculated and compared with the measurements collected from 7 to 10 year old children. To evaluate the generation of models, a questionnaire was also applied to professionals in the area of Body Perception, in addition to an objective analysis of the validation of the models generated. The results of these analyzes demonstrate that sKanner3D can generate credible models, despite some limitations of the capture step that can influence the deformation process. The results of these analyzes demonstrate that sKanner3D manages to generate credible models, despite some limitations of the capture step that can induce the deformation process. In addition, a difficulty in subjective assessment is noted because of the lack of consensus on the ideal body shape for each BMI group.

**Key-words:** Virtual Humans, Body Capture, Modeling, Deformation.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de imagens normalmente utilizadas no Teste de Avaliação da Imagem Corporal . . . . .	25
Figura 2 – Exemplo de modelos do SAPECO do IMC=1 ao IMC=9 . . . . .	26
Figura 3 – Localização dos pontos anatômicos associados ao IMC . . . . .	26
Figura 4 – Oito mulheres com um IMC de 30, com o limiar para a obesidade destacando diferentes formas do corpo . . . . .	28
Figura 5 – Exemplo de esqueletos . . . . .	33
Figura 6 – Comparação entre coloração de vértice e mapeamento de textura . . . . .	35
Figura 7 – Fechamento da malha para o cálculo do volume . . . . .	36
Figura 8 – Objeto plástico não deformado . . . . .	38
Figura 9 – Objeto plástico deformado . . . . .	38
Figura 10 – Processo de deformação do SCODEF . . . . .	39
Figura 11 – Processo de deformação do Axial Deformation . . . . .	39
Figura 12 – Processo Mapeamento Sistemático . . . . .	47
Figura 13 – Proposta de classificação das técnicas de deformação . . . . .	51
Figura 14 – Alinhamento e reconstrução do <i>Fast Avatar Catpure</i> . . . . .	53
Figura 15 – Imagens Capturada do <i>Fast Avatar Catpure</i> . . . . .	53
Figura 16 – Processo de captura do sKanner3D . . . . .	58
Figura 17 – Parâmetros para o processo de captura . . . . .	58
Figura 18 – Mapas de textura . . . . .	59
Figura 19 – Pontos utilizados no rigProcessing. . . . .	60
Figura 20 – Esqueleto posicionado utilizando os pontos encontrados no rigProcessing. . . . .	62
Figura 21 – Processo de geração de modelos deformados do sKanner3D . . . . .	63
Figura 22 – Interface gráfica do sKanner3D . . . . .	64
Figura 23 – Gráfico referente à Tabela 2 . . . . .	66
Figura 24 – Geração da grade FFD no modelo . . . . .	67
Figura 25 – Vértices influenciados pelo osso do braço . . . . .	68
Figura 26 – Influência de direção aplicado aos lados da grade do FFD . . . . .	68
Figura 27 – Comparação entre volume e IMC . . . . .	70
Figura 28 – Diagrama do sKanner3D . . . . .	71
Figura 29 – Deformações aplicadas a um modelo . . . . .	74
Figura 30 – Gráfico de variação de volume dos modelos de meninos gerados pelo skanner3D. . . . .	77

Figura 31 – Emagrecimento do modelo 9 do SAPECO, comparação do modelo gerado pela deformação do skanner3D e os modelos criados manualmente. . . . .	78
Figura 32 – Gráfico de variação de volume dos modelos de meninos gerados pelo skanner3D. . . . .	79
Figura 33 – Geração de variantes de uma criança via sKanner3D . . . . .	80
Figura 34 – Gráfico referente à Q1. . . . .	83
Figura 35 – Gráfico referente à Q2 e Q3. . . . .	83
Figura 36 – Gráfico referente à Q4 e Q5. . . . .	84
Figura 37 – Gráfico referente à Q6 e Q7. . . . .	84
Figura 38 – Gráficos referentes às questões P1 e P2 das duas crianças. . . . .	88
Figura 39 – Gráficos referentes às questões P3, P4 e P5. . . . .	89
Figura 40 – Gráficos referentes às questões P6, P7 e P8. . . . .	91

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Processo de geração de modelos deformados do sKanner3D . . . . .	65
Tabela 2 – Fator de deformação . . . . .	66
Tabela 3 – Influência de direção aplicado aos lados da grade do FFD . . . . .	69
Tabela 4 – Porcentagem de crescimento de volume para grupos adjacentes de IMC para função de engorda. . . . .	69
Tabela 5 – Tabela comparativa da questão Q1 entre os modelos . . . . .	82
Tabela 6 – Tabela comparativa das questões P1 e P2 entre os modelos das crianças (n=40) . . . . .	88



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	OBJETIVOS	19
1.2	ESCOPO	19
1.3	METODOLOGIA	20
1.4	ESTRUTURA	21
<b>2</b>	<b>CONCEITOS FUNDAMENTAIS</b>	<b>23</b>
2.1	APLICAÇÕES COM HUMANOS VIRTUAIS	23
2.1.1	<b>Imagen Corporal</b>	<b>24</b>
2.1.2	<b>Índice de Massa Corporal (IMC)</b>	<b>27</b>
2.1.3	<b>Índice de Volume Corporal (IVC)</b>	<b>27</b>
2.1.4	<b>Deformações de Humanos Virtuais</b>	<b>28</b>
2.2	MODELAGEM GEOMÉTRICA	32
2.2.1	<b>Boundary Representation</b>	<b>32</b>
2.2.2	<b>Esqueleto</b>	<b>33</b>
2.2.3	<b>Rigging</b>	<b>34</b>
2.2.4	<b>Textura</b>	<b>34</b>
2.2.5	<b>Volume de modelos geométricos</b>	<b>36</b>
2.3	TÉCNICAS DE DEFORMAÇÃO DA MALHA GEOMÉTRICA	37
2.3.1	<b>Free Form Deformation</b>	<b>37</b>
2.3.2	<b>Simple Constrained Deformations</b>	<b>37</b>
2.3.3	<b>Axial Deformation</b>	<b>38</b>
2.3.4	<b>Cage-based Deformation</b>	<b>39</b>
2.3.5	<b>Deformação baseada em superfícies</b>	<b>40</b>
2.4	GERAÇÃO DE POPULAÇÕES DE HUMANOS VIRTUAIS	40
2.4.1	<b>Captura</b>	<b>40</b>
2.4.2	<b>Deformações por Encaixe (Fitting)</b>	<b>41</b>
2.4.3	<b>Função de Deformações</b>	<b>41</b>
2.4.4	<b>Interpolação de Modelos</b>	<b>42</b>
2.5	BASES DE MODELOS	42
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	43
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>45</b>
3.1	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA	45
3.1.1	<b>ESTRATÉGIAS DE DEFORMAÇÃO</b>	<b>47</b>

3.2	REVISÃO DA LITERATURA . . . . .	50
3.3	<i>FAST AVATAR CAPTURE</i> . . . . .	52
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO . . . . .	54
<b>4</b>	<b>SKANNER 3D: CAPTURA E DEFORMAÇÃO</b> . . . . .	<b>57</b>
4.1	CAPTURA AUTOMATIZADA . . . . .	57
4.2	PROCESSO DE DEFORMAÇÃO . . . . .	63
<b>4.2.1</b>	<b>Integração com o SAPECO</b> . . . . .	<b>70</b>
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO . . . . .	71
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTO, RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>73</b>
5.1	RESULTADOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA . . . . .	73
<b>5.1.1</b>	<b>Limitações do sKanner3D</b> . . . . .	<b>75</b>
5.2	EXPERIMENTO OBJETIVO . . . . .	76
<b>5.2.1</b>	<b>Modelos do Sapeco</b> . . . . .	<b>76</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Modelos de crianças</b> . . . . .	<b>78</b>
5.3	EXPERIMENTO SUBJETIVO . . . . .	80
<b>5.3.1</b>	<b>Teste Piloto</b> . . . . .	<b>80</b>
5.3.1.1	<i>Resultados e Discussões</i> . . . . .	81
<b>5.3.2</b>	<b>Teste Final</b> . . . . .	<b>85</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Resultados e Discussões</b> . . . . .	<b>87</b>
5.4	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO . . . . .	91
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO FINAL E CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>93</b>
6.1	DISCUSSÃO . . . . .	93
<b>6.1.1</b>	<b>Mapeamento sistemático e revisão da literatura</b> . . . . .	<b>93</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Módulo de Captura do sKanner3D</b> . . . . .	<b>93</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Módulo de Deformação</b> . . . . .	<b>94</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Avaliação</b> . . . . .	<b>94</b>
6.2	CONCLUSÃO . . . . .	95
6.3	TRABALHOS FUTUROS . . . . .	97
<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .		<b>99</b>
<b>APÊNDICE A – PSEUDOCÓDIGOS</b> . . . . .		<b>107</b>
<b>APÊNDICE B – MODELOS GERADOS PELO SKANNER3D</b> . . . . .		<b>111</b>
<b>APÊNDICE C – FORMULÁRIO PILOTO</b> . . . . .		<b>113</b>

<b>APÊNDICE D – FORMULÁRIO FINAL</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE E – COMENTÁRIOS DO QUESTIONÁRIO</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO A – MÉDIAS DAS MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS UTILIZADAS NO SAPECO</b>	<b>133</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Modelos geométricos 3D capturados (escaneados) de objetos reais têm inúmeras aplicações na indústria cinematográfica, de jogos (MAGNENAT-THALMANN; SEO; CORDIER, 2004; TONG et al., 2012), saúde (WERGHI, 2007; MAGNENAT-THALMANN; THALMANN, 2006) e moda (MAGNENAT-THALMANN, 2010; ZHENG-DONG; SHUYUAN, 2010), principalmente quando são gerados humanos virtuais. Modelos 3D de humanos virtuais podem ser desenvolvidos por ferramentas de captura interativa, ou reconstrução baseadas em fotos 2D, vídeos ou tecnologias a laser (MAGNENAT-THALMANN; THALMANN, 2006). Estes modelos podem ser usados como substitutos de “pessoas reais” em testes ergométricos baseados em computador para projetos de veículos, trabalhos de campo, representações de humanos em ambientes virtuais em suas diversas atividades (MODESTO et al., 2006).

Capturar formas 3D de humanos é uma tarefa complexa que visa capturar pontos no espaço, alinhá-los e construir o modelo 3D, fechando espaços não capturados por oclusão, de forma que fique parecido com a pessoa real. Entretanto, as soluções atuais para escaneamento mais usuais encontradas são baseadas em equipamentos de alto custo financeiro (SILVA, 2005, p. 12), como máquinas de medição por coordenadas (CMM, *Coordinate Measuring Machine*) (CARBONE et al., 2001) e escâneres a laser (WINKELBACH; MOLKENSTRUCK; WAHL, 2006). Existem ainda soluções baseadas em imagens ou vídeos todavia, estas requerem demanda computacional considerável e calibração cuidadosa (REMONDINO; EL-HAKIM, 2006).

Com o barateamento e a popularização das câmeras de profundidade, também conhecidas como câmeras RGB-D (*Depth Sensor*), como é o caso dos dispositivos *Microsoft Kinect*<sup>1</sup>, *RealSense*<sup>2</sup>, *StructureSensor*<sup>3</sup>, e *Asus Xtion*<sup>4</sup>, apresenta-se a possibilidade de capturar objetos do mundo real e gerar uma nuvem de pontos tridimensionais que pode, por sua vez, ser tratada em algoritmos de menor demanda computacional dando origem a uma malha (uma coleção de vértices, arestas e faces) que descrevem o formato do objeto original. Isto tem sido feito utilizando vários dispositivos (TONG et al., 2012; FABIO et al., 2003; ALEXIADIS; ZARPALAS; DARAS, 2013) ou utilizando apenas um único dispositivo (FENG; CASAS; SHAPIRO, 2015; MAO et al., 2017)

Dispositivos como o *Kinect* fornecem ainda um recurso extra, que é a identifi-

<sup>1</sup> <https://developer.microsoft.com/pt-br/windows/kinect/>

<sup>2</sup> <https://software.intel.com/pt-br/realsense/home>

<sup>3</sup> <https://structure.io/>

<sup>4</sup> <https://www.asus.com/3D-Sensor/>

cação de um modelo simplificado de esqueleto virtual de forma automática (ZHANG, 2012). Porém, é preciso associar o esqueleto com a geometria, a fim de permitir a articulação da malha por meio da manipulação de referências no esqueleto, processo este definido como *rigging*. Neste processo, um conjunto de vértices da malha geométrica é associada a um ou mais ossos, bem como o peso que cada osso tem sobre eles.

Esta relação entre malha e esqueleto, faz-se útil não só para o processo de animação, mas para gerar variantes visuais que mantenham a coerência fisiológica (como altura, peso, idade), uma vez que cada parte do corpo reage de modo diferente, mas em conjunto conforme alteram-se as medidas dos aspectos corporais em questão. Também é preciso mapear a textura com a geometria adicionando detalhes ou características para o modelo, o que permite gerar formas individualizadas com um realismo visual (THALMANN; MUSSE, 2013).

Entretanto, associar as informações de malha e esqueleto, mantendo a fisiologia durante a manipulação do modelo, não é uma tarefa trivial (FENG; CASAS; SHAPIRO, 2015), visto que para encontrar uma localização para as juntas para cada malha nova, deve-se levar em conta que podem existir várias mudanças, como altura, tamanho e comprimento dos membros. Porém, suas aplicações podem ser aproveitadas pelas mais diversas áreas, uma vez que permite representar uma pessoa dentro de um mundo virtual chegando mais próximo de sua auto-imagem e executar, por exemplo, o estudo de variações morfológicas deste indivíduo.

Uma dessas áreas é a Avaliação de Imagem Corporal (FERRARI, 2016; CÔRTEZ et al., 2013; MATSUO et al., 2007) que, atualmente, utiliza cartões 2D, em preto e branco, de silhuetas de corpos para a realização do teste. Este teste é utilizado para avaliar a figura mental que as pessoas têm de si mesmas em relação à forma e tamanho do corpo, além de sentimentos, atitudes e experiências relacionadas a estas características, permitindo uma série de análise pelos profissionais que a utilizam. Blom et al. (2014) propõem o uso de modelos 3D em que utiliza a cabeça escaneada de uma pessoa com um corpo genérico modelado com base de medidas corporais de europeus. Ferrari (2016) utiliza uma escala de modelos 3D genéricos de crianças brasileiras. Stewart et al. (2009) utilizam modelos 3D baseados em medidas do corpo de homens e mulheres, caucasianos e afro-americanos, norte-americanos.

No entanto, percebe-se que geração de variantes de um modelo conforme os critérios antropométricos de aspecto geral, como nível de obesidade (engorda e emagrecimento), envelhecimento, fortalecimento, são pouco explorados na literatura (SILVA et al., 2017), por requererem técnicas dirigidas por outras áreas ou requererem uma modelagem mais complexa baseadas na anatomia do corpo.

Neste trabalho, utilizando apenas um único dispositivo *Microsoft Kinect* busca-se encontrar um método automático e integrado que captura, realiza o *rigging*, mapeia a textura de um modelo humano, e cria variações que sejam visualmente convincentes, desde uma versão mais magra até uma versão mais gorda deste modelo, utilizando aspectos morfológicos do indivíduo escaneado para que a pessoa escaneada realize o teste de avaliação da Imagem Corporal vendo a própria representação e não um modelo 2D ou 3D genéricos.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é gerar variações de modelos corporais 3D a partir de um modelo geométrico capturado de uma pessoa real, através de uma única câmera de profundidade de baixo custo, com variações antropométricas críveis.

Para atingir o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma solução automática e integrada para captura de um modelo 3D de uma pessoa real com texturização e *rigging* do modelo;
- Gerar deformações com base na morfologia e determinar a aplicação coerente destas deformações sobre o modelo geométrico 3D;
- Avaliar a geração das variantes dos modelos.

## 1.2 ESCOPO

A fim de delimitar o escopo desta pesquisa, são analisadas as deformações geradas pelo modelo proposto, a partir de captura de modelos de crianças, de 7 a 10 anos de idade, escaneadas via *Microsoft Kinect v1.0*. Os modelos escaneados neste estudo formam uma base de dados para que sejam realizadas deformações na malha geométrica.

As deformações realizadas nos modelos da base de dados criada levam em conta apenas o aspecto externo do corpo humano associado ao seu Índice de Massa Corporal (IMC) e ao volume do modelo geométrico inspirado no Índice de Volume Corporal (IVC), não incluindo aqui modelagem, nem deformações dos órgãos internos de uma pessoa. Também não está sendo levado em consideração as dobras do tecido adiposo em decorrência do engordamento ou aparecimento de rugas devido ao emagrecimento do indivíduo, uma vez que os modelos utilizados foram escaneados com roupa. Atuação da gravidade no modelo, mudanças posturais e alterações no rosto também não serão analisadas.

### 1.3 METODOLOGIA

Para mostrar o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi feito um aprofundamento da pesquisa bibliográfica nas técnicas que os trabalhos atuais utilizam para escaneamento 3D de objetos do mundo real através de uma câmera de profundidade. Também foi realizada uma pesquisa bibliográfica referente as técnicas atuais de *rigging* automático e geração de populações de humanos, bem como técnicas para deformação de malha geométrica. E uma pesquisa exploratória, propondo um protótipo de software no qual serão inseridas propostas, processos, parâmetros e variáveis com vistas a posterior otimização. E ainda uma pesquisa de campo junto a especialistas e por simulações para verificar a coerência dos modelos gerados.

A fim de validar o protótipo proposto, foram aplicados três testes:

- **Teste 1:** Aplicar os algorítimos em um modelo A, gerar um modelo B e comparar com um modelo C conhecido;
- **Teste 2:** Aplicar os algorítimos em modelos capturados de crianças e gerar as variações antropométricas e comparar se o volume do modelo está dentro do padrão definido;
- **Teste 3:** Mostrar modelos de crianças com vários IMC para especialistas (como Educadores Físicos, Fisioterapeutas e Pediatras) e perguntar se acham que está verossímil.

Esta pesquisa se insere no paradigma tecnocrático (EDEN, 2007; GELAIN et al., 2014) pois haverá um grande volume de conhecimentos novos sendo obtidos pela própria prática de desenvolver uma solução e a forma como esta funciona também é um conhecimento útil. Se caracteriza também por ser uma pesquisa aplicada (DENNING, 2005) uma vez que visa resolver um problema prático gerando uma solução efetiva a um questionamento existente. Também engloba uma pesquisa exploratória (WAZLAWICK, 2010), pois busca analisar um conjunto de fenômenos para encontrar anomalias que não sejam ainda conhecidas para que possam ser, então, base para pesquisas mais elaboradas.

A principal contribuição deste trabalho é a criação de um sistema para deformação da aparência dos modelos 3D de humanos virtuais, orientado pelo IVC e dados antropométricos relacionados ao IMC, com várias aplicações, na qual é gerada uma escala de humanos virtuais para serem aplicados no teste de Satisfação de Imagem Corporal (FERRARI, 2016; CÔRTES et al., 2013), a partir de pessoas escaneadas.

#### 1.4 ESTRUTURA

A fim de apresentar a pesquisa realizada, o texto foi dividido da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, detalhando os principais conceitos e definições relacionados à abordagem proposta. No Capítulo 3 é realizada uma revisão da literatura, na qual são expostos trabalhos relacionados à presente pesquisa. No Capítulo 4 são descritos o método e o desenvolvimento da solução proposta. No Capítulo 5 são detalhados os experimentos, resultados e discussões. E por fim, são apresentados as considerações finais e trabalhos futuros no Capítulo 6.



## 2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Este capítulo destina-se a apresentar os conceitos relacionados à modelagem e deformação de humanos virtuais, mostrando suas aplicações, técnicas e sistemas para geração de populações.

### 2.1 APLICAÇÕES COM HUMANOS VIRTUAIS

Hoffmann et al. (2007) definem que humanos virtuais são representações de formas e características humanas em meio digital. Já Modesto (2005) define humanos virtuais como modelos de pessoas que podem ser usados como substitutos de “pessoas reais” em testes ergométricos baseados em computador, para projetos de veículos, trabalho de campo, ferramentas, linhas de produção, para representações humanas do participante ou de outros em ambientes de virtuais de tempo real. Braun et al. (2013) afirmam que um humano virtual é um conjunto de etapas básicas que devem ser satisfeitas como: modelagem, rigging, texturização e animação. Estas etapas podem levar uma grande quantidade de tempo para serem desenvolvidos por um artista, situação que piora quando é preciso criar vários e distintos humanos virtuais.

Thalmann e Musse (2013, p. 31) afirmam que modelos de humanos virtuais vem sendo largamente utilizados em aplicações de computação gráfica, como realidade virtual, simulações e jogos. Geralmente, devido à complexidade dos corpos humanos, formas realísticas são construídas por um exaustivo e longo processo de design gráfico. Além de requererem a presença de grupos ou multidões de personagens, uma diversidade de formas e tipos de animações são necessárias para popular realisticamente um ambiente virtual. Como consequência, os artistas envolvidos devem criar manualmente cada destes personagens, aumentando a complexidade de sua tarefa e tempo necessário para realizá-los.

Magnenat-Thalmann e Thalmann (2006, p. 20) descrevem que simulações de humanos virtuais são um imenso desafio e requerem a solução de muitos problemas em várias áreas. Sendo a modelagem uma destas, esta é considerada a primeira etapa para criar um humano virtual que pode ser desenvolvido por ferramentas de escultura interativa ou por reconstrução baseada em fotos 2D, vídeo e tecnologias a *laser*. Porém o principal problema ainda são as deformações ou manipulações do corpo que tem sido objeto de pesquisa de muitos pesquisadores e que ainda não está resolvido.

Seo (2006, p. 76) descreve que modelos antropométricos humanos são utilizados em um amplo número de aplicações em computação gráfica, como alterar as

dimensões do corpo para facilitar a pesquisa e análises cabíveis, ou incluir mais características aos modelos. Magnenat-Thalmann e Thalmann (2006, p. 8) e Modesto et al. (2006, p. 80) afirmam que o número de aplicações de humanos virtuais são ilimitados bem como as atividades humanas e descrevem algumas destas aplicações como sendo:

- a) Populações virtuais para aprendizado e treinamento baseado em simulações, desenvolvimento de habilidades, coordenação de times e tomadas de decisão;
- b) Usuários virtuais para análise ergonômica em ambientes virtuais de trabalho e veículos;
- c) Pacientes virtuais para cirurgias;
- d) Apresentadores virtuais para a TV e web;
- e) Manequins virtuais para a indústria têxtil;
- f) Atores virtuais para filmes;
- g) Pessoas virtuais para análise de fatores humanos como percepção corporal, capacidades, comportamentos e desempenho de interação afetiva em ambientes controlados;
- h) Análise de diferenças entre humanos que relaciona um conjunto de características que são as variantes do indivíduo;
- i) Geração de compreensão de instruções em como o ser humano se comunica com outros em um contexto rico de linguagem, sensações e experiências vivenciadas que podem ser transferidas ao avatar e/ou agente virtual gerado;
- j) Simulação biomédica em que o ser humano é uma estrutura complexa tanto em termos físicos quanto funcionais;
- k) Análise de forma e movimento: o entendimento do que se vê e sente no mundo real deve ser transportado até o modelo do mundo virtual. Com formas geométricas e deformações de objetos mais próximas da realidade.

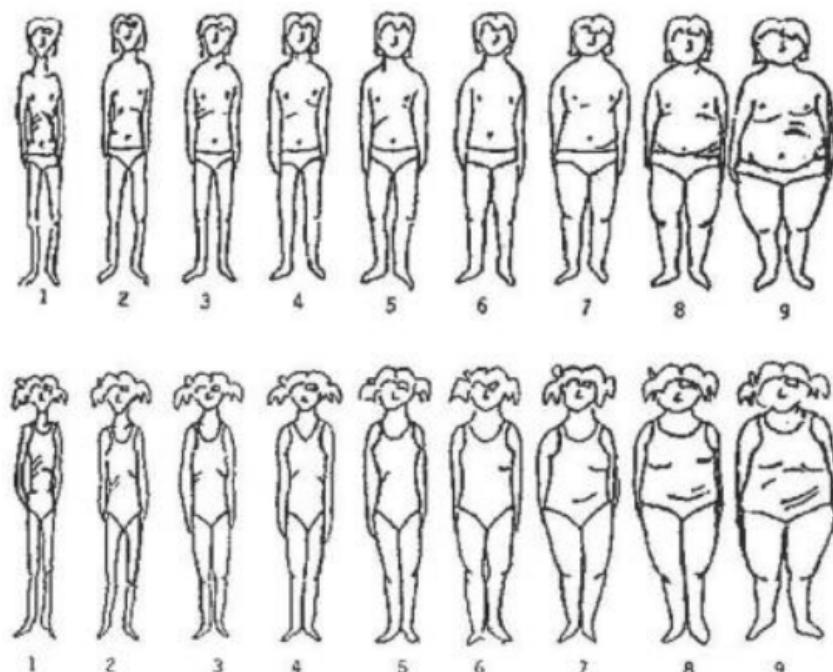
### **2.1.1 Imagem Corporal**

Nas últimas décadas, houve um aumento em relação à preocupação com a Imagem Corporal, seja pelo aumento de obesidade ou até mesmo pela exaltação da magreza como ideal de aceitação provocado por diversos fatores como, por exemplo, desordem alimentar ou mudança de estilo de vida e hábitos (CÔRTES et al., 2013), e também a mídia (MATSUO et al., 2007, p. 39) em seus diversos meios, como por exemplo: a TV e o cinema.

Côrtes et al. (2013) define Imagem Corporal como sendo uma figura mental que as pessoas têm em relação à forma e tamanho do corpo, além dos sentimentos, atitudes e experiências relacionadas a essas características. Na área da saúde, a escala de silhuetas é utilizada para realizar a avaliação de Imagem Corporal. Nesta escala, as imagens geralmente variam de um sujeito muito magro até um com obesidade, contendo de 7 a 9 imagens e são criadas para avaliar grupos específicos da população (LIMA et al., 2008, p. 27). Uma pessoa avaliada deve escolher qual figura define a imagem que melhor a representa atualmente e outra que ela gostaria de se parecer. Assim, a insatisfação corporal é representada pela discrepância entre essas medidas.

A avaliação da Imagem Corporal tem sido realizada com base em desenhos 2D e em preto e branco conforme apresentado na Figura 1, e portanto, pode se beneficiar da área de computação gráfica denominada Humanos Virtuais.

Figura 1 – Exemplo de imagens normalmente utilizadas no Teste de Avaliação da Imagem Corporal



Fonte: Ferrari (2016, p. 40)

Ferrari (2016, p. 31) propôs o uso de modelos 3D na avaliação da imagem corporal infantil, através do sistema chamado SAPECO. Este é composto por figuras corporais modeladas por meio da ferramenta *MakeHuman*<sup>TM1</sup>. Os modelos geométrico-

<sup>1</sup> <http://www.makehuman.org/>

cos foram gerados com base em medidas corporais coletadas de crianças de 7 a 10 anos e separados em 9 grupos associados ao IMC (Índice de Massa Corporal) e que foram desenvolvidos de acordo com o sexo e cor da pele, conforme Figura 2.

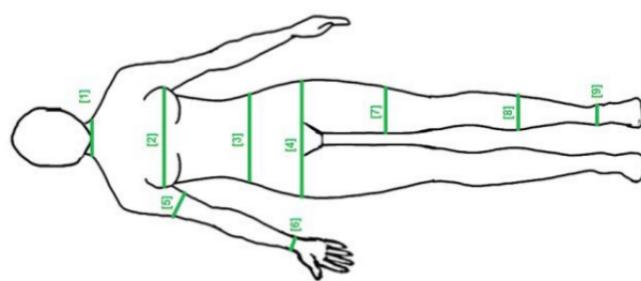
Figura 2 – Exemplo de modelos do SAPECO do IMC=1 ao IMC=9



Fonte: Imagem adaptada de Ferrari (2016, p. 111)

Porém, a correspondência dos Humanos Virtuais gerados e seus IMCs não foram realizados com base no cálculo do IMC. Mas com base em uma abordagem de 9 medidas antropométricas de determinadas dimensões corporais que podem ser associadas ao valor do IMC que foram: [1] perímetro do pescoço; [2] perímetro da região do busto; [3] perímetro do abdômen; [4] perímetro do quadril; [5] perímetro da região do bíceps; [6] perímetro do punho; [7] perímetro da coxa medial; [8] perímetro da perna; [9] perímetro do tornozelo. Conforme mostra Figura 3.

Figura 3 – Localização dos pontos anatômicos associados ao IMC



Fonte: Ferrari (2016, p. 120)

Outros trabalhos como o de Blom et al. (2014) realizam a deformação de modelos seguindo duas etapas. Na primeira são realizados a modelagem dos corpos

e o escaneamento da cabeça de uma pessoa real. Na segunda etapa, as duas malhas são unidas gerando os modelos para serem aplicados na avaliação da imagem corporal. As deformações para a geração de outros modelos levam em conta características antropométricas de pessoas adultas que vivem no norte e no sul do continente europeu.

Já Stewart et al. (2009) apresentam o *Body Morph Assessment version 2.0* (BMA 2.0) e os resultados das características psicométricas deste software. Este software é composto por um conjunto de 563 adultos e classificados em quatro grupos por gênero e etnia (mulheres e homens caucasianos e afro-americanos). Neste sistema foram gerados modelos com base em medidas antropométricas destes grupos. Ele captura os dados antropométricos de uma planilha preenchida pelos participantes e então mostra um conjunto de imagens baseado nos dados informados.

### **2.1.2 Índice de Massa Corporal (IMC)**

Muralidhara (2015) descreve que o IMC foi baseado na observação que o peso do corpo era proporcional ao quadrado da altura em adultos, o qual é um parâmetro fortemente relacionado com riscos metabólicos e cardiovasculares e nas últimas décadas com a obesidade. Para Barnes (2010) a medida de risco da saúde baseado apenas no peso e altura, não demonstra as diferenças entre gênero, idade ou etnia. E que medidas manuais da circunferência do tronco, quadril, além do IMC, também precisam ser realizadas para avaliar e diagnosticar a obesidade.

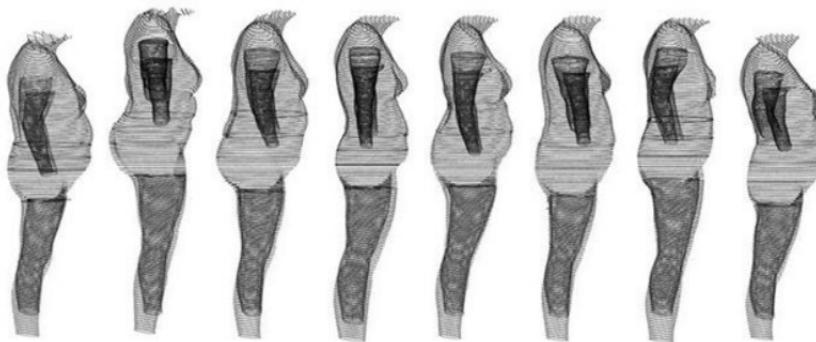
Daniell, Olds e Tomkinson (2014) descrevem que apesar do fato que o IMC assume uma lógica alométrica comum, pessoas com diferentes IMC não tem a mesma forma do corpo e cita o exemplo de que a circunferência da cintura cresce desproporcionalmente em relação à circunferência do quadril. Gerina-Berzina et al. (2012) complementam que o IMC é baseado em uma medida do total da massa, independentemente da localização dela. Sendo assim uma forma genérica de analisar o nível de massa corporal, não diferenciando massa magra ou hipertrofia muscular de uma pessoa.

### **2.1.3 Índice de Volume Corporal (IVC)**

Muralidhara (2015) descreve que o IVC, é uma nova técnica de medir a obesidade de forma mais precisa, consistente e rápida. Esta técnica foi formulada no ano 2000 e tem como base o escaneamento 3D de uma pessoa. Esta técnica divide a forma do corpo em oito segmentos que geram o volume do corpo, e a composição do corpo pode ser analisada, o que permite diferenciar pessoas que estejam no mesmo grupo de IMC.

Barnes (2010) destaca que utilizar escâneres 3D, para calcular o IVC, permite medir volumes parciais do corpo, como por exemplo o volume abdominal, para obter a distribuição de peso de uma pessoa e, assim, estabelecer, de forma genuína, o risco da saúde, além de prover dados sobre a forma do corpo e a distribuição de gordura de um indivíduo. Visto que apenas com o IMC não são possíveis de se obter. Destaca-se também por ser um modo não invasivo e usa uma tecnologia de escaneamento baseado em luz branca refletida no corpo para criar uma imagem virtual exata da forma de uma pessoa. A Figura 4 mostra as possíveis variações das distribuições do volume em mulheres com IMC de 30.

Figura 4 – Oito mulheres com um IMC de 30, com o limiar para a obesidade destacando diferentes formas do corpo



Fonte: (BARNES, 2010)

Gerina-Berzina et al. (2012) afirmam que o volume corporal foi determinado por fórmulas que usam dados de medidas antropométricas e que o IVC analisa a relação entre a distribuição da massa e volume, isto é, onde a massa está localizada no corpo. E cita que a partir do IVC pode-se medir automaticamente as medidas de IMC, circunferência da cintura e relação cintura-quadril, com uma sofisticada análise volumétrica e da composição do corpo.

Daniell, Olds e Tomkinson (2014) complementam que com a técnica de escaneamento 3D de todo o corpo é possível caracterizar a sua forma em termos de volume, áreas de superfície e transversal. E tem como benefícios a simplicidade do processo para o participante, ser rápido e não invasivo.

#### **2.1.4 Deformações de Humanos Virtuais**

Aubel (2006, p. 140) afirma que o processo de modelar um humano virtual é uma das tarefas mais árduas em computação gráfica, devido a complexidade do

corpo humano. Magnenat-Thalmann, Seo e Cordier (2004) classificam os processos para modelar pessoas virtuais em três grandes categorias: criação, reconstrução e interpolação. No primeiro criam-se modelos geométricos através de artistas, o que não são necessariamente baseados em uma abordagem anatomicamente aceitável. Na segunda categoria, constrói-se a geometria dos humanos virtuais pela captura de uma forma existente a partir de escâneres 3D, imagens ou vídeo. Na terceira categoria, usa-se um conjunto de modelos como exemplos, e através de um esquema de interpolação da malha para reconstruir novos modelos geométricos. Modesto et al. (2006, p. 20) complementa que a modelagem de humanos virtuais é dividida em:

- a) Aparência: pode ir de uma caricatura 2D até um modelo físico 3D;
- b) Funcionalidades: ações personalizadas até a imitação das limitações humanas;
- c) Tempo: Geração *off-line* à produção em tempo real;
- d) Autonomia: animação direcionada a ações inteligentes;
- e) Individualidade: pessoa específica e várias personalidades;
- f) Atributos físicos e biomecânicos: incorporação destes atributos aos modelos em determinadas aplicações;
- g) Movimentação: pode ser obtida com captura de movimentos quanto por síntese computacional;
- h) Autonomia e inteligência: desenvolvimento de reações e tomadas de decisão em "cenários específicos";

Tendo a aparência como base, Wang et al. (2009) realizaram um estudo sobre modelagem de corpos humanos 3D parametrizados e técnicas de deformação geométrica. Esta revisão é dividida em modelagem, reconstrução e deformação.

No contexto da modelagem, a aproximação do corpo de um Humano Virtual pode ser alcançada utilizando entidades geométricas simples (como cilindros e esferas) sendo a forma mais direta que se pode alcançar utilizando modelos sólidos. Estes possuem controles relativamente intuitivos, mas com um efeito pobre de renderização. Assim, destaca-se que malhas poligonais podem ser usadas para melhorar a precisão da modelagem e ter uma renderização mais rica, visto que se pode estimar a maioria das topologias do modelo através de polígonos. Porém, como desvantagem desse método, ao utilizar malhas poligonais é necessário uma grande quantidade de vértices para expressar uma superfície suavizada, o qual tem-se uma dificuldade de armazenamento e controle interativo.

Outra possibilidade descrita por Wang et al. (2009) é a utilização de superfícies paramétricas que podem alcançar um ajuste interativo mais fácil por vértices

de controle. Sendo que alguns pesquisadores adotam esta forma de superfície para indicar o modelo do corpo humano. No entanto, é destacado que superfícies paramétricas não podem ser aceitas diretamente pelo hardware de processamento gráfico sem um processo de discretização de polígonos, o que aumenta a carga do sistema de renderização, e que além disso, equações de grau mais elevado são necessárias em cálculos de interpolação de geometria.

Wang et al. (2009) destacam que o modo tradicional de se obter a informação de um objeto é medir a sua superfície, porém esse método exige contato com o objeto medido e é demorado. Entretanto, dispositivos de escaneamento 3D estão surgindo para evitar este contato e podem ser divididos em duas categoria de trabalho. A primeira é o escâner passivo, que é baseado em fotogrametria e podem obter informações 3D da superfície através de uma simples imagem, múltiplas imagens, ou até mesmo de movimentos de vídeo para realizar a reconstrução. A segunda inclui escâner ativo, que é baseado em tecnologia a laser e projetam feixes de laser no objeto escaneado, utilizando triangulações como princípio para medir distâncias e alcançar a reconstrução 3D, através da geração de imagens variadas.

Entretanto, ambos os casos podem produzir uma alta densidade de nuvens de pontos e necessitar de um processamento adicional, o qual inclui a reconstrução da superfície, bem como a transformação mútua entre as várias formas de superfície.

Dessa forma, no contexto de reconstruções Wang et al. (2009) abordam que a geometria baseada em reconstrução utiliza informações de propriedades físicas medidas por equipamentos. E que estas informações envolvidas inclui uma variedade de canais de acesso, como fotos, vídeos, superfícies 3D escaneadas, entre outros, e que são utilizados para reconstruir um modelo 3D.

No contexto da deformação, Wang et al. (2009) destacam ainda que a simulação dos movimentos dos músculos e tecidos de gordura podem ser alcançados aplicando superfície implícitas às juntas do esqueleto do Humano Virtual, utilizando deformações correspondentes aos mecanismos de controle. E que, entretanto, a renderização e construção do modelo não é intuitivo para superfícies implícitas, o que é semelhante às superfícies paramétricas. Sendo a deformação de simulação de movimentos e de tecidos de gordura, um dos tipos deformações aplicados em Humanos Virtuais.

Modesto et al. (2006, p. 82) define cinco aspectos importantes para humanos virtuais:

- a) Aparência: a aparência de um humano virtual pode ser representada por desenhos 2D, vídeo, objetos 3D ou corpos completos. Sendo o seu processo de criação introduz uma série de pontos a serem analisados que

vão desde a escala do corpo, cálculo da segmentação, centro das juntas do esqueleto, e aparência realista. Deve-se fazer uso da antropometria, que é um ramo da antropologia física que estuda as medidas do corpo humano, para se ter a preocupação de gerar humanos virtuais antropometricamente corretos. Também pode-se obter humanos virtuais utilizando modelos poliedrais que são compostos por uma geometria simples, ou mesmo modelos realistas através de técnicas que utilizem ferramentas de captura 3D como escâneres a laser ou câmeras RGB-D;

- b) Movimento: a representação da movimentação tal como acontece com os seres humanos do mundo real. Baseado no esqueleto humano, quanto maior for o nível de detalhamento do movimento, maior será a quantidade de juntas, para a simulação de movimentos. Uma forma de facilitar os movimentos estes são pré-armazenados para que possam ser reutilizados e facilitar sua posterior manutenção;
- c) Interatividade: na interatividade busca-se controlar o humano virtual, ao utilizar técnicas que ativem a movimentação ou o comportamento desejado. Estas interações podem ser ativadas por sensores de movimento, teclado e mouse, ou até mesmo sintetizadores de voz;
- d) Comunicação: a comunicação do humano virtual com o seu usuário pode se dar por fala, movimento das mãos, comportamento postural, ou até mesmo em linguagem de sinais;
- e) Gestos descritos: os gestos são utilizados na comunicação não verbal e podem auxiliar na representação de objetos do ambiente indicando localizações, como também, intensificar a comunicação entre os interlocutores.

Desta forma, para a alteração da aparência, Silva (2005, p. 29) afirma que a utilização de apenas a altura e peso como parâmetros é possível gerar alguma diversidade de humanos virtuais. Sendo que a altura serviria para alterar o tamanho do personagem. Alterando o peso, o personagem seria deformado de forma a engordar ou emagrecer, obtendo o aspecto de acordo com o peso estipulado.

Entretanto, não existe uma forma única de modificação corporal das pessoas de acordo com o aumento e redução de peso (SILVA, 2005, p. 29). Devido cada pessoa ser diferente e fatores diversos, como atividade física e genética, determinam maneiras diferentes das pessoas variarem sua forma devido ao ganho ou perda de peso. Sendo que estes podem representar o ganho de massa muscular ou aumento do percentual de gordura corporal e, consequentemente, gerar modelos fortes ou fracos e gordos ou magros, respectivamente.

## 2.2 MODELAGEM GEOMÉTRICA

Modelagem geométrica pode ser definida como a representação em software de objetos físicos para algum propósito (STROUD, 2006, p. 2). Esta representação é constituída de topologia que define a estrutura de um modelo e a geometria que define a forma deste modelo. Para Mortenson (2006, p. 3) a modelagem geométrica cria uma descrição matemática precisa de uma forma real ou objeto hipotético, ou ainda simular um processo ou fenômeno que tem uma analogia geométrica.

### 2.2.1 Boundary Representation

*Boundary Representation*, também conhecido como B-rep, é um método utilizado para representar e manipular modelos sólidos (STROUD, 2006; MORTENSON, 2006) e modelos de superfície (BREITENBERGER et al., 2015). Foley et al. (1996) descreve que o B-rep define um modelo sólido como uma coleção organizada de superfícies. A representação de um sólido é feita com a união de faces (superfícies) conectadas a arestas (curvas), onde essas arestas estão conectadas a vértices (pontos).

Savchenko e Pasko (2002) descrevem que o B-rep tem duas partes: uma descreve a informações topológicas de conectividade dos vértices, arestas e faces e a segunda informações geométricas embutidas nestes elementos de fronteira no espaço 3D. Informações topológicas especificam incidências e a adjacência dos elementos de fronteira. Informações geométricas especificam coordenadas dos vértices ou equações de superfícies contendo as faces.

Um método B-rep simples, geralmente é chamado de B-Rep poliédrico, aproxima a superfície do sólido usando faces poligonais planas (MORTENSON, 2006). Um sólido poliedral é limitado por um conjunto de polígonos planares em que cada aresta conecta dois vértices e compartilham exatamente duas faces, sendo que pelo menos três arestas se encontram em cada vértice e as faces não se interpenetram (SAVCHENKO; PASKO, 2002).

Thalmann e Musse (2013, p. 34) afirmam que as técnicas mais tradicionais para modelagem de caracteres são modelagens por subdivisão e modelagem por *patch*. A modelagem por subdivisão é um procedimento para criar modelos suavizados enquanto mantém a contagem total de polígonos a um nível baixo. O processo de esculpir é menos confuso devido à pequena contagem de pontos. Os objetos são feitos de um simples objeto como um cubo que é subdividido e deformado várias vezes para alcançar a forma desejada. *Patch modeling* podem ser realizadas pela criação de pontos, polígonos, curvas Spline ou NURBS (*Non-uniform Rational B-Spline*) e convertendo-os a um objeto poligonal. Neste caso, um modelo de superfície é como

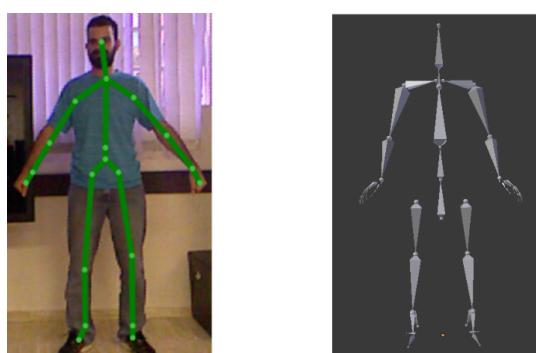
uma malha poligonal ou um conjunto *surface patches*, cuja deformação é orientada somente pelo movimento de uma estrutura hierárquica, subjacente ou um esqueleto. Esta técnica define que cada vértice, aponta para um ou mais juntas, sendo a deformação implementada como na função para o ângulo da junta.

### 2.2.2 Esqueleto

Silva (2005) define o esqueleto como um sistema hierárquico de objetos representado por ossos e suas juntas. Onde um esqueleto hierárquico de um humano virtual pode ser definido por uma estrutura na qual o início é a pélvis e os nodos filhos são as partes adjacentes e as partes extremas desta estrutura são as extremidades do corpo, como os pés, mãos e cabeça. Neste tipo de esqueleto o movimento de uma junta irá afetar também seus nodos filhos, por exemplo, o movimento do osso da coxa, vai alterar a posição da panturrilha e do pé.

Modesto et al. (2006, p. 96) e Orvalho et al. (2012) afirmam que no caso das animações de humanos virtuais é utilizada uma estrutura articulada chamada esqueleto. Este esqueleto possui ligações rígidas entre as juntas, e este é encoberto por superfícies deformáveis para a modelagem da pele. Esta estrutura permite realizar transformações e deformações no modelo. Segundo Lovato, Castellani e Giachetti (2009, p. 35) o esqueleto é extraído como uma estrutura em árvore com segmentos de curvas unidas nos extremos e sua segmentação é a forma de detectar características usando a informação da estrutura do corpo. Sendo cada segmento rotulado por uma curva do esqueleto e sua malha original. A Figura 5 demonstra alguns exemplos de esqueletos.

Figura 5 – À esquerda tem-se um exemplo de esqueleto gerado pelo *Microsoft Kinect* e à direita um esqueleto gerado pela ferramenta de modelagem *Blender*



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

### 2.2.3 Rigging

Boquet (2008) define *rigging* como um processo de vincular cada polígono da malha de um humano virtual para corresponder aos ossos do esqueleto, ao definir quais partes do modelo se move quando o osso é transladado ou rotacionado. A vinculação é controlada por um sistema de pesos, em que cada polígono é vinculado a um ou mais ossos com um dado peso que determina a influência de cada osso sobre um determinado polígono. Assim, cada polígono “conhece” quais ossos o influencia e o quanto.

Pagés, Berjón e Morán (2013) complementam descrevendo o *rigging* como uma estrutura interna do esqueleto que segmenta uma malha geométrica definindo os segmentos dos ossos e juntas do corpo. Sendo que o posicionamento de um vértice pode depender de mais de uma junta.

Orvalho et al. (2012) define *rigging* como uma técnica para criar um controle que permite um artista manipular um modelo 3D para criar movimentos em um personagem 3D, realizando uma ligação entre o modelo e o processo de animação. Baran e Popović (2007) propuseram um método chamado *Pinocchio* para reduzir o esforço manual de fazer o processo de *rigging*. O método possui resultados razoáveis e requerem uma malha conectada e completamente fechada para trabalhar.

Oliveira et al. (2003) introduziram uma técnica para automaticamente criar e animar modelos obtidos de dados escaneados de todo corpo humano, desenvolvendo uma camada no modelo sob o esqueleto, simplificando a superfície e mapeando-a para a estrutura do esqueleto gerado sem intervenção manual. O algorítimo utiliza um conjunto de marcadores na superfície, que normalmente é provido por programa de escaneamento, para gerar o esqueleto. Este esqueleto, entretanto, é sempre criado em um *template* fixo, e não permite criar um esqueleto customizado, que deveria preencher melhor as necessidades do usuário. O processo de mapear os ossos para a pele, é realizado dividindo camada da malha da superfície e aplicando uma técnica de crescimento de superfície, utilizando uma função de distância para gerar os pesos na superfície.

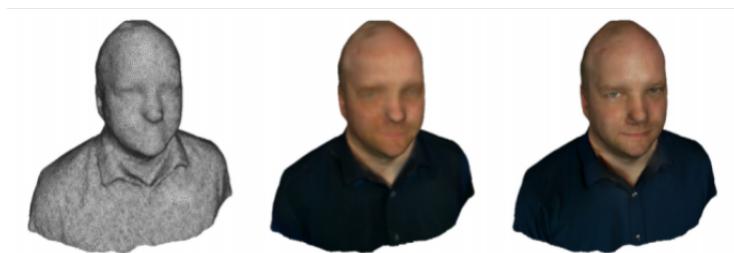
### 2.2.4 Textura

Heckbert (1986, p. 56) define textura como algo genérico criado pelo senso comum para diferenciar objetos, ou de forma mais geral, em computação gráfica, como uma imagem mapeada para um espaço multidimensional, sendo a textura aplicada ao um objeto pelo processo de mapeamento. Haeberli e Segal (1993) afirmam que o mapeamento de textura é tradicionalmente utilizado para adicionar realismo em imagens de computação gráfica. E Ma, Zheng e Xie (2015, p. 375-376) complementam afir-

mando que o mapeamento de textura é uma técnica popular para adicionar detalhes visuais contidos em uma textura para renderizar modelos geométricos 3D.

Heindl, Akkaladevi e Baue (2016) afirmam que há duas abordagem para a texturização de um modelo, a primeira é a abordagem da colorização de vértice (*vertex coloring*) que vincula uma única cor para cada vértice do modelo. Quando renderizado, os *pixels* entre os vértices são interpolados dos vértices ao entorno. O que geralmente conduz a uma aparência visual borrada. A segunda é por mapeamento de textura (*Texture-mapping*), em que os vértices são atribuídos a uma única coordenada de textura que se refere a um local específico de uma imagem colorida. Quando renderizado, as coordenadas da textura para os *pixels* entre as localizações dos vértices são interpolados um a um, e as cores são lidas diretamente destes locais do mapa de textura associado. A grande vantagem do mapeamento de textura sobre a coloração de vértice é a possibilidade de aumentar a resolução da cor independentemente da geometria do modelo e consequentemente um menor custo computacional, conforme Figura 6.

Figura 6 – Comparação entre coloração de vértice e mapeamento de textura. Esquerda: modelo sem textura com 70 mil vértices. Centro: versão do vértice colorizado. Direita: versão da textura mapeada



Fonte: Heindl, Akkaladevi e Baue (2016, p. 225)

O processo de mapeamento de textura consiste no mapeamento de uma função em uma superfície 3D, que pode ser representado por uma matriz ou uma função matemática, em que uma imagem de origem, a textura, é mapeada na superfície do espaço 3D de um objeto. Que, então, é mapeado para a imagem de destino (tela) pela visão de projeção do modelo (HECKBERT, 1986). Uma abordagem comum para pintar uma textura em uma malha do modelo 3D é mapear a malha tridimensional para um plano através de uma parametrização planar, associando uma correspondência entre malha e a textura (MA; ZHENG; XIE, 2015).

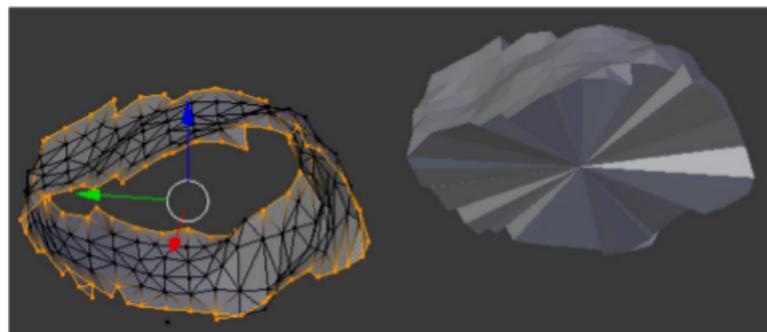
Em um mapeamento de textura básico, uma imagem é aplicada a um polígono pela atribuição da coordenada da textura para os vértices do polígono. Estas coorde-

nadas indexam na imagem da textura e são interpoladas através do polígono para determinar, para cada vértice do polígono, um valor da imagem de textura. O resultado disto são porções da imagem de textura que são mapeados no polígono quando este é visualizado na tela (HAEBERLI; SEGAL, 1993). Heckbert (1986) conclui em seu trabalho que o mapeamento de textura é uma maneira relativamente eficiente para criar características mais complexas na aparência do modelo, sem a necessidade de modelar e renderizar cada detalhe 3D de uma superfície, devido a estas últimas serem tarefas tediosas e demoradas.

### 2.2.5 Volume de modelos geométricos

Jorstad et al. (2015) desenvolveu uma técnica que calcula o volume de malhas geométricas de modelos B-Rep. Para isso, primeiramente é realizado o fechamento dos buracos contidos na malha, podendo ser adicionados novos vértices para gerar faces triangulares. Depois é verificado se a orientação do vetor normal da face está consistente com a malha original, que por convenção deve estar apontado para fora. Se o vetor normal da face estiver apontando para dentro esta deve ser virada. A Figura 7 mostra uma malha aberta com as bordas destacadas à esquerda e o resultado do dessa malha fechada à direita.

Figura 7 – Fechamento da malha para o cálculo do volume



Fonte: Adaptado de Jorstad et al. (2015, p. 86)

Assim, Jorstad et al. (2015) realiza o cálculo do volume da malha fechada utilizando a Equação 2.1 para calcular os volumes de tetraedro definido para cada face triangular conectado ao ponto de origem do modelo, e estes volumes são somados para calcular o volume total. Na Equação 2.1,  $v1$ ,  $v2$  e  $v3$  são os vértices de uma face.

$$V = \frac{v1 \cdot (v2 \times v3)}{6} \quad (2.1)$$

## 2.3 TÉCNICAS DE DEFORMAÇÃO DA MALHA GEOMÉTRICA

Anderson, Aftosmis e Nemec (2012, p. 1) definem deformações como modificações aplicadas em uma geometria base. Os métodos de deformação são apropriados para criar detalhes nos modelos ao realizar mudanças otimizadas na forma através de uma remodelação mais flexível, através de técnicas que permitam uma deformação livre ou ajustadas a um corpo.

Segundo Silva (2005, p. 12) forma de pessoas com aspectos realistas são criadas através de um processo exaustivo e difícil, devido à complexidade do corpo humano. Assim, para gerar uma variedade de Humanos Virtuais, os artistas tem que criar manualmente esta diversidade, o que aumenta a complexidade e tempo para realizar esta tarefa.

### 2.3.1 *Free Form Deformation*

Para realizar a deformação da malha, é necessário o uso de uma técnica capaz de realizar esta tarefa. Uma dessas técnicas é chamada de *Free-Form Deformation* (FFD) foi desenvolvido por Sederberg e Parry (1986) como uma técnica para变形ar modelos geométricos sólidos de maneira livre. A deformação por FFD pode ser aplicado globalmente, alterando todo o objeto, ou localmente, deformando apenas uma parte do objeto, e sua manipulação é intuitiva, mas sua deformação inicial é limitada por um paralelepípedo.

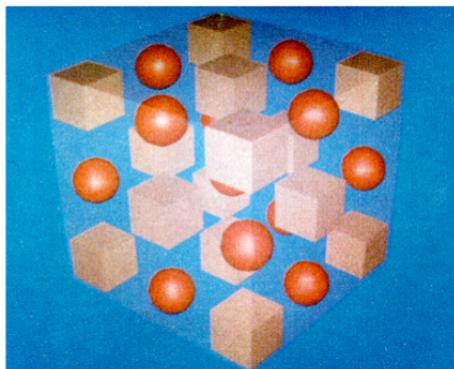
Uma analogia física para explicar o FFD é considerar um paralelepípedo transparente, como um plástico flexível, o qual envolve um objeto, ou vários objetos, que se deseja deformar. O objeto imaginado também é flexível, que deforma da mesma maneira que o plástico que o envolve. A Figura 8 ilustra esta analogia usando vários objetos envoltos por um plástico transparente e flexível. Na Figura 9 o plástico foi deformado e as esferas e cubos envolvidos são deformados de modo intuitivamente consistente com o movimento do plástico.

Anderson, Aftosmis e Nemec (2012, p. 4) descrevem que no FFD uma grade de pontos de controle estabelece uma função analítica no interior da grade. Os usuários movem os pontos de controle como se fosse um modelo volumétrico, e qualquer geometria dentro do volume é deformado de acordo com a deformação da grade de pontos de controle.

### 2.3.2 *Simple Constrained Deformations*

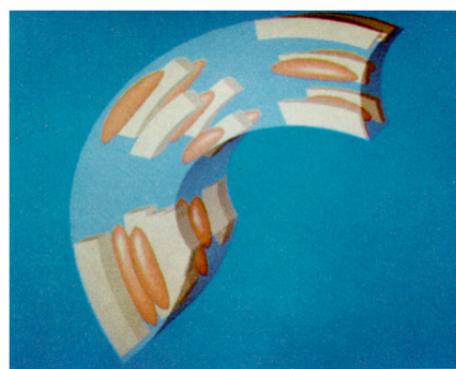
Outro método/técnica de deformação é o *Simple Constrained Deformations* (SCODEF) foi desenvolvido por Borrel e Rappoport (1994) como uma forma generalizada de deformações contínuas. Nesta técnica o usuário define alguns pontos de

Figura 8 – Objeto plástico não deformado



Fonte: Sederberg e Parry (1986, p. 152)

Figura 9 – Objeto plástico deformado



Fonte: Sederberg e Parry (1986, p. 153)

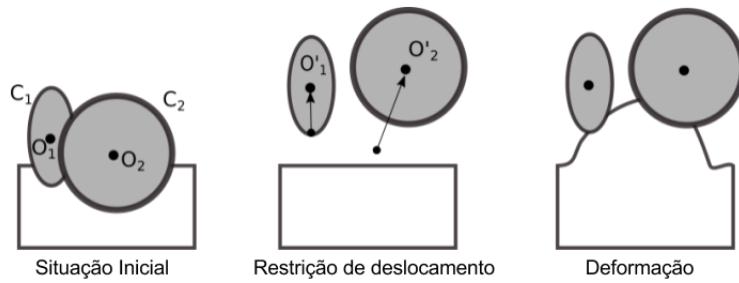
restrição, cada um dos quais está associado a um deslocamento e um raio efetivo. O deslocamento de qualquer ponto a ser deformado é uma mistura de funções *B-spline* locais, determinadas por estes pontos de restrições. A deformação obtida pelo SCODEF é tanto local quanto intuitiva e os pontos restritos podem ser localizados na superfície limite do objeto que será deformado.

Segundo Parisy, Schlick e Crespin (2001, p. 75) nesta abordagem um conjunto de restrições de deslocamento são simultaneamente aplicados a um volume. Cada restrição pode ser definida por um elipsoide com um centro, que possui uma função de peso que é inversamente proporcional à distância do centro. Na primeira etapa, o processo de deformação deixa o usuário colocar os elipsóides em suas posições originais. Uma vez que o usuário transladou um ou mais elipsóides para algum novo local e uma restrição é aplicada a qualquer ponto do espaço. Estas restrições são grosseiramente definidas como a soma das restrições locais multiplicado pelo seu peso, conforme Figura 10. Esta abordagem oferece uma combinação arbitrária de deformações globais e locais, especialmente porque ela não depende de uma topologia particular.

### 2.3.3 Axial Deformation

Lazarus, Coquillart e Jancène (1994) propuseram o método *Axial Deformation* que controla operações de modelagem, como escala, dobras, torções e alongamento, pela referência de alguns eixos. Os quais induzem as deformações desejadas, e consequentemente é passada para o modelo. A abordagem desta técnica faz uso de eixos tridimensionais, em linha reta ou curva, como base para a deformação das partes do copo dos modelos. O processo consiste em posicionar este eixo no objeto a ser deformado e associar os vértices do objeto aos pontos do eixo.

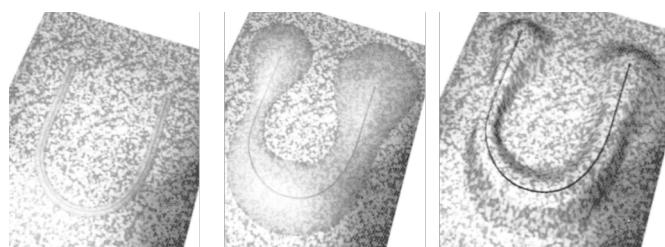
Figura 10 – Processo de deformação do SCODEF



Fonte: Adaptado de Parisy, Schlick e Crespin (2001, p. 75)

Também é definido uma zona de influência, que define uma porção no espaço 3D a ser deformado, desta forma, os valores dentro desta zona sofrem deformação e os que estão de fora não. Assim, a deformação realizada no eixo é passada para os vértices do modelo. A Figura 11 mostra como é a deformação do *Axial Deformation* utilizando zonas de influências: à esquerda tem-se um eixo com uma deformação uniforme, no centro e à direita a deformação ao longo do eixo com zonas de influência de diversos tamanhos.

Figura 11 – Processo de deformação do Axial Deformation



Fonte: Lazarus, Coquillart e Jancène (1994, p. 75)

### 2.3.4 Cage-based Deformation

Anderson, Aftosmis e Nemec (2012) definem o *Cage-base Deformation* como uma técnica que envolve a geometria em uma malha de pontos de controle. Esta malha, assim como o FFD, é utilizada para guiar a deformação do objeto através dos pontos de controle. O método *cage-based* está localizado apenas na superfície do *cage*, e não através de uma grade. O *cage* pode ter qualquer forma, permitindo a personali-

zação dos pontos de controles em regiões críticas, para deformações de detalhes no objeto.

### **2.3.5 Deformação baseada em superfícies**

Anderson, Aftosmis e Nemec (2012) citam que as técnicas de deformação baseadas em superfície possuem uma função de deformação na própria superfície e que permitem deformações físicas realistas e facilitam a preservação de características geométricas. Porém impõe requisitos exigentes no formato da geometria, como uma triangulação fechada e múltipla. Tem-se, então, a qualidade da deformação limitada pela qualidade da superfície discretizada e também esta técnica de deformação não consegue变形ar modelos volumétricos.

## **2.4 GERAÇÃO DE POPULAÇÕES DE HUMANOS VIRTUAIS**

Segundo Silva et al. (2017) a criação automática de humanos virtuais não é uma aplicação nova, mas ainda é uma tarefa bastante complexa, mesmo utilizando os softwares mais sofisticados da atualidade.

Os sistemas de geração de populações de humanos virtuais se valem das técnicas de deformação da malha geométrica (seção 2.3). Estas técnicas permitem realizar alterações para criar indivíduos distintos em uma multidão. Essa multidão pode ser gerado através de sistemas de captura, deformações por encaixe, funções de deformação ou por interpolação de modelos.

### **2.4.1 Captura**

De acordo com Silva (2005, p. 13) uma forma de gerar populações de humanos virtuais é através do escaneamento de várias pessoas reais através de sistemas de captura, sendo os equipamentos caros que capturam pontos do modelo real.

Depois de realizada a captura, os pontos gerados passam por processo a fim de transformar a nuvem de pontos obtidas pelo escâner em um modelo geométrico. Alguns espaços vazios criados pela oclusão de partes do corpo, como topo da cabeça e sola do pé, terão que ser preenchidos. Este processo seria, entretanto, demorado e custoso.

Nebel (2001, p. 94) define que corpos humanos 3D escaneados estão se tornando uma tecnologia madura que gera modelos estáticos foto realistas de humanos reais. Porém, considera-se que os dados coletados permitem apenas a reconstrução da superfície externa do corpo. Uma vez que os modelos não possuem nenhuma estrutura interna e propriedades físicas a respeito de esqueleto, pele ou camada de gordura do humano escaneado.

Thalmann e Musse (2013) argumentam que a reconstrução de modelos geométricos a partir de escâneres 3D, fotos, ou vídeos de pessoas reais é um método eficiente para geração de humanos virtuais com aparências realistas, mas suas modificações não são triviais. Um escâner 3D é um dispositivo que analisa um objeto do mundo real e coleta dados de suas formas e possível cor. Os dados coletados podem ser usados para construir digitalmente, modelos tridimensionais que são utilizados em uma variedade de aplicações. Estes dispositivos são usados pelas indústrias na produção de personagens virtuais para filmes e videogame. Baseada em adicionar detalhes ou características para um modelo genérico, esta abordagem concebe, principalmente, formas individualizadas e um realismo visual utilizando texturas de alta qualidade.

Brendler et al. (2016) definem que o processo de captura, ou digitalização tridimensional, permite obter dados da superfície do corpo de pessoas sem ser invasivo para, posteriormente, desenvolver um modelo virtual. A partir de um modelo 3D, um projeto de um produto pode ser desenvolvido de acordo com a característica física de cada pessoa.

#### **2.4.2 Deformações por Encaixe (*Fitting*)**

Sistemas baseados em *Fitting* utilizam bases de medidas antropométricas ou de outros modelos 3D como referência para a deformação de um humano virtual. O processo consiste em gerar deformações da malha geométrica transferindo atributos do modelo de uma base para o modelo que será deformado. Seo e Magnenat-Thalmann (2003) define que processo de *Fitting* consiste em 3 grandes etapas: processamento de dados 3D escaneados; função de aproximação do modelador parametrizado; avaliador em tempo de execução para gerar novas geometrias a partir dos parâmetros de entrada do usuário.

#### **2.4.3 Função de Deformações**

Função de Deformações utilizam técnicas que permitem gerar modificações no modelo, sem o intuito de atingir um resultado a nível antropométrico. Anderson, Aftosmis e Nemec (2012) mostram que este tipo de abordagem é atingido a partir de técnicas baseadas em FFD, ou pela manipulação direta dos vértices do modelo, porém este último é mais trabalhoso e facilmente pode deformar o objeto para formas não desejadas.

Vieira, Vidal e Cavalcante-Neto (2010) desenvolveram uma técnica para manipulação corporal de personagens virtuais baseada em deformações antropométricas utilizando zonas de influência e deformação por restrições. Sua abordagem genérica é alcançada utilizando zonas de influências esféricas, em que os vértices próximos ao

centro da esfera são aplicados com um maior fator de deslocamento do que os que estão próximos da borda. Neste trabalho é a esfera que é manipulada com operações de escala e translação. Este processo cria uma “força nos vértices”, definindo uma nova aparência no humano virtual. Para alcançar melhores resultados este trabalho utiliza marcadores antropométricos para definir regras de manipulação que caracterizam as zonas de influência.

Saito, Zhou e Kavan (2015) realizaram um estudo sobre o crescimento dos músculos para aplicar em modelos de humanos virtuais. Com base em funções de crescimentos dos músculos e da camada de gordura é possível gerar modelos gordos, magros, fortes ou fracos. Neste trabalho não se levou em consideração o crescimento dos órgãos internos, os quais foram substituídos por um conjunto de poliedros. Para que os modelos tivessem um tom realista, foi necessário aplicar gravidade nos modelos para que as deformações ficassem aceitáveis.

#### **2.4.4 Interpolação de Modelos**

Segundo Silva (2005, p. 13) pode-se gerar humanos virtuais através da modificação de modelos existentes, cujas alterações podem ser alcançadas realizando uma interpolação entre dois ou mais modelos geométricos ou aplicando funções de deformação em um modelo geométrico base, o que neste caso, o resultado podem não ser visualmente realistas, gerando resultados não esteticamente plausíveis.

Silva (2005) desenvolveu um modelo para gerar vários humanos virtuais que utiliza um conjunto mínimo de informações chamadas de somatotipos. O somatotipo é uma lista de parâmetros que define a força, magreza e gordura dos indivíduos, que descrevem a forma dos corpos humanos. Os indivíduos são criados com base nos valores do somatotipo, e utilizando um modelo genérico de humanos virtuais divididos em um pequeno grupo de malhas. Então cada grupo de malhas é deformado de acordo com os resultados da influência do somatotipo dominante. Esta abordagem permite a geração de uma variedade distinta de personagens mudando apenas os parâmetros do somatotipos.

### **2.5 BASES DE MODELOS**

Ao capturar modelos 3D de pessoas é possível gerar uma base destes para estudos posteriores em diversos campos de pesquisa. Algumas destas bases, mencionadas nos items anteriores, são descritos em seguida.

Anguelov et al. (2005) criaram uma base de modelos de humanos virtuais chamada SCAPE (*Shape Completion and Animation for PEople*). Esta base de dados possui modelos com diferentes formas e poses de pessoas adultas, o qual um modelo

escaneado tem várias poses. Para escaneamento das pessoas foi utilizado o escâner *Cyberware WBX*. O escaneamento foi realizado capturando 4 visões (frente, costa e laterais), simultaneamente, obtendo assim cerca de 200 mil pontos, e em seguida são realizadas a união das 4 vistas, gerando cerca de 50 mil triângulos. Com esse processo foi criado duas bases de dados: a primeira possui 70 poses de uma pessoa em particular em uma ampla variedade de poses. A segunda possui 37 modelos escaneados de diferentes pessoas em pose similar, mas não idênticas. Esta base de modelo é disponibilizada gratuitamente mediante solicitação ao autor.

Segundo Godil, Grother e Ressler (2003) o projeto CAESAR (*Civilian American and European Surface Anthropometry Resource*) tem coletado modelos escaneados com setenta e três marcações antropométricas e medidas tradicionais de cinco mil pessoas. Este estudo teve como objetivo representar, em três-dimensões, a variedade antropométrica das populações das civilizações da Europa e América do Norte. O projeto CAESAR emprega modelos escaneados e ferramentas tradicionais para medição corporal de pessoas entre 18 e 65 anos. As bases de modelos e medidas deste projeto são vendidas comercialmente.

Bogo et al. (2014) apresentam o FAUST que é uma base de modelos que possui 300 scans, com modelos humanos escaneados em alta-resolução de 10 pessoas distintas cada uma em 30 poses diferentes. Os modelos foram capturados por um sistema 3D multi-estéreo. Esta base é dividida em um conjunto de treinamento e outro de teste. O conjunto de treinamento inclui 100 modelos, 10 por pessoa, com um grau alto de correspondência de alinhamento da malha e o conjunto de treinamento inclui 200 modelos. Sendo utilizado para análise de algoritmos de correspondência de malha entre modelos. Esta base é gratuita para fins não-comerciais com propósito de pesquisa mediante cadastro no site do projeto.

Como o objetivo desta pesquisa é utilizar modelos de crianças brasileiras, nenhuma das bases citadas anteriormente podem ser aproveitadas. Visto que estas se valem de modelos adultos e etnias diferentes, além disso não foi encontrado uma base de crianças.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentados conceitos fundamentais que nortearam o desenvolvimento deste trabalho. Entre estes conceitos estão as aplicações em que humanos virtuais podem estar presentes, com enfoque na Imagem Corporal que visa analisar a satisfação de um indivíduo pela forma do seu corpo. Esta forma pode ser modificada utilizando a ideia dos conceitos de IMC e IVC associados a alguma técnica de modificação da malha, como é o caso do FFD.

Um Humano virtual é, então, desenvolvido por uma modelagem geométrica que pode ser constituído de um esqueleto criando um modelo articulado e segmentado e também por uma textura a fim de criar um realismo visual.

Existem várias técnicas de deformação que podem ser utilizadas para uma deformação direta na malha geométrica ou por controles de deformação. Estas podem ser utilizadas para alterar a forma do corpo a fim de gerar outros modelos ou como um processo de animação.

A geração de populações de humanos virtuais podem seguir estratégias de captura, deformação por encaixe, funções de deformação ou interpolação de modelos, a fim de gerar uma diversidade de modelos distintos.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados trabalhos correlatos ao tema desta pesquisa. Para isto, realizou-se um mapeamento sistemático da literatura, pesquisa completa publicada em evento nacional (SILVA et al., 2016), com o intuito de encontrar trabalhos que envolvam deformação de malhas geométricas utilizando humanos virtuais. Também foi realizada uma revisão da literatura, pesquisa completa publicada em evento nacional (SILVA et al., 2017), com o intuito de analisar como estão sendo aplicadas as técnicas de deformações da malha, principalmente, aplicadas a humanos virtuais.

#### 3.1 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DA LITERATURA

O mapeamento sistemático da literatura realizado considerou o período entre 2005 a 2016 e utilizou-se dos seguintes mecanismos de busca acadêmicos (MBAs): *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore*, *Engineering Village* e *Scopus*. A partir de trabalhos conhecidos e relacionados às questões de pesquisa, foram identificadas as palavras-chave para formar a frase de busca com base em três categorias: local de aplicação, técnicas e objetivo. Desta forma, definiu-se a seguinte frase de busca: “**((human OR silhouette OR body) AND (reconstruct\* OR morph\* OR deform\*) AND (fat OR weight OR skin\* OR fit\*))**”. Para essa busca foram definidos os Critérios Objetivos (CO) utilizados para filtrar os artigos de interesse:

- CO-01: Artigos publicados em revistas e eventos que estejam indexados a partir do ano de 2005;
- CO-02: Artigos publicados nos idiomas Inglês ou Português;
- CO-03: Artigos não duplicados;

Com as propriedades de buscas definidas, efetuaram-se as consultas nos MBAs no mês de maio de 2016, aplicando o CO-01 e CO-02. O resultado retornou 7279 artigos, sem considerar artigos repetidos entre os MBAs. Entretanto, vários artigos não tinham relação com a temática da busca. Para resolver este efeito comum em pesquisas bibliográficas foi aplicado o CO-03 e definidos critérios de exclusão (CE) e de inclusão (CI) (PETERSEN et al., 2008) na seguinte ordem:

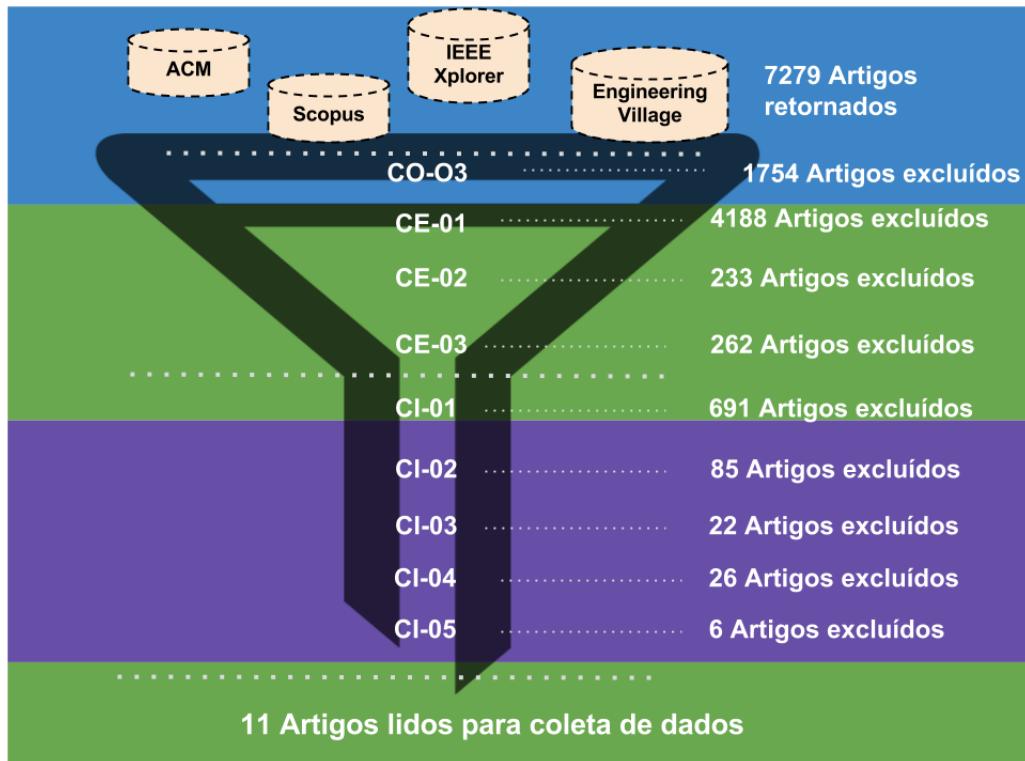
- CE-01: Trabalhos que não estejam relacionados com computação gráfica;
- CE-02: Trabalhos que abordem apenas imagens de face ou vídeo;

- CE-03: Trabalhos que não mencionem as técnicas e processos utilizados;
- CI-01: Trabalhos que abordem técnicas e processos para deformação modelos 2D e 3D;
- CI-02: Sejam relacionados a forma dos Humanos Virtuais;
- CI-03: Trabalhos publicados e disponíveis gratuitamente para download;
- CI-04: Trabalhos que não abordem somente deformações da pele devido a movimentos;
- CI-05: Trabalhos que abordem somente deformação em Humanos Virtuais.

A Figura 12 resume o processo sistemático realizado. Enfatiza-se que foram encontrados 11 artigos ao final do processo e dentre a lista de dados coletados destacam-se:

- Domínio dos modelos: tipo de representação do humano virtual utilizado nas pesquisas foram 3D (90,91%), 2D (9,09%);
- Campos de Aplicação: identificou-se no trabalhos que os modelos deformados eram aplicados nas áreas de Animação (54,55%), Vestuário (27,27%), Modelagem (9,09%) e Fotográfico (9,09%);
- Origem dos modelos: os humanos virtuais utilizados vieram de bases de modelos Padrão disponibilizada na internet (36,36%), quanto a produção Própria destas bases de modelos (36,36%). Alguns trabalhos utilizaram ambas tipos bases Padrão/Próprio (27,27%);
- Modos de obtenção dos modelos: A maioria dos trabalhos utilizaram modelos Capturados (54,55%), sejam por meio de escâneres a laser ou via *Kinect*, outros foram criados de forma artística (36,36%), alguns utilizaram ambos Capturado/-Criado (9,09%);
- Estratégia de Deformação: a estratégia baseada em *Fitting* (36,36%) e deformações Livres (63,64%) foram as que aparecerem neste mapeamento;
- Automatização do processo de deformação: automático (45,45%), semi-automático (9,10%), não informado (45,45%);
- Tipo de modelagem dos humanos virtuais: paramétrico (45,45%), poliédrico (45,45%), volumétrico (9,10%).

Figura 12 – Processo de seleção dos artigos



Fonte: Silva et al. (2016, p. 148)

### 3.1.1 ESTRATÉGIAS DE DEFORMAÇÃO

No contexto das técnicas e processos de deformação em humanos virtuais encontrou-se:

A técnica *Body-Aware Image Warping* (ZHOU et al., 2011) utiliza modelos da base SCAPE para deformar imagens de humanos 2D em fotografias. O processo de deformação consiste em detectar um modelo que tenha a mesma pose da imagem a ser deformada, através do mapeamento do contorno da silhueta e o esqueleto do modelo 3D. Após esta detecção é gerada uma malha triangular na imagem 2D e realizado o reposicionamento dos pontos dessa malha, a partir da forma do modelo 3D utilizado, e através de um pequeno conjunto semântico de atributos, como peso e altura, é realizada a deformação da imagem.

*Free Form Deformation* (FFD) foi estendido por Zhengdong e Shuyuan (2010) para realizar deformações em um Humano Virtual parametrizado. O modelo foi criado com a ferramenta de modelagem *Poser* e seu corpo é segmentado utilizando um esqueleto hierárquico composto de 33 juntas que são utilizados para deformar regiões de

interesse, como braços ou barriga, por exemplo. No processo descrito são realizados dois tipos de deformação por circunferência e por comprimento das regiões.

Liu, Sun e Xu (2008) utilizam o *Axial Deformation* como uma estratégia de deformação, através da segmentação do modelo e controles de deformação por comprimento e circunferência por um eixo ao longo dos segmentos. A deformação ocorre ajustando o modelo a ser deformado por parâmetros de acordo com a abordagem antropométrica. Os autores utilizam deslocamento paralelo e interpolação de rotação para construir um movimento local de um quadro a ser deformado que contém os vértices do modelo. Leva-se em conta as diferenças em gênero e idade, assim é gerado um plano de medidas de homens e mulheres adultos e crianças modelados, para que sejam realizadas as deformações.

Huang e Gao (2014) realizam a segmentação de modelos 3D e cria regiões por circunferência. Cada circunferência recebe um valor de proporção para ser reduzido ou aumentado, assim pode-se modificar somente braço, perna, busto, barriga, etc. Nesta técnica, primeiramente, são calculadas as informações de dimensão do modelo. Em seguida são indicados os parâmetros chaves, como a estatura e circunferência, da figura de saída para a deformação global e fatores de características para a deformação local. Cada parte do corpo são deformados com base em interpolação não linear e então o dado da dimensão chave é atualizado. Todo procedimento é realizado em uma repetição da detecção da estrutura. O que, segundo o autor, reduz o erro de excessivas deformações para gerar manequins mais precisos.

Jun et al. (2015) descreve uma técnica para deformar um Humano Virtual escaneado via Kinect com roupa que consiste em um conjunto de equações para estimar um modelo sem roupa e assim poder utilizá-lo como manequim em uma ferramenta de experimentação de vestuário. Neste trabalho é descrita uma função de estimação de gordura, que é realizada utilizando o corpo escaneado interpolado com um modelo de uma base própria de templates de modelos de Humanos Virtuais. Para isso os corpos dos modelos são divididos em regiões como braços, pernas, busto, etc.

Jiang, Zhao e Liu (2014) propuseram um método de deformação que utiliza Modelo Oculto de Markov (HMM) e deformação Laplaciana, com um conjunto de dados parametrizados, realizando uma deformação frontal de um modelo 3D. Neste estudo foi deformado o *template* de um Humano Virtual utilizando como parâmetro a forma uma pessoa capturada via dispositivo *Kinect*. O processo de deformação consiste em realizar uma retificação do esqueleto do modelo utilizado para seguir o padrão do esqueleto produzido pelo *Kinect* e os vértices ligados a ele são reajustados. Em seguida, um método de correspondência de contorno, baseado no HMM é utilizado para estabelecer os pontos correspondentes entre o corpo do modelo capturado via *Kinect* e o contorno da máscara do usuário. E por fim, um *framework* utilizando *La-*

*placian Deformation* para refinar o alinhamento limite com pontos correspondentes do contorno ao modelo é utilizado.

Feng, Casas e Shapiro (2015) utilizam uma técnica de transferência de esqueleto de um modelo 3D de uma base de modelos SCAPE para o modelo escaneado via *Kinect*. Após esta transferência, consegue-se através de parâmetros, deformar o Humano Virtual alterando sua altura, barriga, braços, pernas, bem como produzir animações com o mesmo. Utilizando um estratégia baseada em *Fitting* é possível gerar diversos modelos, transferindo os atributos da malha do modelos do SCAPE para o modelo escaneado, esses atributos podem ser: localização dos ossos esqueléticos; informações de deformação da malha e textura. O processo consiste na entrada de um modelo escaneado que será preenchido por um modelo da base do SCAPE, o qual transfere o esqueleto para o modelo escaneado. Para gerar outros modelos, é feito um *reshape*, alteração da forma, utilizando como base outros modelos do SCAPE com estrutura corporal diferente.

Kasap e Magnenat-Thalmann (2011, 2010, 2009) utilizam uma técnica de segmentação do Humano Virtual 3D, para ser utilizado na deformação utilizando uma versão modificada do SCODEF (*Simple Constrained Deformations*) que é uma variante do FFD. Para este processo de deformação foram utilizados dados antropométricos que a indústria define como padrão, seguindo a ISO 7250 (*Basic human body measurements for technological design*) e a EN13402 (*European standard for labeling clothes sizes*). Com essas informações o esqueleto do modelo é adaptado para as posições das juntas, com correção da segmentação da malha e depois a modificação do tamanho do modelo. Este processo é independente da postura do modelo e pode ser aplicado em qualquer superfície para gerar variedades de modelos.

Computational bodybuilding (SAITO; ZHOU; KAVAN, 2015) é o único trabalho que realiza um estudo da anatomia humana para realizar deformações em Humanos Virtuais. Esta técnica consiste, primeiramente, em inserir um esqueleto no modelo ajustando sua altura. Este esqueleto é similar ao do corpo humano. Depois são aplicados os músculos baseados em física. Em seguida é realizado o crescimento de gordura, e finalmente é adicionada a gravidade para deixar o modelo com aparência mais realista. Este trabalho buscou definir fórmulas que descrevem o crescimento dos músculos esqueléticos, não entrando no funcionamento de crescimento dos órgãos internos. Como se tratava de um modelo volumétrico, no lugar no órgãos internos utilizou-se vários poliedros.

### 3.2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura realizada (SILVA et al., 2017) levantou técnicas de deformação da malha geométrica e técnicas orientadas a humanos virtuais. As técnicas de deformação da malha podem ser divididas em dois níveis: deformação de baixo nível (diretamente na malha) e deformações de alto nível (utiliza controles de deformações do modelo). Na primeira as modificações são aplicados a uma geometria base realizando mudanças na forma através de abordagens livres ou por ajuste. Na segunda, pontos de controle são associados à geometria, onde a modificação dos controles afetam a malha geométrica.

As deformações aplicadas em modelos humanos devem levar em consideração a circunferências e o tamanho dos membros do corpo e fazem uso de técnicas de deformação da malha. Também levam em consideração como os modelos são gerados, seja por superfície ou volume. Através da análise das técnicas de deformação encontradas na revisão, a Figura 13 apresenta em forma de taxonomia uma releitura e classificação das técnicas de deformação de humanos virtuais.

Estas técnicas podem ser divididas em básicas (envolvendo as técnicas de deformação da malha de baixo e alto nível) para qualquer tipo de forma e aplicadas a humanos virtuais. Dentre as técnicas aplicadas em formas humanas tem-se dois focos: deformações da pele aplicadas no processo de animação; e deformações aplicadas à anatomia no processo de criar multidões (*crowd*).

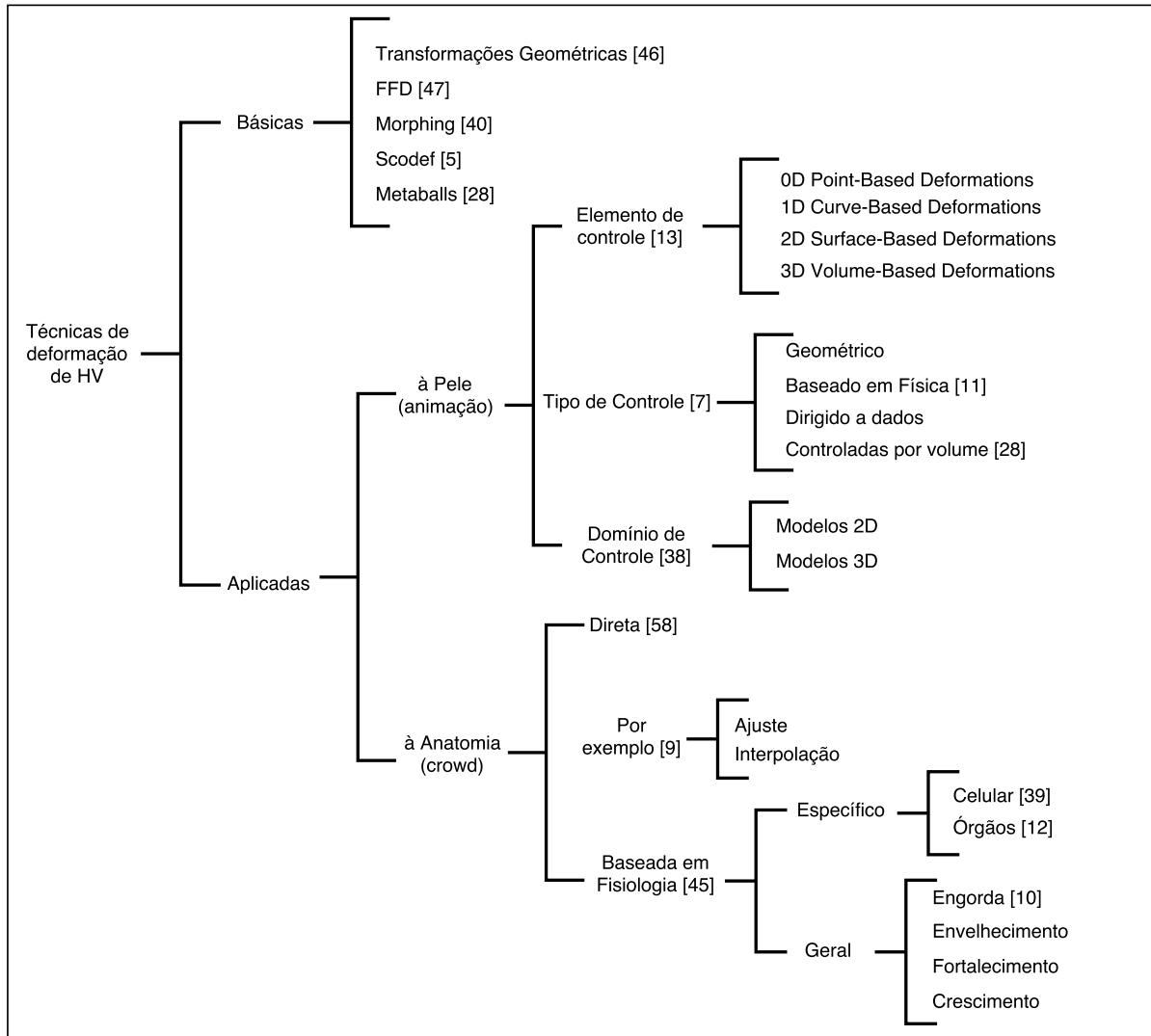
As técnicas voltadas para deformação anatômicas podem ser classificadas em:

- Direta: quando aplicam-se técnicas de deformação de malha básicas de forma diferente em partes do modelo, como visto em Zhengdong e Shuyuan (2010).
- Por exemplo: quando se tem modelos alvo como referências e se consegue interpolar para obter modelos novos, como observado em Feng, Casas e Shapiro (2015).
- Baseado em Fisiologia: quando se modela a repercussão dos efeitos fisiológicos nas anatomias do corpo, como visto em Saito, Zhou e Kavan (2015)

A deformação anatômica direta (ZHENGDONG; SHUYUAN, 2010) permite de modo interativo e manual o ajuste do modelo, em partes, para se criar uma variante qualquer. Permite grande flexibilidade na deformação mas também é laboriosa e depende da experiência em anatomia do modelador.

A deformação baseada em exemplos pode ser gerada de duas formas: ajuste ou interpolação. Um ajuste de modelo por exemplo, toma um modelo de trabalho (es-

Figura 13 – Proposta de classificação das técnicas de deformação



Fonte: Silva et al. (2017)

caneado de alguém) e o analisa para se encaixar em um modelo-alvo (FENG; CASAS; SHAPIRO, 2015), mais próximo (onde a proximidade é dada pelo critério fisiológico). Para funcionar, estas técnicas requerem uma ampla base de modelos contemplando todas as variáveis referentes (sexo, idade, etnia, índice de massa corporal, entre outras).

A deformação baseada na fisiologia simula os efeitos biológicos e para tanto agraga conhecimento específico como o de órgãos internos (em vários níveis de detalhamento, desde fibras e células (LEMOS et al., 2005)(PARK et al., 2013) até grandes grupos anatômicos (SAITO; ZHOU; KAVAN, 2015)), ou regras de comportamento ge-

rais para os fenômenos fisiológicos envolvidos como: variações das proporções do tamanho dos membros do corpo de asiáticos e europeus; variações das proporções de crescimento das partes conforme ganho/perda de peso; variações do tamanho das partes do corpo conforme o tipo físico (SILVA, 2005); variações do crescimento das partes do corpo conforme o crescimento/envelhecimento; variações do tamanho das partes do corpo conforme a variação do vigor fisco; entre outros;

Na classe das deformações anatômicas baseadas na fisiologia associados às regras de comportamento gerais para os fenômenos fisiológicos, identificou-se que parece existir uma lacuna quanto a regras que permitam as deformações de modelos, como por exemplo, sua condição de obesidade que pode ser caracterizada pelos índices de IMC ou IVC. Estes dois índices poderiam, por exemplo, compor uma técnica aplicada em deformações anatômicas do corpo e gerar modelos com base em níveis de obesidade conforme o IMC, como mostra a Figura 2. Bem como outras condições que possam ser associadas ao envelhecimento, fortalecimento e crescimento.

As técnicas baseadas em deformações anatômica, poderiam incluir pessoas que possuam alguma característica física especial como, por exemplo, a dificuldade de locomoção, seja por causa de uma doença ou falta de um membro, que por ventura, possa ter um comportamento de deformação diferente de uma pessoa dita sem uma característica em especial, e assim poder gerar corpos de humanos virtuais que representem diversas formas e características do corpo.

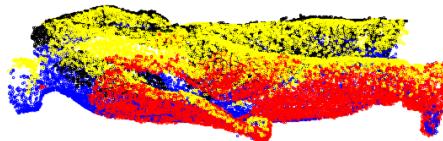
Outro ponto identificado na revisão é que a geração de variantes de humanos virtuais carece de uma forma mais rigorosa de avaliação. As avaliações das deformações são baseadas na percepção visual dos autores ao comparar suas técnicas com outras já existentes. Este tipo de avaliação pode ser identificada, principalmente, quando são comparadas deformações aplicadas à pele. Percebe-se que não existe uma métrica objetiva para se analisar o quanto crível é uma deformação.

### 3.3 FAST AVATAR CAPTURE

O *Fast Avatar Capture* é um software desenvolvido na Universidade da Califórnia do Sul, por Shapiro et al. (2014). A aquisição do modelo geométrico requer a captura de quatro visões estáticas dado um ângulo relativo a 90° uma da outra em uma mesma pose. Estas visões são utilizadas para reconstruir a malha unindo os pontos adquiridos de todas as visões. A reconstrução é feita em várias etapas: captura, alinhamento das nuvens de pontos, reconstrução da malha e aplicação da textura. Nestas etapas são obtidas, para cada visão, uma nuvem de pontos, uma imagem colorida e uma imagem da silhueta. Os quais são utilizados para gerar o modelo 3D final texturizado.

Após a captura das 4 nuvens de pontos, estas são alinhadas de maneira rígida, assumindo pequenas articulações entre as visões através de um algoritmo de coerência de contorno utilizando as imagens das silhueta obtidas. Com as malhas alinhadas, é possível processá-las para gerar uma malha única utilizando o algoritmo de reconstrução *Poisson* (KAZHDAN; BOLITHO; HOPPE, 2006).

Figura 14 – Alinhamento e reconstrução do *Fast Avatar Capture*



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Ainda na etapa de captura são salvas imagens coloridas de cada visão, as quais são utilizadas após a reconstrução da malha para colorir os vértices, como mostra a Figura 15. O *Fast Avatar Capture* realiza a correspondência da informação da textura mapeada pelo escaneamento das quatro nuvens de pontos é realizada utilizando o algoritmo *Poisson Texture Blending*, que realiza a texturização do modelo pela técnica de coloração de vértice (SHAPIRO et al., 2014).

Figura 15 – Visões capturadas pelo *Fast Avatar Capture*



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

O programa possui resultados bons e exporta o resultado para o formato de arquivo ‘.PLY’. Possui código fonte fechado mas é gratuito para utilização em pesqui-

sas, já para fins comerciais é necessário entrar em contato com o autor. Porém não realizam o *rigging* e também não geram um mapa de textura.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Como um dos objetivos desta pesquisa é utilizar corpos de pessoas escaneadas, constatou-se no mapeamento que apenas Feng, Casas e Shapiro (2015), Jiang, Zhao e Liu (2014) e Jun et al. (2015) fazem uso de um dispositivo de escaneamento, sendo que todos utilizaram o *Microsoft Kinect*.

Todos os trabalhos encontrados no mapeamento realizam a segmentação do corpo humano para gerar deformações pontuais e estes são divididos em sua versão mais básica em: cabeça, ombros, braços, antebraços, busto, quadril, coxas e pernas. Alguns trabalhos utilizam versões mais detalhas do esqueleto incluindo a segmentação dos dedos das mãos e pés, entre outros. E fazem uso de medidas que levam em consideração a circunferência e comprimento da região a ser deformada.

Alguns dos trabalhos relacionados anteriormente, conseguem resolver o processo da captura de modo satisfatório, mas ainda é preciso a intervenção do usuário para gerar o esqueleto ou deformar os modelos. Sendo que em alguns casos, esta intervenção exige do usuário um amplo conhecimento sobre anatomia humana.

Ainda no contexto da captura, Shapiro et al. (2014) desenvolveu uma ferramenta de escaneamento corporal utilizando uma única câmera RGB-D, gerando uma malha geométrica com textura, porém sem esqueleto.

Kasap e Magnenat-Thalmann (2011; 2010) afirmam que os métodos de deformação podem ser classificados em duas grandes categorias: Baseados em física e baseados em geometria. Os métodos baseados em física consideram todas as camadas do modelo como uma estrutura física, já os métodos baseados em geometria geralmente possuem a superfície deformada com métodos *Linear Blend Skinning*(LBS). Apenas Saito, Zhou e Kavan (2015) fazem uso de métodos baseados em física, todos os outros trabalhos utilizaram os métodos baseados em geometria.

A partir da revisão da literatura, constatou-se que o foco dos trabalhos tem sido a área de animação e, talvez por isso, pouca preocupação em um modelo com base na fisiologia para as deformações, mas estes já se concentram em modelos 3D. Os modelos utilizados no mapeamento, são em sua maioria, capturados de pessoas reais, capturados diretamente ou utilizando uma base de modelos 3D, mas não existem preferências identificadas quanto à forma de esqueleto, linguagem de programação ou padrão de arquivos utilizados. Também não parece existir uma técnica de deformação preferencial.

Pode-se concluir, nesta seção, que técnicas de deformação que sejam orientadas a aspectos fisiológicos evidentes (como vigor físico, idade, massa de gordura, etc) tem sido pouco exploradas na literatura e se mostram uma oportunidade com benefícios para a computação gráfica (notadamente a animação) quanto outras áreas (como a da saúde).



## 4 SKANNER 3D: CAPTURA E DEFORMAÇÃO

Para atender às expectativas levantadas propõe-se o desenvolvimento de um sistema automático de captura e deformação de modelos 3D, para a geração de diferentes humanos virtuais de uma pessoa escaneada. Este sistema terá como base apenas um único dispositivo *Microsfot Kinect v1.0* para o processo de escaneamento de uma pessoa e foi denominado sKanner3D. Para se alcançar o sKanner3D, são apresentados os detalhamentos dos processos envolvidos que foram separados em dois módulos: a captura automatizada e o processo de deformação.

Para o processo de captura e geração do modelo, é utilizado o sistema *Fast Avatar Capture* de Shapiro et al. (2014). Este sistema está integrado a um processo de geração de mapa de textura a partir da cor associado os vértices do modelo e *rigging* para geração de modelos deformáveis.

Para o módulo de deformação é utilizado a técnica de deformação FFD mesclando a uma deformação dirigida a dados para cada parte do corpo associados ao IMC. Utilizando à ideia do IVC é realizada a validação interna através do volume total do modelo geométrico relacionado aos níveis de obesidade associados ao IMC.

No módulo de captura, a parte referente à geração do mapa de textura e o rigging do modelo, bem como o módulo de deformação foram realizadas utilizando a ferramenta de modelagem Blender através de *scripts* desenvolvidos na linguagem python. Isso permitiu realizar a integração com a ferramenta *Fast Avatar Capture*, pois a malha geométrica gerada por esta última pode ser aberta dentro do Blender.

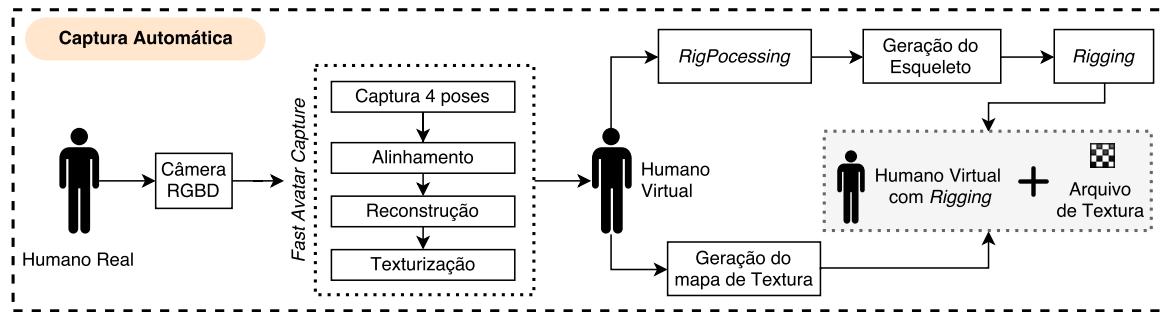
Partes deste capítulo apareceram anteriormente em Balatka et al. (2017), artigo completo publicado em evento nacional.

### 4.1 CAPTURA AUTOMATIZADA

A etapa de captura automatizada tem como entrada o escaneamento de uma pessoa real em 4 visões (frente, lado esquerdo, costas, lado direito) e tem como saída um modelo geométrico 3D com esqueleto e um mapa de textura. Desta forma, pode-se dividir este processo em três fases, como mostra a Figura 16: captura e reconstrução do modelo através do sistema *Fast Avatar Capture* (SHAPIRO et al., 2014) de uma pessoa; geração do mapa de textura; *rigging* do modelo.

Para que o processo de captura e reconstrução do modelo seja realizado de forma consistente definiu-se alguns parâmetros de distância entre a pessoa e o dispositivo de escaneamento, para as 4 visões capturadas, tendo como base a profundidade

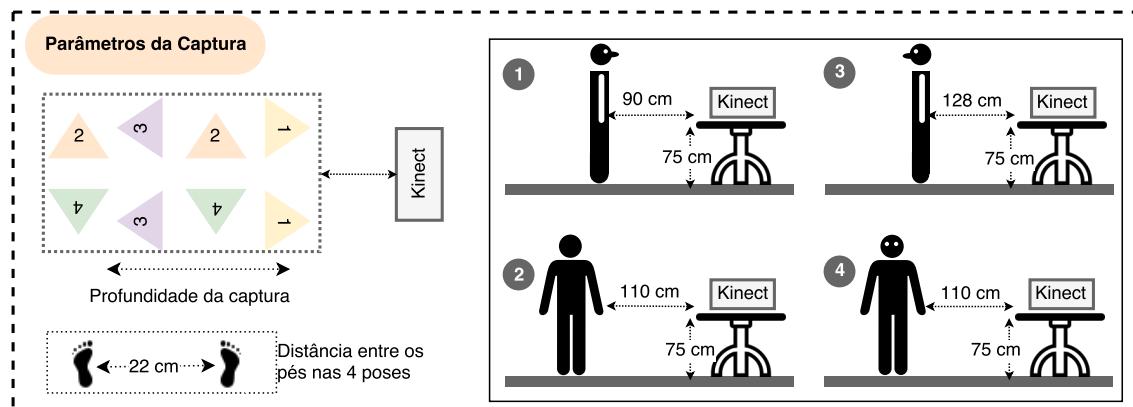
Figura 16 – Processo de captura do sKanner3D



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

de captura que é de aproximadamente de 80 a 160 centímetros. Assim, o *kinect*, deve ser posicionado a uma altura de 75cm. A distância das pontas dos dedos do pé até o *kinect* deve ser de 90cm para a posição frontal e 128cm para a posição de costas. Na captura das posições laterais a distância da lateral do pé até o *kinect* é de aproximadamente 110cm, conforme demonstra a Figura 17. Em todas as poses a distância de um pé para o outro é de 22cm e os braços devem ser mantidos alinhados e afastados ao troco. Estes parâmetros de distância foram definidos após vários testes de captura de pessoas e também se um posição confortável para a pessoa a ser escaneada.

Figura 17 – Parâmetros para o processo de captura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Definidos os parâmetros de posicionamento, uma pessoa é escaneada pelo dispositivo utilizando a ferramenta *Fast Avatar Capture* em quatro vistas e gerado o

seu modelo 3D, como descrito na seção 3.3. Assim, tem-se a malha geométrica e a informação de cor associados a cada vértice.

Levando em conta o processo de deformação do modelo e sua renderização, o mapeamento da textura é realizado para um arquivo de textura, afim de manter a qualidade da textura capturada durante o processo de deformação, como mostra a Figura 18. Outro aspecto importante identificado para a geração do mapa de textura é que os *softwares* de modelagem e motores de jogos não reconhecem, por padrão, as cores nos vértices conforme obtido pelo *Fast Avatar Capture*, principalmente quando estes precisam passar pelo processo de renderização.

O processo de mapeamento da textura é realizado através de um *script* feito na linguagem Python para a ferramenta Blender que possui as funções de *Smart UV Project* e *Bake*. A primeira função cria o mapa de textura, ainda sem cor, e a segunda coloca a cor no mapa a partir da cor de cada ponto da malha. Se repetido para um mesmo modelo são gerados mapas de textura diferentes.

Figura 18 – Mapas de textura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Para a identificação das juntas para ser gerado um esqueleto e realização do *rigging* foi criado um *script* desenvolvido na linguagem *Processing*<sup>1</sup> chamado *rigProcessing* que busca encontrar pontos para posicionar o esqueleto em uma malha com determinada pose, visto que o esqueleto gerado pelo *Microsoft Kinect v1.0* não se adequa à necessidade identificada.

A ideia básica do *rigProcessing* é mapear os pontos da malha 3D em uma matriz 2D (plana), encontrar as coordenadas de todos os 28 pontos das juntas necessários para posicionamento do esqueleto e exportar as coordenadas desses pontos. Em seguida outro *software*, nesse caso foi utilizado o *Blender*, cria um esqueleto no

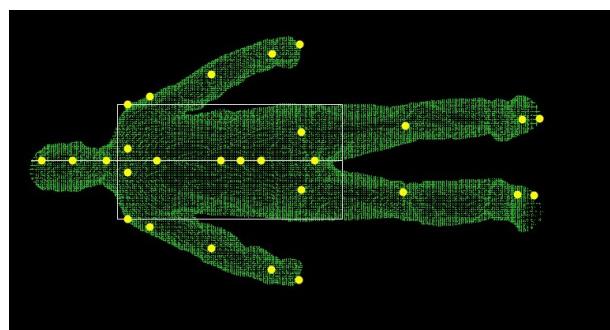
<sup>1</sup> <https://processing.org/>

padrão utilizado e importa as coordenadas encontradas anteriormente para posicionar o esqueleto na malha e então une os dois.

Todos os pontos das juntas utilizados no processo foram obtidos analisando o esqueleto dos modelos do *software SAPECO* (FERRARI, 2016), que foram gerados no *software MakeHuman*<sup>2</sup>. Porém, as proporções antropométricas são de crianças da faixa etária de sete a dez anos, que também foram base para o SAPECO e portanto esta solução está focada nesta faixa de idade, porém nos testes realizados em laboratório a identificação dos pontos das juntas também funcionou em modelos adultos.

A primeira parte do método utilizado no *rigProcessing* é importar a malha no formato .ply ASCII, gerada pelo processo anterior, e mapear os pontos em uma matriz 2D com dimensões 800X400, como pode ser visto na Figura 19. A primeira componente é tratada como X, a coordenada horizontal na Figura 19, e a segunda componente é referida como Y e representa a coordenada vertical na figura. O mapeamento do ponto 3D para a matriz 2D é feito utilizando as equações 4.1 e 4.2. Com o ponto original  $P(pX, pY, pZ)$  e seu mapeamento na matriz  $pM(pmX, pmY)$ . Ao final do processo é utilizada a mesma equação para transformar os pontos encontrados para as coordenadas originais.

Figura 19 – Pontos utilizados no rigProcessing.



Fonte: Balatka et al. (2017)

$$pmX = pX \times 350 + 400 \quad (4.1)$$

$$pmY = pY \times 350 + 200 \quad (4.2)$$

O processo para encontrar os pontos é iniciado localizando a região referente a cabeça, fazendo uma varredura na matriz e verificando se os pontos estão em uma

---

<sup>2</sup> <http://www.makehuman.org>

determinada zona em  $Y$ . Cada linha com coordenada  $X$  é analisada, então quando começa a existir pontos isso representa o começo da cabeça, e quando for encontrado uma linha com pontos fora desta zona então é determinado o fim da cabeça. Utilizando o ponto médio da cabeça em  $Y$ , percorre a matriz em  $X$  até quando não encontrar mais pontos, esse representa o meio das pernas.

Então, utilizando os pontos da cabeça e do meio das pernas como referência, coloca todos os pontos do meio do corpo como cabeça, pescoço e vários pontos referentes à coluna. Partindo do ponto referente ao meio das pernas são encontrados os limites do tronco e então é desenhado um retângulo que representa esta região. Em seguida, utilizando o retângulo é calculada a posição dos ombros, partindo do canto próximo ao ombro avança em  $Y$  até coincidir com pontos na matriz. Para garantir que nenhum ponto fique fora da malha nesta região e que os ombros fiquem alinhados é calculada a posição de cada ombro e então limita-se  $X$  com o maior valor dos dois.

Com o ponto do ombro é lançada uma reta que ricocheteia nas bordas do braço, até chegar ao extremo da mão esquerda. Com os pontos do ombro e da mão são posicionados todos os outros pontos do braço esquerdo utilizando a proporção dos segmentos utilizados nos modelos do SAPECO. O método para o braço direito é o mesmo que para o braço esquerdo.

Na sequência, é posicionado o ponto do início da perna esquerda, com  $Y$  igual a média entre o ponto do meio das pernas e o limite do tronco naquela direção, já o  $X$  utilizado é um pouco menor do que o fim do tronco em  $X$ . Partindo do ponto de início da perna é traçada uma linha até o mais próximo do pé, portando se deslocando em  $Y$  quando possível. Essa linha não necessariamente chega até o pé, pois como a malha não é perfeita podem existir espaços não marcados na matriz 2D.

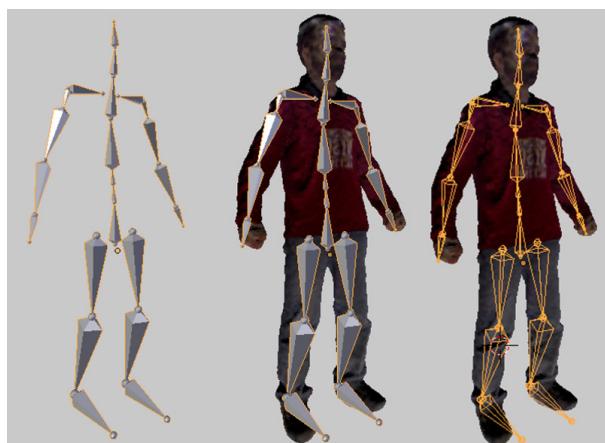
Para solucionar esse problema é deslocada uma posição em  $X$  e é traçada uma nova reta. Quando o *software* não conseguir avançar em  $Y$  nem em  $X$  então esse ponto representa o pé esquerdo. Da mesma forma que os braços, são utilizados os pontos do início da perna esquerda e do pé esquerdo para posicionar todos os outros pontos da perna esquerda, também utilizando a proporção dos segmentos observada nos modelos do SAPECO. O processo para a perna direita é o mesmo que para a perna esquerda. Em seguida são posicionados os pontos referentes ao peitoral, com base nos limites do tronco.

A última fase do *rigProcessing* é encontrar a coordenada  $Z$  de cada ponto, que é a dimensão desconsiderada no mapeamento para a matriz 2D e que representa a profundidade. Para cada ponto  $pM$  encontrado na matriz, nas coordenadas da matriz 2D, é transformado novamente para as coordenadas originais e é feita uma busca nos pontos originais da malha. É verificado se cada ponto da malha  $pX$  está mais próximo

que uma distância  $d$  do ponto  $pM$ . Para todos os  $pX's$  que estão dentro da região desejada, com distância menor que  $d$  do ponto  $pM$ , é armazenado o maior  $Z$  e o menor  $Z$  nessa região de pontos. Com isso, é feita a média entre o menor  $Z$  e o maior  $Z$  obtidos. Isso garante que o esqueleto seja posicionado no meio da malha. Para os pontos dos pés e dos calcanhares essa regra não se aplica, visto que o osso entre estes pontos não devem ficar com  $Z$  no meio da região encontrada. Desta forma, o ponto do calcanhar utiliza o menor  $Z$  encontrado na busca e o ponto do pé utiliza o maior  $Z$  encontrado.

As coordenadas encontradas são exportadas para um arquivo .CSV, que é utilizado como entrada em um *script* para *Blender*, que posiciona um esqueleto padrão utilizando as coordenadas de entrada e então junta o esqueleto a malha, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Esqueleto posicionado utilizando os pontos encontrados no rigProcessing.



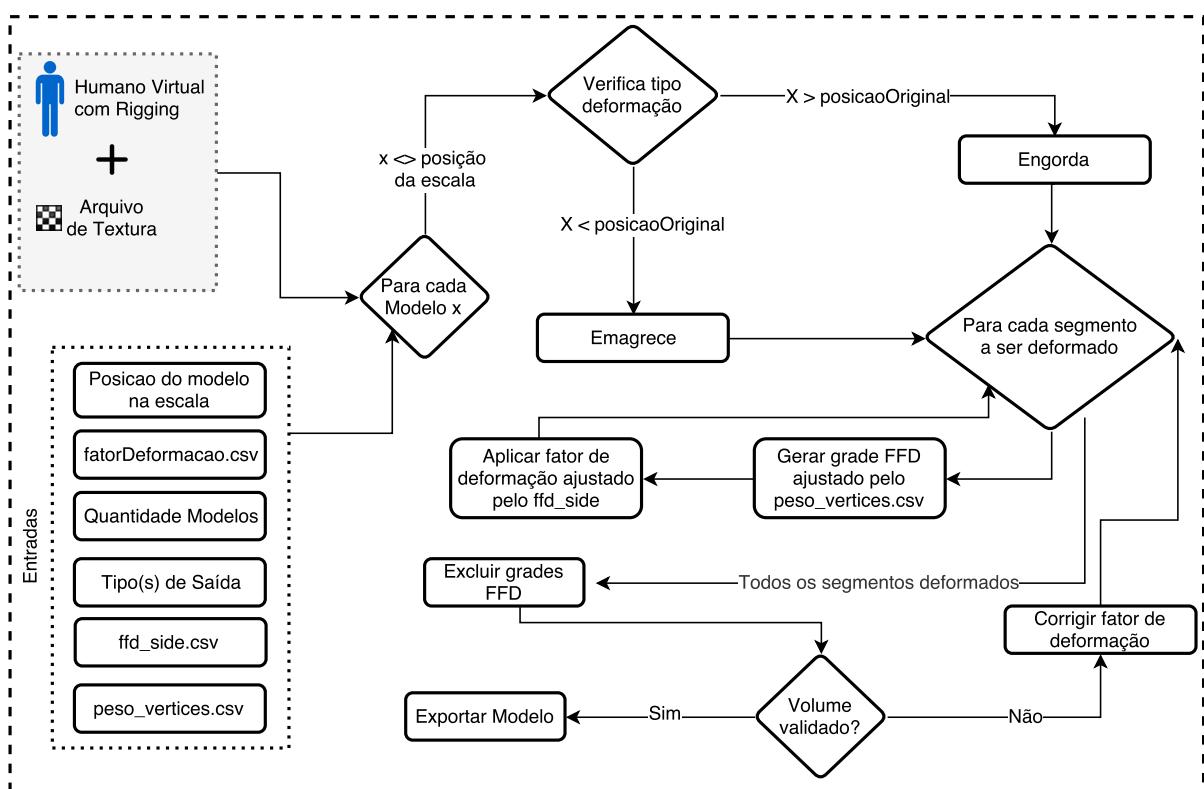
Fonte: Balatka et al. (2017)

Os processos para geração do mapa de textura e *rigging* não são realizados em modo paralelo, mas sequencialmente. O acoplamento do esqueleto ao modelo gera uma segmentação da malha e permite realizar a deformação por segmento, bem como sua futura animação. O *rigProcessing* localiza os pontos das juntas do esqueleto de modo empírico, pois tenta mapear um esqueleto sobre uma imagem de silhueta de um humano com roupa. O processo de *rigging* gera alguns componentes chamados de *vertex group*, cada um deste é uma lista de vértices da malha associado a um determinado osso do modelo. Também tem a informação do peso que um ou mais ossos do esqueleto tem sobre um determinado vértice.

## 4.2 PROCESSO DE DEFORMAÇÃO

O processo de deformação consiste em gerar um número definido de modelos 3D, com base no modelo real obtido pela etapa de captura, através de funções que representam a engorda e o emagrecimento. Este processo é realizado por um *script* Python dentro da ferramenta de modelagem Blender. A Figura 21, mostra o processo base para a geração dos modelos.

Figura 21 – Processo de geração de modelos deformados do sKanner3D



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

De forma resumida, o módulo de deformação obtém do usuário, a partir de uma interface gráfica, como mostra a Figura 22, a altura e o peso da pessoa a ser escaneada, o arquivo contendo os fatores de deformação e o tipo de saída. Com a altura e o peso, o sistema sabe qual é a posição do modelo capturado entre 9 grupos, associados ao IMC, a serem gerados através das funções de engorda e emagrecimento. Para cada segmento do corpo, contido no arquivo de fator deformação (fatorDeformacao.csv) para o modelo a ser gerado, é criada uma grade FFD. Estas grades são criadas com base nos vértices que são influenciados pelo osso do segmento e alinhadas pelo centro e rotação do osso, em alguns segmentos do corpo a

grade FFD sofre um ajuste através do arquivo “peso\_vertices.csv”. Após, é aplicado o fator de deformação na grade FFD levando em consideração aplicações diferentes para os lados da grade conforme arquivo de configuração “ffd\_sides.csv”. Com todos os segmentos deformados é verificado o volume total do modelo, se estiver dentro da margem de volume esperada o modelo é exportado para os formatos de saídas escolhidos, caso contrário é realizada uma correção do fator de deformação, aumentando ou diminuindo-o dependendo do valor extra/faltante do volume e refeito a geração do modelo.

Figura 22 – Interface gráfica do sKanner3D



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

A altura e o peso permitem, através do cálculo do IMC e de um conjunto de restrições, descritos na Tabela 1, obter a posição original da criança real na escala de modelos relativo ao IMC que vai de 1 a 9. As restrições foram extraídas do software SAPECO (FERRARI, 2016).

Através da interface gráfica, também é possível escolher qual é o arquivo com os fatores de deformação a serem utilizados, visto que estes podem variar dentro do mesmo público (fator diferente para menino e menina) ou possuir públicos diferentes (variação de faixa etária, etnia). Os fatores de deformação e segmentos do corpo utilizados no sKanner3D foram baseados em algumas medidas retiradas de meninas e meninos (Apêndice A), de sete a dez anos, retirados do SAPECO, através de um cálculo de proporção de alteração do raio dos segmentos do corpo que é detalhado mais adiante.

Além das informações passadas pelo utilizador do sKanner3D, o módulo de deformação, descrito no Apêndice A, possui como entradas internas:

Tabela 1 – Processo de geração de modelos deformados do sKanner3D

Posição do modelo Original	Condição
1	IMC < 14
2	IMC >= 14 and IMC < 16
3	IMC >= 16 and IMC < 18
4	IMC >= 18 and IMC < 20
5	IMC >= 20 and IMC < 22
6	IMC >= 22 and IMC < 24
7	IMC >= 24 and IMC < 26
8	IMC >= 26 and IMC < 28
9	IMC >= 28

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

- Uma tabela de influência de direção do FFD, armazenados em um arquivo csv, que indica como o fator de deformação é aplicado nos lados (frente, costa e laterais) de uma parte do corpo;
- Uma tabela com pesos mínimos dos vértices para cada segmento, armazenados em um arquivo csv, que indica quais os vértices utilizados como referência para a criação da grade FFD;
- Uma tabela com volumes totais esperados para cada nível de obesidade associado ao IMC.

Para gerar os modelos do SAPECO, Ferrari (2016) utilizou a média das medidas antropométricas de crianças de 7 a 10 anos para cada segmento do corpo, Apêndice A. Entre estas medidas tem-se as que definem regiões de circunferência que são úteis para o processo de engorda/emagrecimento. Essas médias são a base do arquivo com os fatores de deformação do corpo. Ao pensar no braço como um cilindro é possível calcular raio de uma seção transversal a partir da medida da circunferência ( $raio = circunferência \div 2\pi$ ). Com este raio é possível calcular variação de crescimento do braço entre os 9 modelos com diferentes pesos ao dividir o modelo mais gordo pelo seu adjacente mais magro.

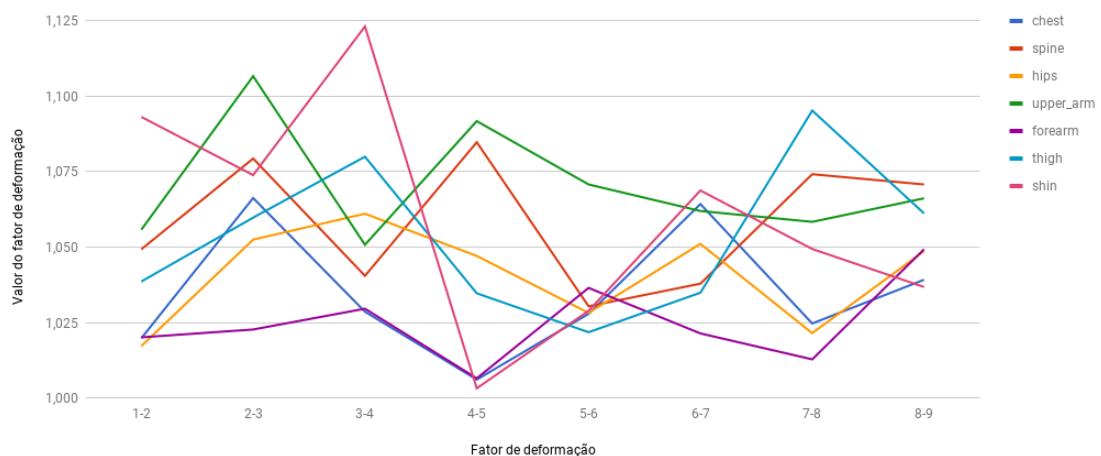
Dessa forma, a Tabela 2 mostra os fatores de deformação utilizados para gerar modelos de meninas e comprehende as principais regiões para engorda e emagrecimento do corpo, sendo eles: braço (*upper\_arm*); antebraco (*forearm*); tórax (*chest*); abdômen (*spine*); quadril (*hips*); coxa (*thigh*); perna (*shin*). Assim para calcular o valor de crescimento do tórax (*chest*) da linha 1-2 , por exemplo, utilizou-se a seguinte fórmula  $chest = raioTóraxIMC_2 \div raioTóraxIMC_1$ . A Figura 23 mostra que a variação dos fatores não é linear.

Tabela 2 – Fator de deformação utilizado para engorda de modelos 3D de meninos com a idade de 7 a 10 anos

fator deformação	segmentos do corpo (representação decimal da %)										
	chest	spine	hips	upper_arm.L	upper_arm.R	forearm.L	forearm.R	thigh.L	thigh.R	shin.L	shin.R
1-2	1,0198	1,0493	1,0172	1,0558	1,0558	1,0201	1,0201	1,0386	1,0386	1,0932	1,0932
2-3	1,0663	1,0794	1,0525	1,1067	1,1067	1,0227	1,0227	1,0598	1,0598	1,0739	1,0739
3-4	1,0286	1,0405	1,0611	1,0508	1,0508	1,0296	1,0296	1,0800	1,0800	1,1232	1,1232
4-5	1,0061	1,0848	1,0471	1,0918	1,0918	1,0065	1,0065	1,0347	1,0347	1,0032	1,0032
5-6	1,0279	1,0304	1,0282	1,0708	1,0708	1,0365	1,0365	1,0218	1,0218	1,0289	1,0289
6-7	1,0643	1,0379	1,0511	1,0620	1,0620	1,0214	1,0214	1,0349	1,0349	1,0688	1,0688
7-8	1,0247	1,0742	1,0215	1,0584	1,0584	1,0128	1,0128	1,0953	1,0953	1,0494	1,0494
8-9	1,0392	1,0708	1,0487	1,0662	1,0662	1,0493	1,0493	1,0612	1,0612	1,0368	1,0368

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Figura 23 – Gráfico referente à Tabela 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Com o humano virtual segmentado, é possível utilizar alguma técnica de deformação da malha geométrica para gerar deformações no modelo 3D. Assim, para realizar a deformação no sKanner3D utiliza-se os *vertex groups*, gerados na etapa de captura, associados a cada parte do corpo com a técnica de deformação FFD com um grid  $U \times V \times W$  de tamanho  $3 \times 3 \times 3$ , o que totaliza 27 pontos de controle, cuja deformação tem como fundamento curvas *BSpline*.

Assim, para gerar a grade do FFD, foi realizado o mapeamento dos pontos mínimo (Equação 4.4), máximo (Equação 4.3) e central (Equação 4.5) de cada *vertex group* para gerar a grade em tamanho adequado e posicioná-la no local correto, conforme Figura 24. Outro ponto importante para a deformação é a orientação do bloco

FFD gerado em relação ao ângulo do osso do segmento associado.

$$pt\_max = (\max(x) \max(y) \max(z)) \quad (4.3)$$

$$pt\_min = (\min(x) \min(y) \min(z)) \quad (4.4)$$

$$pt\_central = (\text{mean}(x) \text{mean}(y) \text{mean}(z)) \quad (4.5)$$

Figura 24 – Geração da grade FFD no modelo: (a) grade 3x3x3; (b) grade FFD do braço de um modelo; (c) destaque para a grade no braço e alinhada; (d) todas as grades utilizadas mapeadas no modelo

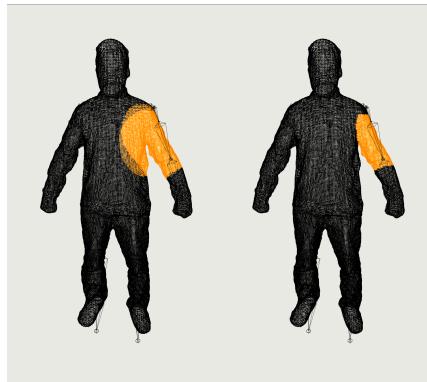


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Um problema encontrado durante a geração das grades FFD utilizando os *vertex group* é que um vértice pode receber influência de um ou mais ossos e assim gerar uma grade FFD que também altera o posicionamento dos vértices do tórax. Assim, um vértice tem a informação do peso de influência de um osso que pode ir de 0 (nenhuma influência) a 1 (total influência). Na Figura 25, por exemplo, é mostrado à esquerda todos os vértices que são influenciados pelo osso do braço e à direita tem-se os vértices com um peso de influência maior que 0.34. Assim o módulo de deformação possui um arquivo de configuração chamado ‘peso\_vertices.csv’ que possui os pesos mínimos dos vértices presentes no *vertex group* de um osso para que a grade seja criada do tamanho adequado, sendo o peso 0.34 para o braço e antebraço e 0 para as outras partes do corpo.

Após o mapeamento das grades de FFD, são aplicados os fatores de deformação para cada segmento do esqueleto listado na Tabela 2. Esta aplicação leva em conta a posição nas escala corporal (ver Figura 1) do modelo original para iniciar a deformação com uma função de emagrecimento ou de engorda e é influenciado por

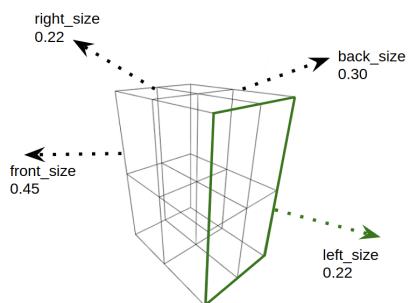
Figura 25 – Influência dos vértices de um osso: à esquerda todos os vértices que são influenciados pelo osso do braço, à direita tem-se os vértices com um peso de influência maior que 0.34.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

um arquivo de configuração. Essa influência de direção realizada se faz necessária devido às diferentes partes do corpo se comportarem de modo diferente quanto à questão da engorda e emagrecimento. Por exemplo, em um processo de engorda/e-magrecimento relativo à área do abdômen, esta cresce mais na região frontal, depois laterais e, com uma menor influência, nas costas. Já na perna, ela cresce mais na região de trás, acompanhado das laterais e, com menor influência, na região frontal. A Figura 26 mostra um exemplo de como uma grade FFD pode ser influenciada.

Figura 26 – Influência de direção aplicado aos lados da grade do FFD



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Como o FFD permite aplicar a deformação em 4 direções (frente, costas, esquerda e direita) o fator de deformação é influenciado por um arquivo de configuração chamado ‘ffd\_side.csv’, como mostra a Tabela 3, que possui a influência de direção e diz o quanto do fator será aplicado em uma determinada direção para uma parte

do corpo. Por exemplo, na tabela é mostrado que para o tórax (*chest*), a parte frontal (*front*) o fator de deformação sofre uma influência de 0.45 e para as costas (*back*) de 0.30, já para as pernas (*shin*), a parte frontal sofre uma influência de 0.30 e a parte de trás 0.45. Após vários experimentos a Tabela 3 se mostrou como pertinente para manter a coerência do modelo nos processos de engorda/emagrecimento e, a mesma foi obtida de forma empírica seguindo a lógica de que os lados com maior proximidade entre pele e estrutura óssea terão menor variação.

Tabela 3 – Influência de direção aplicado aos lados da grade do FFD

id	thigh.L	thigh.R	shin.L	shin.R	chest	spine	hips	upper_arm.L	upper_arm.R	forearm.L	forearm.R
front	0.30	0.30	0.30	0.30	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
back	0.45	0.45	0.45	0.45	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
left	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
right	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Para realizar a validação da deformação, e consequentemente o modelo gerado, é calculado o volume do modelo da posição antes e após a deformação, a porcentagem da taxa de crescimento ou diminuição do volume é então comparada com os valores de volumes esperado, como mostra a Tabela 4, para cada grupo de IMC, com uma margem de erro de 10%. Esta margem é necessária visto que cada modelo tem uma forma específica do corpo e volume distintos. Caso esta margem de erro seja ultrapassada, ou se não for alcançada, é calculado um fator de ajuste de deformação, recriadas as grades FFD e aplicado o ajuste da deformação para gerar o modelo adequado.

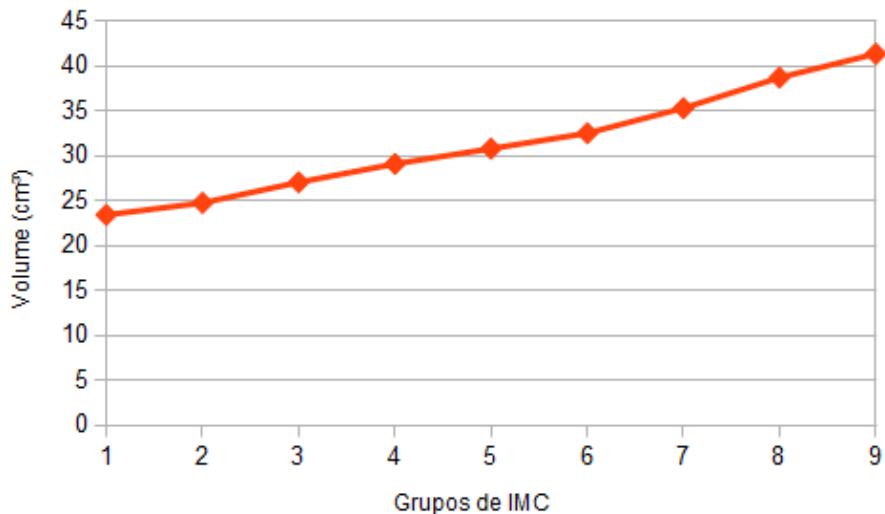
Tabela 4 – Porcentagem de crescimento de volume para grupos adjacentes de IMC para função de engorda.

Grupos IMC	Vol. esperado
1 - 2	105,7049%
2 - 3	109,2554%
3 - 4	107,5607%
4 - 5	105,8653%
5 - 6	105,5567%
6 - 7	108,5859%
7 - 8	109,6280%
8 - 9	106,8490%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Para verificar o volume esperado para cada grupo de IMC, foi realizado o cálculo do volume, através da técnica utilizada por Jorstad et al. (2015), dos modelos geométricos do SAPECO, Figura 27, que mostra que o volume dos modelos cresce à medida que o IMC aumenta tendendo a uma linearidade porém a Figura 23 mostra que cada segmento do corpo cresce de forma não linear, entre os grupos adjacentes de IMC. Assim a Tabela 4 é uma análise do crescimento do volume em relação aos modelos adjacentes, ou seja, foi dividido o IMC do grupo mais alto pelo IMC do grupo adjacente anterior.

Figura 27 – Comparação entre volume e IMC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Com a validação do volume esperado dentro da margem de erro, o modelo pode ser exportado para o tipo de saída escolhido pelo utilizador do sKanner3D. Podendo ser um arquivo contendo uma malha geométrica do modelo, e assim poder utilizá-la na maioria dos softwares de modelagem, ou nos formatos de imagem ou vídeo.

#### 4.2.1 Integração com o SAPECO

O sKanner3D pode ser integrado ao SAPECO, alterando um arquivo de configuração chamado “integracao.txt1” alterando a variável “sapeco:no” para “sapeco:yes”. Com isso faz-se necessária uma modificação na ferramenta SAPECO, para possibilitar a leitura de modelos externos através de uma pasta chamada “StreamingAssets”. Com essas alterações quando os modelos são gerados pelo sKanner3D estes são

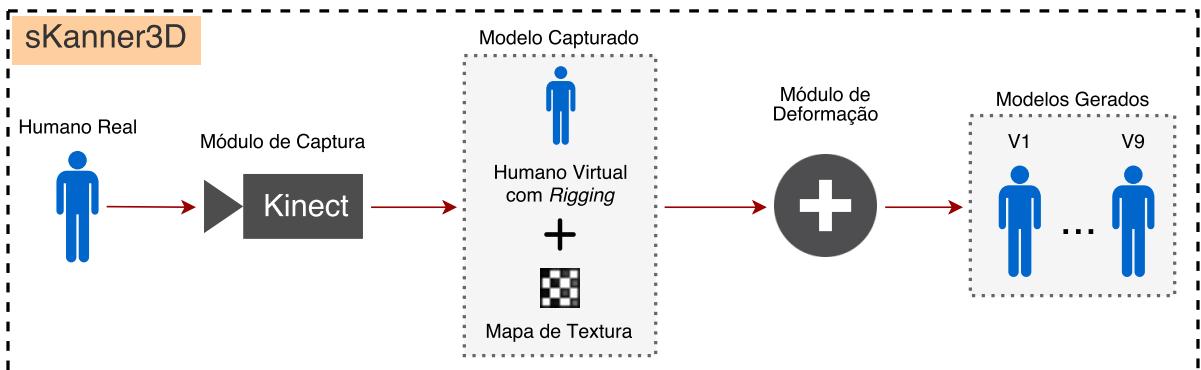
enviados para a pasta “StreamingAssets” e o teste de Imagem Corporal pode ser realizado utilizando os modelos da pessoa capturada.

Para que a integração funcione corretamente é necessário que as duas ferramentas, sKanner3D e SAPECO 2.0, sejam instalados dentro do diretório “C:” do sistema operacional “Microsoft Windows”.

#### 4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou o sistema do sKanner3D para geração de humanos virtuais a partir de uma pessoa escaneada com um único dispositivo RGBD. A ferramenta desenvolvida é composta pelo módulo de captura que visa construir um modelo geométrico deformável de uma pessoa e o módulo de deformação que visa gerar variantes da pessoa capturada, como mostra a Figura 28.

Figura 28 – Diagrama do sKanner3D



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Humanos virtuais capturados utilizando câmeras RGBD de baixo custo, como o *Microsoft Kinect v1.0*, podem ser utilizados em diversas aplicações, principalmente, quando estes possuem uma textura e esqueleto que permitem, por exemplo, uma futura animação. Assim, os modelos capturados e gerados pelo sKanner3D podem ser imediatamente manipulados pelo esqueleto através de ferramentas de modelagem ou animação. Também são adequados para prototipação e análises, visto que o modelo consegue representar a pessoa capturada utilizando um dispositivo de baixo custo, antes de se investir numa solução de maior precisão e detalhamento.

Apesar de possuir algumas limitações (baixa resolução da câmera RGBD; ser sensível à iluminação e roupa utilizada; ser restrito na pose da pessoa) é um proce-

dimento simples, automático e eficaz que utiliza apenas uma única câmera RGBD e produz resultados visualmente satisfatórios.

O método do sKanner3D cria automaticamente, baseado no aspecto fisiológico da massa corporal, uma escala de modelos geométricos 3D com a mínima intervenção do usuário. Para a geração destes, é utilizado um modelo geométrico base, que é escaneado por apenas um único dispositivo *Microsoft Kinect v1.0*, com esqueleto e textura. Este modelo base sofre deformações em cada uma das partes do corpo a fim de gerar um novo humano virtual. Como os modelos escaneados não possuem uma topologia fixa na estrutura da malha geométrica, utiliza-se um esqueleto para segmentar a malha para que seja possível aplicar o processo de deformação. O modelo capturado (malha B-rep) para o processo de deformação é independente do número de vértices, porém este precisa estar completamente fechado, ou seja, não possuir “buracos” na malha.

Para geração da diversidade de modelos, faz-se a correspondência do volume do modelo geométrico aos grupos IMC, com base na alteração de medidas antropométricas do corpo através do fator de deformação, os quais não se utilizam a cabeça, pés e mãos. O FFD foi utilizado como técnica de deformação da malha, pois seus pontos de controles permitem aplicar de modo diferenciado os fatores de deformação da malha nas regiões frontal, traseira e laterais, de cada parte do corpo, permitindo assim, evidenciar as regiões que visualmente mais crescem/diminuem.

Devido ao processo de deformação utilizar dados antropométricos de crianças de 7 a 10 anos no processo de deformação. O sKanner3D, até então, funciona para essa faixa de idade. Para incluir outros públicos, basta incluir arquivos csv de fator de deformação na pasta chamada “skn3d\_parametros”. Dessa forma, o sKanner3D tem como diferencial, a inovação de produzir variações de modelos 3D baseados no critério fisiológico da obesidade, tendo como referência o IVC; o método de deformar os membros seguindo as variações de proporções obtidas de modelos reais e diferenciá-las para frente/traz (direção); e a técnica de usar o FFD aplicada a malha (B-rep) com limitado alcance de influência e alinhada a cada membro do modelo

## 5 EXPERIMENTO, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os experimentos realizados com o sKanner3D e os resultados obtidos para verificar o funcionamento e desempenho da solução desenvolvida. Portanto, foram realizados dois experimentos.

O primeiro trata-se de uma avaliação objetiva e utilizou os modelos do SAPECO (FERRARI, 2016) e de crianças escaneadas como entrada para o processo de deformação e assim validar internamente pelo volume dos modelos gerados. Através do modelo do SAPECO busca-se analisar se a deformação de um modelo A gera um modelo B parecido com um modelo C existente, dentro de uma margem de erro. Através de crianças capturadas se o validador interno está conseguindo manter o padrão através dos cálculos dos volumes.

O segundo trata-se de um experimento subjetivo através de um questionário com especialistas em percepção corporal, os quais avaliaram os modelos 3D de crianças gerados pelo sKanner3D. Nesta avaliação buscou-se identificar se os respondentes conseguiam diferenciar o modelo capturado dos modelos gerados, bem como a percepção das formas do corpo para diferentes pesos.

Também é analisado os resultados de desempenho do sistema para o processo de captura e deformação, bem como as limitações encontradas que podem prejudicar o seu correto funcionamento.

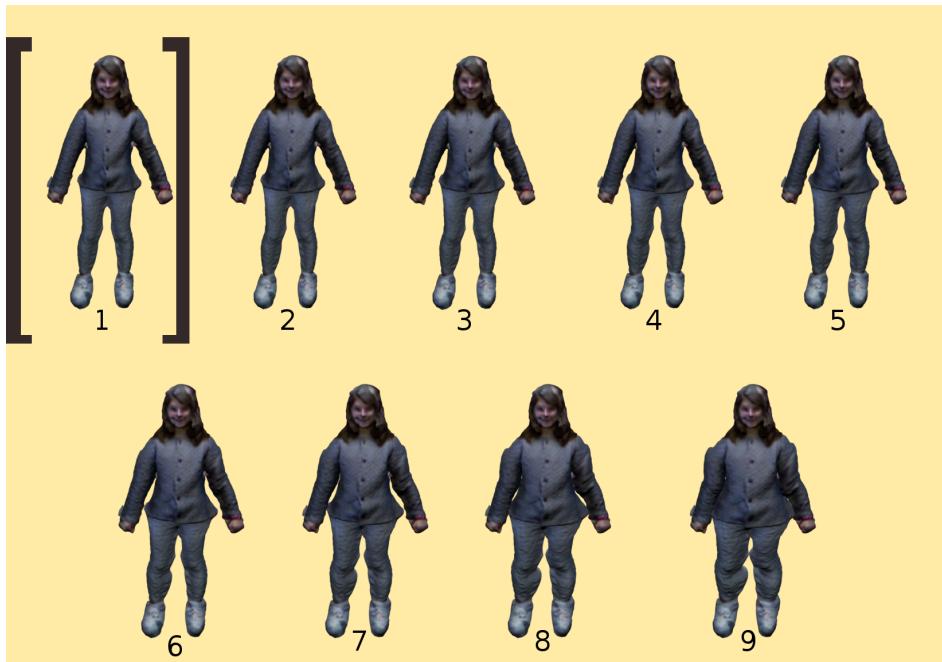
### 5.1 RESULTADOS DE DESEMPENHO DO SISTEMA

Alguns resultados relativos ao processo do sKanner3D podem ser observados na Figura 29, onde o modelo destacado é o modelo original capturado com o dispositivo *Microsoft Kinect v1*. Os outros modelos foram gerados pela função de engorda/emagrecimento, com base nas médias de medidas antropométricas de crianças entre 7 a 10 anos utilizadas nos modelos do SAPECO e podem ser encontrados no Apêndice D.

Todo o processo do sKanner3D (captura e deformação) gera bons resultados nas condições adequadas: iluminação, vestimenta, pose. Todo o processo dura aproximadamente 8 minutos utilizando um computador com processador Intel Core i5-4570 (2.6GHz), 16GB de memória RAM, placa de vídeo NVidia GForce GTX 780 Ti 3GB, Microsoft Kinect v1.0 e sistema operacional Windows 7 Professional (64bits):

- Fast Avatar Capture (*scans*): 40 segundos, 10 segundos por *scan*;

Figura 29 – Deformações aplicadas a um modelo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

- Fast Avatar Capture (pós-processamento): 2 minutos e 20 segundos;
- rigProcessing: 1 segundo;
- Posicionamento e união do esqueleto a malha: 10 segundos;
- Mapeamento da textura: 10 segundos;
- Aplicação das funções de engorda/emagrecimento e renderização de cada modelo em 4 segundos em vídeo no formato .mp4 e em imagem no formato .png: 4 minutos para 9 modelos.

Para atingir estes tempos, a malha gerada pelo processo de captura possui aproximadamente 50000 vértices e é exportada para um arquivo no formato .ply com a informação de cor. O *rigProcessing* utiliza este arquivo para realizar a discretização e exporta um arquivo .csv com a posição das juntas. Após isso, a ferramenta *Blender* importa o arquivo .ply e o .csv produzindo como resultados o mapa de textura no formato .png e uma malha com *rigging* no formato .dae, os quais podem ser importados na maioria das ferramentas de modelagem/animação ou motor de jogos.

O tamanho da malha capturada interfere nos tempos alcançados, podendo ser mais rápido em malhas menores, porém perde-se a qualidade do modelo escane-

ado ou não se consegue realizar todo o processo caso a malha esteja aberta, ou seja, possuindo “buracos” na malha que permitem ver o interior do objeto. Enquanto que em modelos com malhas maiores ganha-se qualidade da textura, mas aumenta-se consideravelmente o tempo que o sKanner3D utiliza para realizar todo o processamento.

Por exemplo, em uma malha com 197.680 vértices leva-se aproximadamente 15 minutos apenas nas etapas que utilizam o *Fast Avatar Capture* (scans e pós-processamento). Em contrapartida o tamanho da malha capturada para o sKanner3D com 50.000 vértices, nestas mesmas etapas, tem um tempo aproximando de 3 minutos.

A geração dos modelos variantes decorridos das funções de engorda e emagrecimento, possuem uma resolução de saída de 1080 por 1620, para os formatos de imagem (png) e vídeo (mpeg4 com codec h264).

### 5.1.1 Limitações do sKanner3D

Durante o desenvolvimento e testes do sKanner3D foi possível observar algumas limitações que podem afetar o escaneamento ou a geração dos modelos.

Com relação a requisitos de hardware é necessário ter um dispositivo de processamento gráfico compatível com *DirectX 11*, ou superior, para que o processo de captura e deformação funcione automaticamente. O modelo deve ser escaneado na mesma pose e com a mão fechada. Devido ao fato do dispositivo *kinect* ter uma baixa resolução em comparação aos escâneres a *laser* comerciais, quando o modelo é escaneado com a mão aberta ou com o braço muito perto do corpo, o processo de reconstrução fica prejudicado. Registre-se que foi utilizado o modelo v1.0 do *Kinect* e, como o modelo v2.0 tem mais precisão e resolução, acredita-se que este problema será menor se usada esta última versão do dispositivo, porém isso não foi testado.

A captura do modelo com os braços muito próximos ao corpo prejudica o *rig-Processing* pois este tem dificuldades para encontrar as mãos do modelo, devido às possíveis interseções entre a malha do braço e o tronco. Isto significa que a movimentação da pessoa no tapete deve ser acompanhada e corrigida por uma pessoa conduzindo o processo, para que a pose nas 4 visões sejam coerentes.

A iluminação do ambiente também interfere na texturização do modelo criando manchas esbranquiçadas no corpo e uma falta de iluminação pode gerar modelos muito escuros. Isto significa que é desejável um ambiente com boa iluminação difusa para a etapa de captura do modelo 3D da pessoa escaneada.

Outra limitação é quanto ao tipo de roupa utilizada por uma pessoa durante o processo de captura, o que impacta nos processos subsequentes. O mais adequado para o processo de escaneamento são roupas que sejam ajustadas ao corpo, visto

que pessoas escaneadas com roupas mais largas, tendem a induzir um erro de posicionamento das juntas do esqueleto gerados pelo *rigProcessing*, e assim prejudicar a geração dos modelos na etapa de deformação.

## 5.2 EXPERIMENTO OBJETIVO

A Tabela 4 (apresentado na seção 4.2) mostra a variação do volume esperado para a função de engorda, entre os grupos de IMC, que é utilizado pelo validador interno com base nos modelos do SAPECO. Para exemplificar, supõe-se que um modelo escaneado faça parte do grupo de IMC 5, o módulo de deformação calcula o volume deste modelo e o guarda para ser utilizado em uma validação. Em seguida o módulo de deformação irá gerar o modelo referente ao grupo 6, é feito o cálculo do volume deste modelo e verificada a variação do volume com o modelo do grupo 5. Se esta variação corresponder com o volume esperado 5-6, presente na Tabela 4, com uma margem de erro de 10%, para mais ou para menos, então o modelo é considerado válido e gerado, e então passa-se para geração do próximo modelo.

Dessa forma, no experimento objetivo busca-se avaliar se a deformação produzida pelo sKanner3D equivale ao resultado geral que se conhece. Este então, é realizado pela análise do volume do modelo geométrico do modelo original da criança escaneada (versão real) e suas variações pelas funções de engorda/emagrecimento (versões deformadas). Para cada criança é registrado um *log* com o volume final dos nove modelos para que se possa ser analisado nas subseções que se seguem. Também foi realizado o mesmo procedimento utilizando os modelos do SAPECO com a finalidade de testar a geração e compará-los com modelos conhecidos.

### 5.2.1 Modelos do Sapeco

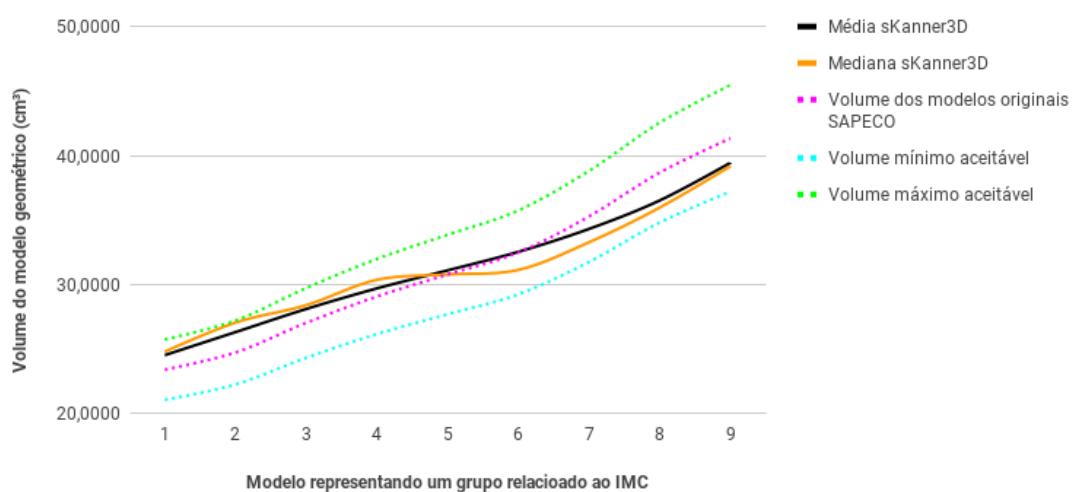
O teste objetivo com modelos do SAPECO busca analisar se os modelos gerados pelo sKanner3D, conseguem produzir modelos próximos do modelo do SAPECO, tanto em volume geométrico do modelo quanto visualmente. Assim, neste experimento foram utilizados como entradas para o módulo de deformação 9 modelos geométricos originais do SAPECO .

Inspirado no IVC, o sKanner3D realiza uma checagem do volume do modelo através do volume geométrico total do corpo. Desta forma, realizar a validação do volume associado aos grupos de IMC, foram deformados cada um dos 9 modelos originais gerados para o SAPECO, a fim de gerar os outros 8 pelo sKanner3D através das funções de engorda/emagrecimento do módulo de deformação.

A Figura 30 mostra a variação de volume dos modelos gerados para cada grupo de IMC, inclui-se aqui 72 modelos gerados e 9 modelos originais que totalizam

81 modelos, 9 para cada grupo de IMC. Percebe-se que pela mediana uma maior acentuação na variação entre os modelos 1 a 4 e 6 a 9, com uma variação menor entre os modelos 4 a 6. Analisando o crescimento do volume pela média, é mostrado que a medida que o IMC da pessoa aumenta seu volume também cresce, porém não é realizado de forma linear. E que a variação de volume para os modelos foram gerados dentro da margem de erro estipulada de 10% em relação à variação de volume dos modelos originais do SAPECO.

Figura 30 – Gráfico de variação de volume dos modelos de meninos gerados pelo skanner3D.



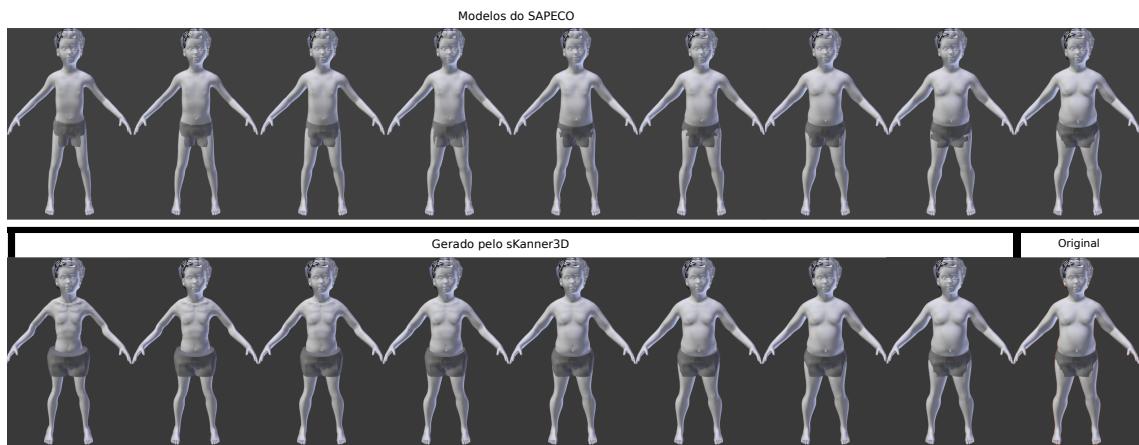
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Apesar dos modelos estarem estarem dentro do volume desejado, percebe-se que nos modelos do SAPECO houve uma maior taxa de erro nos modelos dos extremos, sendo abaixo do volume dos modelos originais nos modelos dos grupos mais altos e acima do esperado dentro dos grupos mais baixos, tendo o menor erro nos modelos intermediários.

A Figura 31 mostra na primeira linha os 9 modelos originais masculinos do SAPECO, na segunda linha, um exemplo de deformação utilizando o modelo da posição 9 do SAPECO, e os outros 8 que foram gerados pelo sKanner3D. Nota-se na Figura 31 que o calção e o cabelo do modelo foram ignorados pelo módulo de deformação do sKanner3D, por se tratar de uma malha geométrica separada do corpo do modelo. Em modelos gerados manualmente é normal a geração de malhas geométricas separadas para customizar o modelo, nestes casos, para que o sKanner3D possa deformar esses objetos é necessário associar os vértices a algum osso do esqueleto. No caso do calção, por exemplo, é preciso associar os vértices ao osso referente ao quadril.

Assim, esta situação só ocorreu devido a forma como as malhas foram geradas para os modelos do SAPECO.

Figura 31 – Emagrecimento do modelo 9 do SAPECO, comparação do modelo gerado pela deformação do skanner3D e os modelos criados manualmente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Observa-se na Figura 31 que as variações geradas utilizando o volume do modelo geométrico como validador interno, consegue reproduzir uma variação próxima ao modelo correspondente ao modelo de mesmo nível de obesidade do SAPECO, na questão da forma da silhueta. Porém, como os modelos do SAPECO foram modelados manualmente e, por isso, possuem uma suavidade maior nos contornos e também devido uma diferença encontrada na posição do esqueleto nos mosdelos do SAPECO, os modelos mais magros apresentaram uma característica musculara e algumas imperfeições no braço.

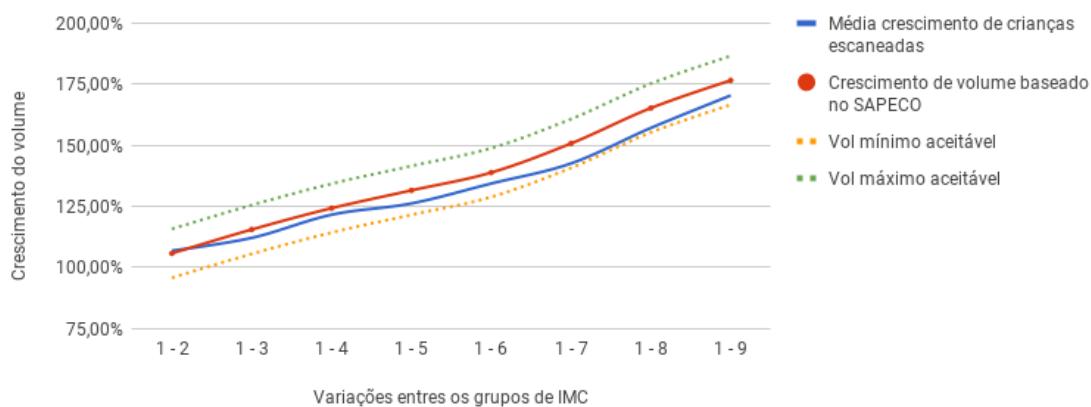
### 5.2.2 Modelos de crianças

Como o objetivo é utilizar modelos escaneados, o experimento objetivo foi realizado com modelos de crianças capturadas e assim avaliar se ele consegue manter a coerência de volume entre os grupos de modelos baseados no IMC e gerar modelos críveis. Assim é avaliado o validador interno de deformação do sKanner3D, através de 4 modelos de crianças capturadas.

A Figura 32 mostra a média do crescimento da variação de volume dos modelos em relação ao primeiro modelo. Observa-se que o crescimento do volume dos modelos das crianças escanadas encontra-se dentro da margem de erro de 10% de variação do volume. Nota-se, também, que a variação do volume ficou próxima aos do

modelos do SAPECO para os modelos mais magros. Isso pode ser devido aos grupos de IMC em que as crianças de encaixavam, sendo estes uma criança do grupo 1, duas do grupo 3 e uma do grupo 4. Isto pode significar que quanto maior a distância do modelo original para o modelo a ser gerado, existe uma tendência maior ao erro.

Figura 32 – Gráfico de variação de volume dos modelos de meninos gerados pelo skanner3D.



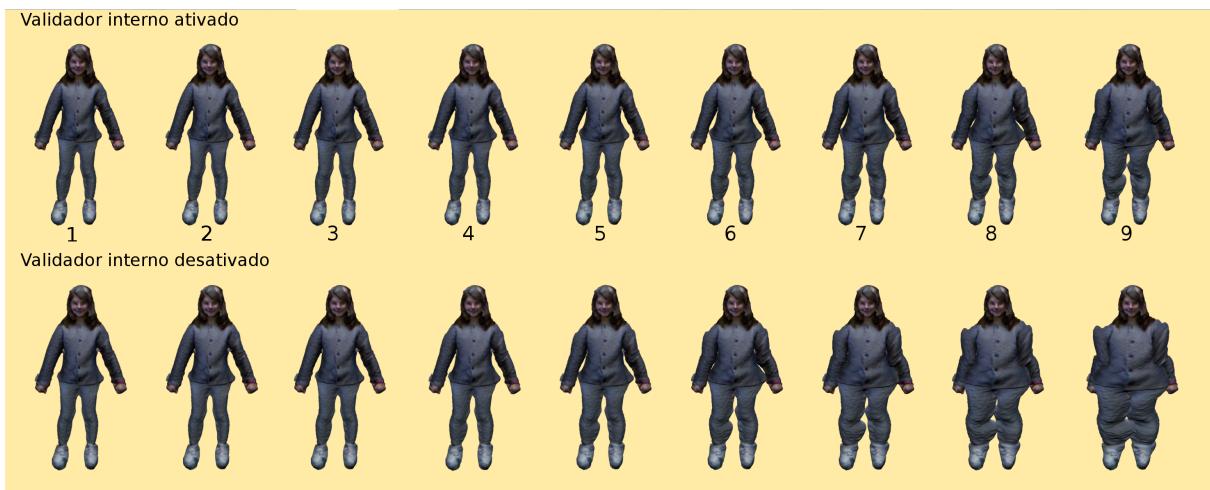
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

O validador da deformação baseado no volume do modelo geométrico mostra-se aqui como um controlador da deformação do modelo. Um ponto a ser destacado é que na subseção 5.2.1 todos os modelos do SAPECO possuem a mesma altura (137cm), e nos testes com crianças tem-se alturas distintas, indo de 123cm até 153cm. Dessa forma, sem a validação do volume pode ocorrer o estouro da malha devido às diferentes proporções do corpo das crianças, com volumes superiores ou inferiores do esperado, e assim gerar formas diferentes do que se pretende representar.

A Figura 33 mostra um resultado do processo completo (captura e geração de variantes) do sKanner3D de uma criança, tendo como modelo original (capturado) o modelo 1. Na primeira fila temos o processo com os modelos gerados com o validador interno ativado. Na segunda fila tem-se os modelos gerados com o validador interno desativado, produzindo formas com algumas distorções.

Portanto observa-se que o validador interno através do volume do modelo permite gerar modelos coerentes geometricamente e corrigir possíveis alterações não desejadas na malha, como ocorreu nas pernas da Figura 33 na região das pernas, além de manter a correspondência do volume com os grupos relacionados ao IMC. Para gerar modelos a partir de pessoas escaneadas a validação por volume se apresenta como uma boa métrica para gerar modelos que possam ser utilizados na área

Figura 33 – Geração de variantes de uma criança via sKanner3D



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

de Imagem Corporal.

### 5.3 EXPERIMENTO SUBJETIVO

O experimento com especialistas foram realizadas em duas etapas. Na primeira foi realizado um teste piloto para melhoria do questionário. Na segunda etapa foi aplicado o questionário final utilizando dois modelos de duas crianças e com alterações com questionário.

Nas duas etapas, o experimento subjetivo foi realizado com especialistas relacionados à área de percepção corporal e visa analisar a qualidade dos modelos através das percepções dos mesmos. Para encontrar estes especialistas fez-se uma pesquisa no buscador acadêmico *Google Scholar*<sup>1</sup> pelos termos ‘imagem corporal’ e ‘percepção corporal’. Dos resultados retornados pelos buscador fez-se uma análise se os artigos realizavam uma avaliação da Imagem Corporal e, em caso positivo, coletado os *e-mails* encontrados nos artigos para o envio do questionário.

#### 5.3.1 Teste Piloto

No teste piloto, ao todo foram coletados 407 *e-mails* distintos da pesquisa realizada, destes 76 retornaram como endereço não encontrado (inválido) e dos 331 email válidos restantes, 53 responderam ao questionário. Em média, os respondentes levaram cerca 12:44 minutos para realizá-lo.

<sup>1</sup> <https://scholar.google.com.br/>

Através de um formulário *online*, conforme Apêndice C, os respondentes puderam avaliar os modelos 3D de 3 crianças a fim de verificar a validade do processo do sKanner3D. Para cada criança, foram exibidos 9 modelos (1 modelo original escaneado e 8 gerados pelo módulo de engorda/emagrecimento) através de imagem e vídeo para que os respondentes pudessem analisar. Para cada criança foram realizadas as perguntas de Q1 a Q7 como se segue:

- Q1 - Qual modelos modelos apresentados na figura abaixo é a criança original?
- Q2 - O modelo apresentado tem proporções críveis (aceitáveis) de uma menina de  $x$  anos. (Onde o  $x$  foi substituído pela idade da criança escaneada, sendo estes 6, 8 e 11 anos.)
- Q3 - O modelo mais magro (o primeiro da sequência) está coerente.
- Q4 - O modelo mais gordo (o último da sequência) está coerente.
- Q5 - O giro dos modelos permite analisar melhor a forma do corpo.
- Q6 - A variação corporal anteroposterior (frente-verso) está coerente.
- Q7 - Os modelos 3D apresentados representam uma criança com variações em relação ao seu IMC.

A resposta da Q1 teve como referência a análise das 9 imagens de cada modelo, colocadas lado a lado. As questões Q2 a Q7 foram criadas através da escala *Likert* e tiveram como referência um vídeo com 9 modelos de uma criança, os quais foram visualizado através de uma animação de giro em 360 graus.

As questões Q1, Q2 e Q7 visam realizar uma avaliação geral dos modelos como um todo, as questões Q3 e Q4 visam realizar uma análise específica dos extremos. Por fim, as questões Q5 e Q6 tem como objetivo avaliar a forma de mostrar os modelos.

Também foram coletados alguns dados sociodemográficos acerca dos respondentes como: sexo, formação, maior nível de formação, anos de experiência profissional e idade.

#### *5.3.1.1 Resultados e Discussões*

A aplicação do questionário piloto teve como respondentes 53 pessoas, sendo 41 mulheres e 12 homens, os quais englobam as seguintes formações: Profissional em Educação Física (35,85%), Professor (18,87%), Nutricionistas (18,87%), Fisioterapeutas (16,98%), Psicólogo (3,77%), Pediatra e Enfermeira (1,92% cada). Como maior

nível de formação tem-se 56,60% para doutorado completo seguido de 15,09% para doutorado incompleto e mestrado completo, cada. Estes respondentes têm em média 16,54 anos de experiência profissional (desvio padrão de 9,55) e uma idade média de 40,67 anos (desvio padrão de 9,27). Se conclui que é um público qualificado.

Para a primeira questão do formulário, Q1, os dados sugerem que a ampla maioria dos respondentes escolheu como modelo original outro que não o modelo correto. Isto indica que o modelo criado pelo sKanner3D convenceu os respondentes, ou seja, o processo tanto de engorda quanto de emagrecimento virtual está convincente, como mostrado na Tabela 5. A Figura 34, detalha as escolhas dos respondentes mostrada na Tabela 5 ao mostrar a variação das respostas quanto ao julgamento do modelo original da criança escaneada. Observa-se que os respondentes deram preferência: para os modelos 4 e 5 para a criança 1 cujo modelo correto é o 3; para os modelos 3, 4 e 5 para a criança 2 cujo original é o 3; e para os modelos 3 e 4 para a criança 3 cujo modelo original é o 1. Observa-se que os avaliadores foram tendenciosos para os modelos mais magros próximos ao meio da escala.

Tabela 5 – Tabela comparativa da questão Q1 entre os modelos

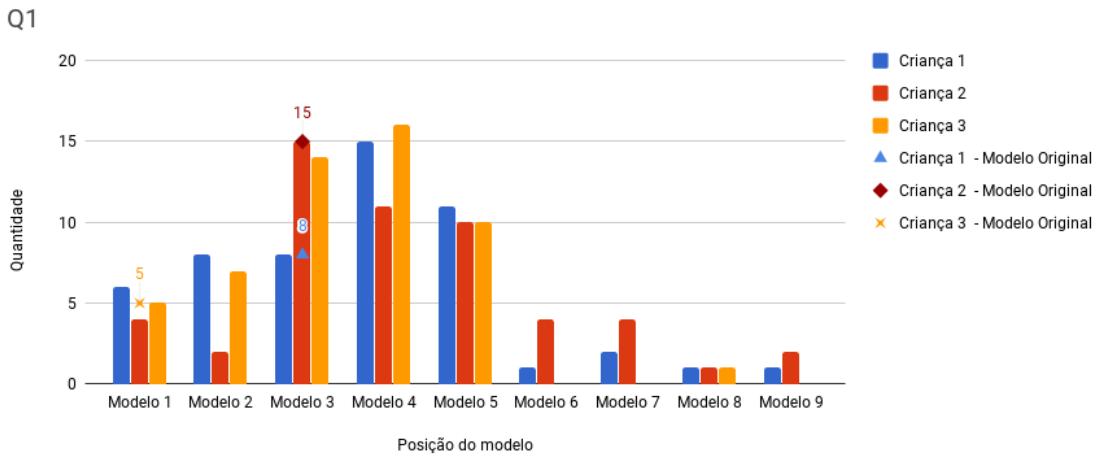
Modelo	Correto	Idade Criança	Acertaram (n=53)	Erraram (n=53)
Criança 1	Modelo 3	6 anos	15,09%	84,91%
Criança 2	Modelo 3	8 anos	28,30%	71,70%
Criança 3	Modelo 1	11 anos	9,43%	90,57%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Na Figura 35 mostram-se os gráficos para as questões Q2 e Q3. Na Q2 observa-se que os respondentes concordam que os modelos possuem as proporções aceitáveis de uma criança, tendo uma quantidade significativa de pessoas que concordam completamente. Na Q3 observa-se um bom nível de aceitação da versão mais magra do modelo tendo uma alta porcentagem das pessoas que concordaram completamente, porém o nível de pessoas de discordaram também foi alto. Ainda na Q3, observa-se os respondentes que concordaram com completamente foram maior do que as soma dos que discordaram, porém não foi refletido este valor na Q1 como o modelo original.

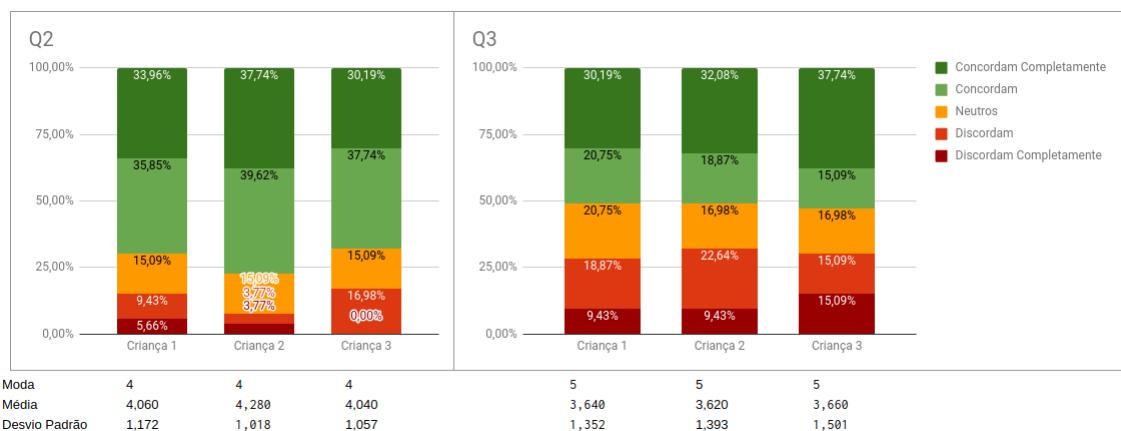
Na Figura 36 mostra os gráficos para as questões Q4 e Q5. No gráfico da Q4 observa-se uma concordância com os modelos das crianças 1 e 2 e uma discordância com a criança 3 de ao dizer que o modelo mais gordo é crível. Isso pode ter ocorrido devido ao fato das duas primeiras estarem usando uma roupa mais justa ao corpo enquanto a terceira criança estava com uma roupa mais folgada. No gráfico da Q5 observa-se que o giro do modelo é um recurso importante que permite analisar a

Figura 34 – Gráfico referente à Q1.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Figura 35 – Gráfico referente à Q2 e Q3.

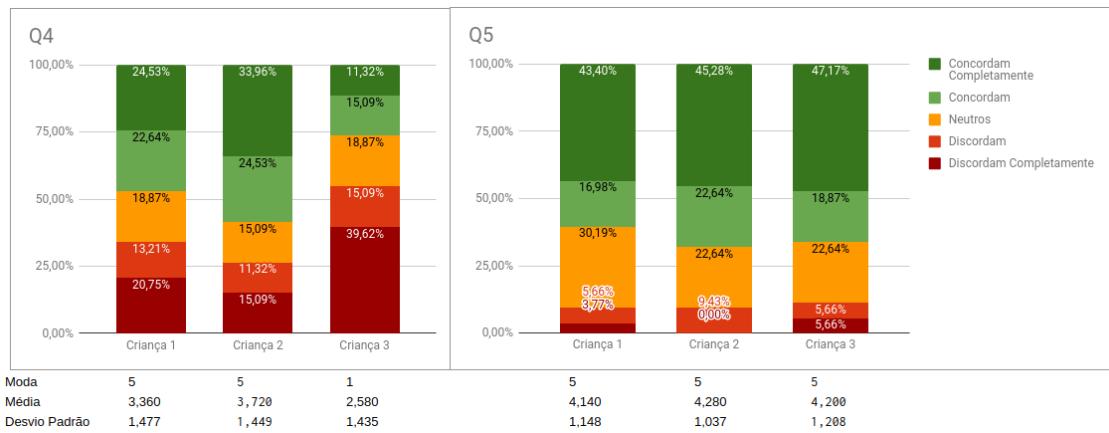


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

forma do corpo de todos os lados.

A Figura 37 mostra os gráficos para as questões Q6 e Q7. No gráfico da Q6 percebe-se que as variações dos modelos possuem uma coerência em sua forma nos modelos 1 e 2. Para o modelo 3 o número alto de pessoas que ficaram neutros, devido ao alto valor de discordantes na Q4. Este fato pode ter ocorrido devido à roupa que a criança está utilizando, sendo mais justas nas crianças 1 e 2 e mais folgadas na

Figura 36 – Gráfico referente à Q4 e Q5.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

criança 3. Na Q7 observa-se uma forte aceitação por partes dos respondentes em perceber que os modelos das crianças representam variações em relação ao IMC. Isso significa que as funções de emagrecimento/engorda do sKanner3D consegue produzir modelos que representam diferentes níveis de obesidade.

Figura 37 – Gráfico referente à Q6 e Q7.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Com base nestes resultados, observa-se o quanto difícil é uma análise subjetiva de modelos de humanos virtuais de crianças, o que demonstra que o sKanner3D consegue simular variações de nível de obesidade e manter geometricamente a coerência

da forma corporal. Porém faltou neste formulário um campo para que as respondentes colocassem as suas observações sobre os modelos, sendo este inserido na versão final.

Com a hipótese de que os respondentes foram tendenciosos na Q1, na versão final são avaliados apenas duas crianças e a Q1 repetida em duas perguntas, porém na primeira pergunta o vídeo e as imagens são mostrados os modelos de forma aleatória e na segunda em ordem de nível de obesidade.

Outro ponto observado no formulário, é que os respondentes conseguiram identificar a relação de proporção do corpo com uma determinada idade que sugerida para a crianças na questão Q2. Porém, como as crianças podem ter peso e altura distintos independente da idade esta questão foi removida na versão final do questionário.

Na questão Q3 e Q4, em que se avaliam os modelos dos extremos (posições 1 e 9), teve uma boa aceitação dos respondentes com exceção da criança 3 na Q4. Isso pode ter ocorrido devido ao tipo de roupa que esta criança estava utilizando, e como o modelo original desta é a primeira da sequência o modelo mais gordo apresenta uma distorção na percepção de sua obesidade. Assim na versão final do formulário, foi retirado a criança 1, pelo fato do modelo original estar na mesma posição da criança 2 e incluído o modelo intermediário para ser avaliado e aumentado o tamanho da imagem destes.

As questões Q5, Q6 e Q7 foram mantidas na versão final do questionário com melhorias nas afirmações que se deseja avaliar.

### **5.3.2 Teste Final**

No teste final, ao todo foram coletados 648 *e-mails* distintos aos quais foi enviado um *e-mail* com o endereço de um formulário *online*. Destes, 178 retornaram como endereço não encontrado (inválido), portanto, dos 470 *e-mails* válidos restantes, 40 responderam ao questionário. Em média, os respondentes levaram cerca 9:43 minutos para realizá-lo.

Através de um formulário *online*, conforme Apêndice D, os respondentes puderam avaliar os modelos 3D de 2 crianças a fim de verificar a validade do processo do sKanner3D. Para cada criança, foram exibidos 9 modelos (1 modelo original escaneado e 8 gerados pelo módulo de engorda/emagrecimento) através de imagem e vídeo para que os respondentes pudessem analisar 9 perguntas identificadas de P1 a P9:

- P1 - Qual dos modelos 3D apresentados no vídeo e na figura acima você acredita

que é a criança real/original? (os outros foram gerados por computador)

- P2 - Novamente, por favor, de acordo os modelos apresentados no vídeo e na figura acima indique qual dos modelos você acredita que seja o real/original? (os outros foram gerados por computador)
- P3 - Considerando o modelo abaixo como o mais magro da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.
- P4 - Considerando o modelo abaixo como o de nível intermediário da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.
- P5 - Considerando o modelo abaixo como o mais gordo da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.
- P6 - Considerando os modelos 3D apresentados anteriormente, entendo que eles representam modelos de crianças com variações em relação ao peso dela. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância.
- P7 - A variação corporal antero-posterior (proporções e formatos entre as visões frente/costas) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância.
- P8 - O giro dos modelos, no vídeo, permite analisar melhor a forma do corpo. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância.
- P9 - Se quiser, deixe abaixo seus comentários sobre os modelos 3D apresentados

As questões P1 e P2 visam realizar uma análise dos modelos a fim de verificar se os respondentes conseguem diferenciar o modelo capturado dos modelos gerados. As questões P3 a P5 visam realizar uma análise específica do modelos extremos e do meio, P6 e P7 uma avaliação geral dos modelos como um todo e a questão P8 em analisar a forma de mostrar os modelos. Por fim, a questão P9 tem como objetivo coletar comentários a cerca das percepções dos respondentes sobre os modelos gerados.

No formulário foram utilizados modelos de 2 crianças do sexo feminino com diferentes níveis de obesidade, para cada criança foram realizadas as perguntas de

P1 a P9 e tiveram como referência um vídeo e uma imagem com 9 modelos. Nas perguntas P1 e P2, os 9 modelos da primeira criança foram mostrados, respectivamente, em uma ordem aleatória e em ordem crescente de nível de obesidade. Os modelos da segunda criança foram mostrados em ordem aleatória e em ordem decrescente de obesidade. Para as questões P3 a P8 foram usadas a escala *Likert* e a questão P9 é uma pergunta aberta para comentários e sugestões.

Também foram coletados alguns dados sociodemográficos acerca dos respondentes como: sexo, formação, maior nível de formação, anos de experiência profissional e idade.

### **5.3.3 Resultados e Discussões**

A aplicação do questionário teve como respondentes 40 pessoas, sendo 34 mulheres e 9 homens. Os quais englobam as seguintes formações: Profissional em Educação Física (30%), Nutricionistas (30%), Psicólogo (15%), Fisioterapeutas (12,5%), Professor (7%) e Enfermeira (2%). Como maior nível de formação tem-se 47,5% para doutorado completo seguido de 15% para doutorado incompleto e mestrado completo, cada. Estes respondentes tem em média 15,25 anos de experiência profissional (desvio padrão de 10,33) e uma idade média de 39 anos (desvio padrão de 9,8). Ou seja, é um grupo muito qualificado e com formação mais adequada ao contexto da pesquisa.

Para a primeira e a segunda questão do formulário, P1 e P2, os dados sugerem que ampla maioria dos respondentes escolheu como modelo original outro que não o modelo correto. Isto indica que o modelo criado pelo sKanner3D convenceu os respondentes, ou seja, o processo tanto de engorda quanto de emagrecimento virtual conseguiu enganar os respondentes, como mostrado na Tabela 6. Na escala normal de IMC (ordenada sequencialmente em ordem crescente), também foram poucos respondentes que erraram por 1 modelo antes e/ou depois, para a criança 1 cujo modelo original era o 3. E para a criança 2 cujo modelo original era o 1, não existe um modelo anterior, entretanto a aproximação do modelo desta criança foi maior em P2 do que em P1. Isto sugere que a posição em que o modelo foi mostrado pode ter influenciado nas respostas P1 e P2 da criança 2.

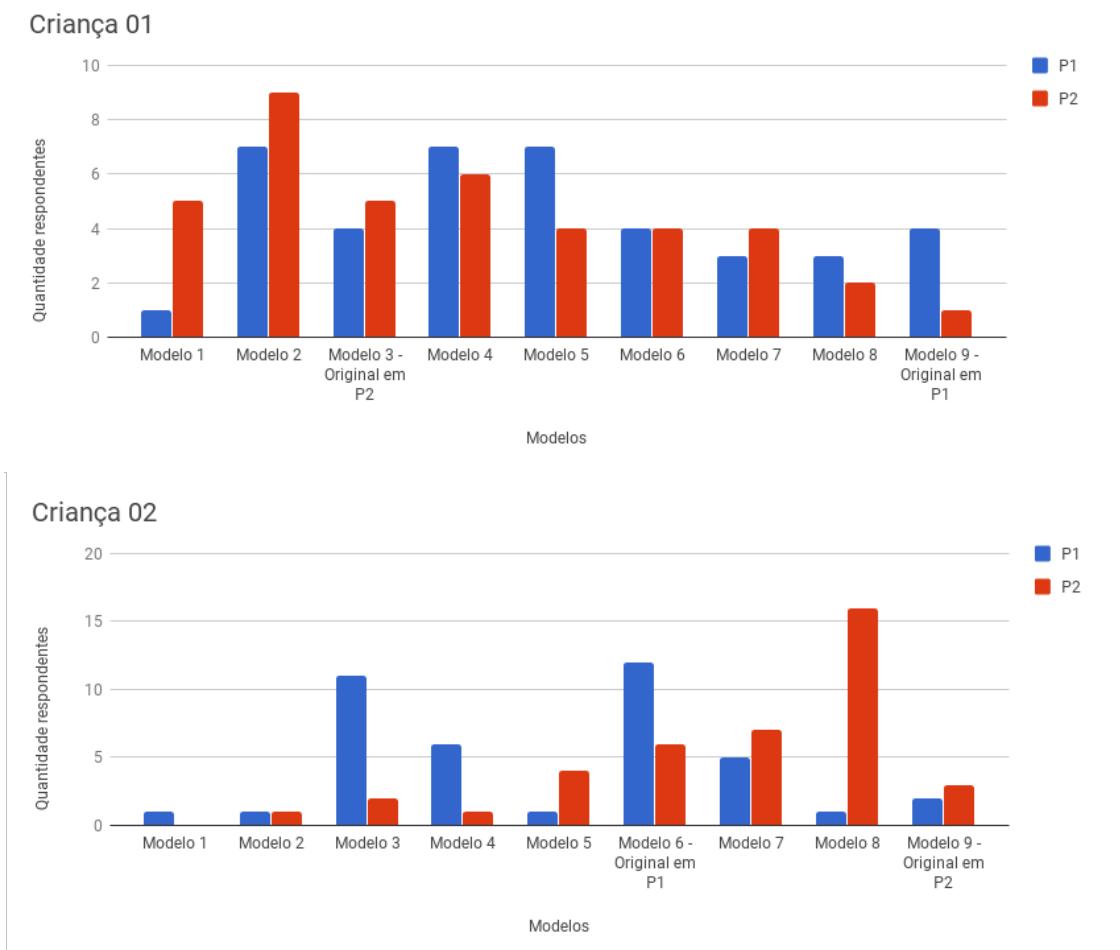
A Figura 38, detalha as escolhas dos respondentes da Tabela 6 ao mostrar a variação das respostas quanto ao julgamento do modelo original da criança escaneada. Observa-se pelas barras da questão P2 que os respondentes deram preferência: para os modelos 1 a 4 para a criança 1 cujo modelo correto é o 3; e para os modelos 6 ao 8 para a criança 2 cujo original é o 9. Como os modelos em P2 foram mostrados em ordem crescente e decrescente em níveis de obesidade, respectivamente para as crianças 1 e 2, observa-se que os avaliadores foram tendenciosos em escolher os modelos mais magros próximos ao meio da escala.

Tabela 6 – Tabela comparativa das questões P1 e P2 entre os modelos das crianças (n=40)

Modelo	Correto	Acertaram	Erraram	Aproximaram	
				1 modelo antes	1 modelo depois
Criança 1 em P1 (randômico)	Modelo 9	10,00%	90,00%	17,50%	17,50%
Criança 1 em P2 (crescente)	Modelo 3	12,50%	87,50%	22,50%	15,00%
Criança 2 em P1 (randômico)	Modelo 6	30,00%	70,00%	-	27,50%
Criança 2 em P2 (decrescente)	Modelo 9	7,50%	92,50%	-	40,00%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Figura 38 – Gráficos referentes às questões P1 e P2 das duas crianças.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

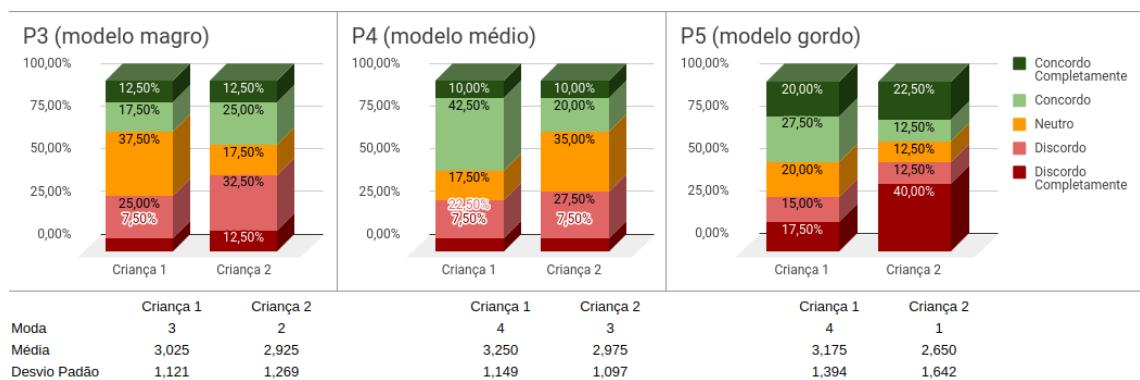
A questão P1, onde os modelos foram apresentados de forma randômica, ou seja, sem estar em uma sequência de nível de obesidade, confirma esta tendência por

modelos magros analisada anteriormente em P2, visto que os modelos escolhido em P1, se colocados em ordem crescente pelo nível de obesidade, são também os mais magros próximos ao meio da escala.

Em P1, o modelo original da criança 2 teve um pico maior de escolha. Isso pode ter ocorrido devido ao fato deste modelo estar entre dois modelos com um nível de peso bem mais alto no formulário, dando assim um contraste maior da forma, diferente do que ocorreu em P2, onde ele teve apenas um modelo magro adjacente. Pode-se observar, ainda, que para a criança 1 no modo sequencial levou a mais respostas corretas do que para a criança 2. E que o modo randômico foi melhor para a criança 2. Assim, para P1 (randômico) e P2 (sequencial), os dados foram ordenados pelo IMC e foi feito uma análise de correlação de Pearson para ambos os testes. Para P1  $r=0.84$  e  $p=0.005$ , e para P2  $r=0.91$  e  $p=0.000$ . Os resultados indicam que existe uma forte e significativa correlação entre as opções dos respondentes e o IMC. O que denota uma tendência de que os modelos mais gordos foram rejeitados, provavelmente pela questão simétrica entre o corpo e o rosto, aliado à roupa que a criança estava usando. Neste caso, ter mostrado os modelos aleatoriamente ou sequencialmente não interferiu no processo de escolha.

A Figura 39 mostra os gráficos para as questões P3, P4 e P5. Estas questões analisam, respectivamente o quão convincente são o modelo mais magro (modelo 1), o modelo intermediário (modelo 5), e o modelo mais gordo (modelo 9) quanto à forma e proporções dos membros do corpo e quanto ao nível de obesidade que se deseja representar.

Figura 39 – Gráficos referentes às questões P3, P4 e P5.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Na questão P3 observa-se um bom nível de aceitação da versão mais magra do modelo da primeira criança sendo que somente 32,5% discordaram da coerência

da forma do corpo do modelo. Entretanto para a segunda criança observa um maior nível de discordância em relação ao primeiro modelo 45%, ressalta-se aqui, entretanto, que este é o modelo original (capturado). Isto mostra que o modelo gerado pelo sKanner3D foi melhor aceito do que o próprio modelo real (ver P3 na Figura 39). Para o modelo intermediário, analisado pela questão P4, houve uma alto nível de concordância para o primeiro modelo, o que não se refletiu na segunda criança sendo que somente 30% discordaram da criança 01 e 35% discordaram da criança 02. Em P5 houve um nível de concordância maior que 50% para a criança 1 e também maior que 50% de discordância para a criança 2. Nesta questão percebe-se uma discordância entre os respondentes que pode ser justificada pelo tipo de roupa utilizada pela segunda criança, o qual criou uma distorção da percepção na imagem do modelo mais gordo.

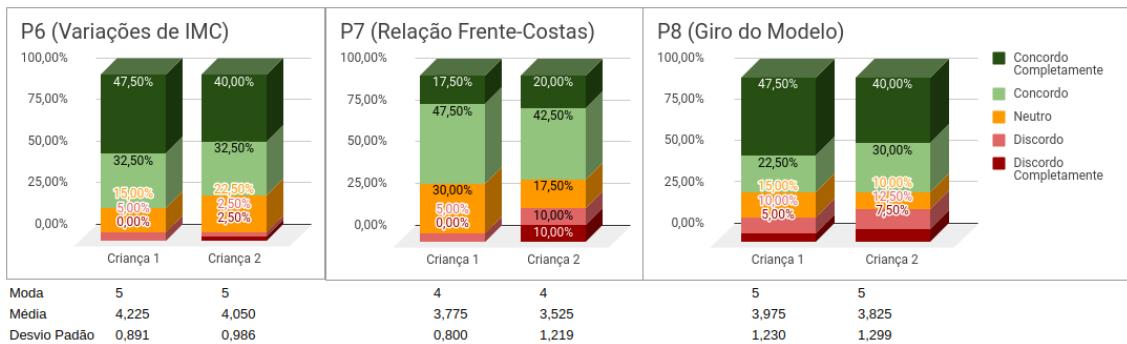
Os três gráficos apresentados na Figura 39 mostram uma tendência dos respondentes em concordarem mais com os modelos da criança 1 do que com os modelos da criança 2. Isso pode ser justificado pelo tipo de roupa que as crianças estavam usando durante o processo de escaneamento, o que pode 'enganar' a percepção em relação ao peso do modelo: na criança 1 a roupa está mais ajustada ao corpo e na criança 2 a roupa está mais folgada.

A Figura 40 mostra os gráficos para as questões P6, P7 e P8. No gráfico da P6 observa-se que apenas 5% dos respondentes discordam que os modelos apresentados das duas crianças representam estas crianças com variações em relação ao seu peso. Também na P7 uma pequena parcela julgou que as proporções frontal e posterior da criança não eram coerentes. E na P8 é analisado que o giro dos modelos permite analisar melhor a forma do corpo através de um giro 360º dos modelos da criança, sendo que 15% não concordaram para a criança 01 e 18% não concordaram com a criança 2.

Apesar da maioria dos respondentes estarem na faixa de concordância nas questões P6 e P7 que faz uma análise geral, ela não se refletiu nas questões P3, P4 e P5, que analisa os modelos específicos. Isso pode ser justificado pelos comentários dos próprios respondentes, conforme Apêndice E, na questão P9, em que identificou-se que a roupa da criança atrapalha a visualização das variações de tamanho dando uma sensação/distorção de ganho ou perda de peso, visto que nas escalas de silhuetas, costuma-se tirar todos os distratores, como roupas, detalhes em cabelos e rostos.

No Apêndice E são mostrados os comentários dos respondentes separados para os modelos de cada criança, os comentários foram organizados em três grupos: aspectos de captura, aspectos de deformação e aspectos de formulário a fim de entender onde se encontram os pontos falhos da ferramenta. Nesse sentido, observa-se que em ambas as crianças houve comentários relativos à parte de captura que ten-

Figura 40 – Gráficos referentes às questões P6, P7 e P8.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

dem a influenciar a avaliação das deformações. Como a questão P9 era opcional, dos 40 respondentes apenas 13 fizeram comentários aos modelos da criança 1 e 7 respondentes aos da criança 2.

Com base nestes resultados, apesar da análise subjetiva de modelos de humanos virtuais de crianças, o sKanner3D consegue simular variações de nível de obesidade e manter geometricamente a coerência da forma corporal.

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os experimentos e resultados obtidos pelo sKanner3D. No primeiro experimento, foram analisadas as deformações com relação à validação interna por parte da variação do volume dos modelos do SAPECO quanto ao de crianças escaneadas, com uma métrica objetiva.

No segundo experimento, as variações de modelos de 3 crianças foram avaliados por especialistas da área de percepção corporal para verificar o quão crível visualmente são os modelos gerados pelo sKanner3D, com uma métrica subjetiva.

Percebe-se que, pela análise objetiva, o validador é um importante componente para corrigir possíveis distorções/estouros do modelo geométrico. E também há uma dificuldade da avaliação subjetiva em avaliar os modelos.

Sugere-se que, no futuro, os formulários de avaliação devam contemplar:

- Modelos com roupas mais coladas ao corpo;
- Roupa igual e clara para todas as crianças;
- Cabelo presos se forem longos;

- Distribuir modelos próximos a outros mais distintos;
- Menor quantidade de variantes sendo apresentados aos respondentes;
- Que se inclua um 3º modelo próximo ao extremo mais gordo da escala de IMC.

## 6 DISCUSSÃO FINAL E CONCLUSÃO

Em vista às várias considerações ao processo de deformação que surgiram em consequência do desenvolvimento do sKanner3D, e principalmente a análise dos resultados obtidos através dos três experimentos realizados, se faz necessária um discussão sobre estes tópicos.

### 6.1 DISCUSSÃO

#### 6.1.1 Mapeamento sistemático e revisão da literatura

Através do mapeamento sistemático e revisão da literatura pôde-se concluir que a deformação de Humanos Virtuais, especificamente baseado em sua morfologia (ganho/perda de peso ou envelhecimento), se mostrou uma área carente e com espaço para o desenvolvimento de métodos para geração de modelos 3D com base em modelos escaneados e que o foco de aplicação dos trabalhos encontrados têm sido a área de animação.

Diante disso, este trabalho fez uma contribuição para a modificações na forma do corpo de modelos de humanos ao utilizar critérios anatômico de aspecto geral para realizar os processos de engorda e emagrecimento, tendo como base um modelo escaneado.

#### 6.1.2 Módulo de Captura do sKanner3D

Observou-se processos isolados quanto a captura de modelos 3D. Este trabalho conseguiu um processo de captura e escaneamento de uma pessoa com um único dispositivo *Microsoft Kinect V1.0* que tem como vantagem realizar um processamento automático e de baixo custo. Para realizar o escaneamento foi utilizado o sistema *Fast Avatar Capture* (SHAPIRO et al., 2014) e integrado a um novo sistema de *rigging* e mapeamento de textura.

Como o sistema de captura é sensível à pose, foi desenvolvido um tapete com marcações para guiar a movimentação da pessoa capturada, como visto na Figura 17. O sistema é sensível à iluminação, sendo recomendado um ambiente com luz controlada. Outra limitação é quanto à roupa da pessoa, roupas folgadas podem gerar erros durante a reconstrução da malha e atrapalhar o *rigging*.

### **6.1.3 Módulo de Deformação**

As deformações realizadas pelo sKanner3D são orientadas pela média dos dados antropométricos de crianças de 7 a 10 anos de idade que estão agrupados por IMC. Como não é possível calcular o peso virtual do modelo, a variação dos modelos foi testada internamente pelo volume total do modelo (inspirado no IVC) associado a uma determinada faixa de IMC.

A utilização de dados antropométricos associados aos níveis de obesidade do IMC e volume do modelo são necessários para estimar as deformações de cada parte do modelo e assim poder estimar a deformação global. Desta forma, é possível gerar modelos 3D com base em 9 grupos de níveis de obesidade, para ser aplicado a Testes de Satisfação da Imagem Corporal associados ao IMC, dentre outras aplicações.

Diante disso, a média de valores antropométricos e o uso do volume dos modelos no processo de geração de novos modelos tendem a gerar modelos críveis a partir de um modelo geométrico escaneado, através de um modo objetivo de realizar a validação dos modelos gerados. Isto foi comprovado pelos testes objetivos de volume entre os modelos gerados e os modelos de referência disponíveis (Figuras 30 e 32).

Os arquivos que contém a malha geométrica dos modelos exportados pelo sistema de captura ou de deformação do sKanner 3D podem ser importados na maioria dos softwares de modelagem 3D ou motores de jogos, bem como permitem a renderização no formato de imagem ou vídeo. E como já possuem um esqueleto, estão prontos para serem animados.

### **6.1.4 Avaliação**

Um ponto que pode ter influenciado na avaliação subjetiva, são os artefatos geométricos que não apareceram, como mudanças anatômicas que se ressaltam nos IMC dos extremos: na engorda tem-se as dobras da pele, suavidade nos contornos, influência da gravidade nas deformações, etc; e nos modelos magros, pele mais fosca, formato mais próximos aos dos ossos, ‘juntas’ ficam mais evidentes, dentre outras. Isto implica que uma visão detalhada do modelo é menos conveniente do que a visão geral, que normalmente é o foco do estudo sobre Percepção Corporal.

A maior rejeição dos extremos, pode também ser avaliada pela qualidade dos modelos capturados pelo Microsoft Kinect v1, visto que, em uma baixa resolução, qualquer movimento da pessoa durante a captura pode gerar uma malha com algumas imperfeições e assim ter essas imperfeições realçadas nos modelos dos extremos. Porém, considera-se suficiente que a pessoa escaneada se reconheça nos modelos através após a textura aplicada.

Outro ponto identificado, que poderia tornar o questionário mais coeso, seria ter incluído uma criança que se encaixasse em um nível de IMC mais alto, como nas posições 7 ou 8. Isto mostraria se realmente os respondentes do questionário, nas questões P1 e P2, foram tendenciosos ao escolher os modelos magros próximos ao centro, como os modelos originais (capturados) das crianças.

Percebe-se a dificuldade dos respondentes em responder devido à falta de consenso sobre a forma do corpo ideal para cada nível de obesidade. Isto sugere uma dificuldade de avaliação subjetiva deste tipo de técnica. Um ponto que justifica essa dificuldade é que as crianças capturadas estavam com roupas, e o padrão utilizado na área de percepção corporal são imagens cujas silhuetas das crianças estão em traje de banho.

## 6.2 CONCLUSÃO

Foi realizada uma pesquisa na literatura através da qual foram encontrados estudos que tratam do uso de técnicas de deformação da malha geométrica em humanos virtuais. Porém observou-se uma lacuna nos trabalhos que abordam uma deformação anatômica com base em alteração morfologia de aspecto geral, como níveis de obesidade.

O trabalho desenvolvido apresentou uma pesquisa sobre a geração de humanos virtuais baseados em critérios morfológicos para o processo de engorda e emagrecimento, ao utilizar modelos capturados com apenas uma única câmera RGBD, através de um sistema integrado de captura e deformação dos modelos 3D chamado sKanner3D. O sKanner3D é composto por duas etapas principais: captura de uma pessoa com *rigging* e mapa de textura; e geração de 9 modelos (1 capturado e 8 por engorda/emagrecimento) com distintos níveis de obesidade associados ao IMC.

Muitos estudos e ferramentas encontradas focam em tarefas de captura, textura, *rigging* de um modelo ou apenas a geração de multidões, como processos isolados ou não contemplam todos eles. A etapa de captura do sKanner3D, permite a geração de modelos tridimensionais a partir de pessoas escaneadas, geração de mapa de textura e *rigging* de modo automatizado e integrado. Os mesmos podem ser utilizados para qualquer propósito como, por exemplo animação, e serem importados pela maioria das ferramentas de modelagem ou motores do jogos. A etapa de deformação do modelo permite gerar variantes do mesmo modelo, com base em dados antropométricos associados ao IMC e volume de um modelo geométrico.

Desta forma, os resultados observados para o experimento objetivo e subjetivo, demonstram que a combinação dos padrões encontrados de variações antropométricas e variação de volume do modelo geométrico associados ao IMC, permitem

gerar modelos 3D que podem ser utilizado em testes de avaliação da imagem corporal. Entretanto, descobriu-se que avaliar subjetivamente o quanto crível são os modelos gerados pelas funções de engorda e emagrecimento, parece ser uma tarefa difícil.

Em relação à área de aplicação, o uso das técnicas de captura e deformação de humanos virtuais de forma automatizada e integrada traz benefícios a área de percepção corporal, ao utilizar a imagem da própria pessoa no lugar de imagens 2D ou modelos 3D genéricos.

As decisões tomadas para o projeto, entretanto, não devem ser entendidas como regras a se seguir para qualquer modelo capturado, visto que deve ser levado em consideração dados como etnia, idade e sexo. Estas podem ser alteradas pelos arquivos de configuração parametrizável, para o público que se deseja escanear e gerar suas variantes possam ser coerentes.

Assim, como resultado deste trabalho tem-se:

- a) Mapeamento sistemático da literatura sobre deformações do corpo humano em 3D (SILVA et al., 2016);
- b) Revisão da literatura sobre técnicas de deformação usadas em modelos 3D de humanos virtuais, e como elas podem contribuir para um processo de geração de diversidade baseado em aspectos fisiológicos do corpo, com uma proposta de classificação destas técnicas (SILVA et al., 2017);
- c) Software skanner3D funcional e gratuito (BALATKA et al., 2017);
- d) Implementação e validação do software gerador de variantes críveis baseados no IMC com validação interna de volume do modelo;
- e) Metodologia de avaliação quantitativa e instrumento de avaliação qualitativa do método de geração de variantes de humanos virtuais.
- f) Incorporação do skanner3D (captura e variação) em um software para avaliação de Percepção Corporal.

Dessa forma, a solução proposta considera uma deformação diferenciada para cada segmento do corpo e de forma distinta da frente para os outros lados do segmento, com base na conservação fisiológica do volume esperado (inspirado no IVC). O esquema do sKanner3D foi validado por especialistas, conforme dados apresentados na seção 5.3, e mostrou-se capaz de produzir modelos considerados críveis.

Assim a principal contribuição deste trabalho foi a parametrização do FFD com base em dados antropométricos e o volume corporal, orientado pela morfologia de aspecto geral. Tendo com aplicação a união de soluções de modo genérico e empírico pois há falta de dados e detalhes fenotípicos e antropométricos para poder reproduzir em modelos geométricos com fidelidade.

### 6.3 TRABALHOS FUTUROS

Existem várias direções que trabalhos futuros podem seguir, seja como trabalhos de Iniciação Científica ou Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), bem como pesquisas em nível de mestrado:

- Melhorar o processo de texturização utilizando de forma direta as 4 imagens obtidas pelo processo de captura para gerar o arquivo de mapa de textura;
- Aprimorar o sistema de identificação das juntas e *rigging* para realizar este processo independente da pose;
- Aprimorar o sistema de captura e *rigging* para pessoas com deficiência física(falta de um membro do corpo, por exemplo);
- Flexibilizar a pose da pessoa durante o escaneamento.
- Melhorar a fusão da malha durante o processo de reconstrução.
- Realizar uma pesquisa que envolva a identificação do somatotipo da pessoa escaneada e assim promover a deformação em função das características predominantes de cada indivíduo;
- Aprimorar o sistema para realizar o cálculo automático do IVC de cada segmento do modelo para os envolvidos além do IMC e Percepção Corporal.
- Inserir os efeitos de Gravidade no processo de deformação.
- Estender a ferramenta para outro grupos/ faixa etária diferentes.
- Realizar uma pesquisa na área de Percepção Corporal com o uso do sKanner3D e medir a sua eficiência em relação aos instrumentos utilizados (como os cartões com figuras 2D e SAPECO).

A nível de mestrado é possível realizar uma pesquisa de avaliação corporal para validar o sKanner3D como uma ferramenta aplicada para a área de Percepção Corporal além de estender a ferramenta para outros público e analisar o seu impacto frente a outros métodos já habituais desta área.



## REFERÊNCIAS

- ALEXIADIS, D. S.; ZARPALAS, D.; DARAS, P. Real-time, full 3-d reconstruction of moving foreground objects from multiple consumer depth cameras. **IEEE Transactions on Multimedia**, v. 15, n. 2, p. 339–358, Feb 2013. ISSN 1520-9210.
- ANDERSON, G.; AFTOSMIS, M.; NEMEC, M. Parametric Deformation of Discrete Geometry for Aerodynamic Shape Design. In: **50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. p. 1–18. ISBN 978-1-60086-936-5. Disponível em: <<https://doi.org/10.2514/6.2012-965>>.
- ANGUELOV, D. et al. Scape: Shape completion and animation of people. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, v. 24, n. 3, p. 408–416, jul. 2005. ISSN 0730-0301.
- AUBEL, A. Body deformations. In: **Handbook of Virtual Humans**. John Wiley & Sons, 2006. cap. 7, p. 140–160. ISBN 9780470023198. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/0470023198.ch7>>.
- BALATKA, M. V. L. et al. Captura completa de avatares com uma única câmera rgbd. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital**. Curitiba, PR: Sociedade Brasileira de Computação, 2017. v. 1, p. 146–153.
- BARAN, I.; POPOVIĆ, J. Automatic rigging and animation of 3d characters. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, v. 26, n. 3, jul. 2007. ISSN 0730-0301.
- BARNES, R. The body volume index (bvi): Using 3d scanners to measure and predict obesity. In: **Proceedings of the 1st International Conference on 3D Body Scanning Technologies**. 3D Body Scanning & Processing Technologies, 2010. p. 147–157. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15221/10.147>>.
- BLOM, K. J. et al. Achieving participant acceptance of their avatars. **Presence**, v. 23, n. 3, p. 287–299, Oct 2014.
- BOGO, F. et al. Faust: Dataset and evaluation for 3d mesh registration. In: **IEEE. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**. 2014. p. 3794–3801. ISSN 1063-6919. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.491>>.
- BOQUET, M. B. **Automatic and guided rigging of 3D characters**. Dissertação (Mestrado) — Master in Computing of Universitat Politècnica de Catalunya, 2008.
- BORREL, P.; RAPPOPORT, A. Simple constrained deformations for geometric modeling and interactive design. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, v. 13, n. 2, p. 137–155, April 1994. ISSN 0730-0301.
- BRAUN, H. et al. Crowdvis: a framework for real time crowd visualization. In: **ACM. Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing**. 2013. p. 989–995. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2480362.2480551>>.

BREITENBERGER, M. et al. Analysis in computer aided design: Nonlinear isogeometric b-rep analysis of shell structures. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 284, p. 401 – 457, 2015. Isogeometric Analysis Special Issue.

BRENDLER, C. F. et al. Uso da digitalização 3d do corpo humano para desenvolvimento de produtos personalizados: Análise comparativa entre os scanners artec eva e o kinect. **Estudos em Design**, v. 24, n. 2, 2016.

CARBONE, V. et al. Combination of a vision system and a coordinate measuring machine for the reverse engineering of freeform surfaces. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 17, n. 4, p. 263–271, 2001. ISSN 1433-3015.

CÓRTES, M. G. et al. O uso de escalas de silhuetas na avaliação da satisfação corporal de adolescentes: Revisão sistemática da literatura. **Cadernos de Saude Publica**, v. 29, n. 3, p. 427–444, 2013. ISSN 0102311X.

DANIELL, N.; OLDS, T.; TOMKINSON, G. Volumetric differences in body shape among adults with differing body mass index values: An analysis using three-dimensional body scans. **American Journal of Human Biology**, v. 26, n. 2, p. 156–163, 2014. ISSN 1520-6300. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ajhb.22490>>.

DENNING, P. J. Is computer science science? **Communications of the ACM**, v. 48, n. 4, p. 27–31, abr. 2005. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1053291.1053309>>.

EDEN, A. H. Three paradigms of computer science. **Minds and Machines**, v. 17, n. 2, p. 135–167, 2007. ISSN 1572-8641. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11023-007-9060-8>>.

FABIO, R. et al. From point cloud to surface: the modeling and visualization problem. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 34, n. 5, p. W10, 2003.

FENG, A.; CASAS, D.; SHAPIRO, A. Avatar reshaping and automatic rigging using a deformable model. In: **Proceedings of the 8th ACM SIGGRAPH Conference on Motion in Games - SA '15**. New York, NY, USA: ACM, 2015. (MIG '15), p. 57–64. ISBN 9781450339919.

FERRARI, E. P. **Construção e validação de um instrumento digital para avaliação da imagem corporal infantil**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016.

FOLEY, J. D. et al. **Computer graphics: principles and practice**. 2. ed. USA: Addison-Wesley, 1996. 1175 p. ISBN 020184846.

GELAIN, A. et al. Uma breve história da computação aplicada no brasil. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 6, n. 2, p. 123–135, 2014.

GERINA-BERZINA, A. et al. Anthropometric measurements of the body composition of cancer patients determine the precise role of the body surface area and the calculation of the dose of chemotherapy. **Papers on Anthropology**, v. 21, n. 0, p. 56–71,

2012. ISSN 1736-7646. Disponível em: <<http://ojs.utlib.ee/index.php/PoA/article/view/poa.2012.21.05>>.

GODIL, A.; GROTHER, P.; RESSLER, S. Human identification from body shape. In: IEEE. **Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 2003. (3DIM 2003). Proceedings.** 2003. p. 386–392. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/IM.2003.1240273>>.

HAEBERLI, P.; SEGAL, M. Texture mapping as a fundamental drawing primitive. In: **Fourth Eurographics Workshop on Rendering.** Eurographics, 1993. v. 259, p. 266. Disponível em: <<https://goo.gl/YHo1Md>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

HECKBERT, P. S. Survey of texture mapping. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 6, n. 11, p. 56–67, Nov 1986. ISSN 0272-1716.

HEINDL, C.; AKKALADEVI, S. C.; BAUE, H. Photorealistic Texturing of Human Busts Reconstructions. In: **Proceedings of the 7th International Conference on 3D Body Scanning Technologies.** Hometrica Consulting, 2016. p. 225–230. ISBN 9783033059818. Disponível em: <<http://www.3dbodyscanning.org/cap/abstracts/2016/16225heindl.html>>. Acesso em: 14 abril. 2017.

HOFFMANN, H. et al. iteach: Ergonomic evaluation using avatars in immersive environments. In: **Universal Access in Human Computer Interaction. Coping with Diversity: 4th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, UAHCI 2007, 2007, Proceedings, Part I.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 365–373.

HUANG, L.; GAO, C. Nonuniform Parametric Human Body Based on Model Reuse. In: **2014 5th International Conference on Digital Home.** IEEE, 2014. p. 406–411. ISBN 978-1-4799-4284-8. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6996797>>.

JIANG, B.; ZHAO, F.; LIU, X. Observation-oriented silhouette-aware fast full body tracking with Kinect. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 1, p. 209–217, 2014. ISSN 02786125.

JORSTAD, A. et al. Neuromorph: A toolset for the morphometric analysis and visualization of 3d models derived from electron microscopy image stacks. **Neuroinformatics**, v. 13, n. 1, p. 83–92, Jan 2015. ISSN 1559-0089. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12021-014-9242-5>>.

JUN, L. et al. Creating real body model of dressed human based on fat extent of body. **Multimedia Tools and Applications**, v. 74, n. 17, p. 6951–6966, 2015. ISSN 15737721.

KASAP, M.; MAGNENAT-THALMANN, N. Sizing Avatars from Skin Weights. In: **Proc. of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2009).** ACM, 2009. (VRST '09, 212), p. 4. ISBN 9781605588698. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICDH.2014.82>>.

KASAP, M.; MAGNENAT-THALMANN, N. Customizing & populating animated digital mannequins for real-time application. In: **Proceedings - 2010 International Conference on Cyberworlds, CW 2010**. IEEE, 2010. p. 368–374. ISBN 9780769542157. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/CW.2010.55>>.

KASAP, M.; MAGNENAT-THALMANN, N. Skeleton-aware size variations in digital mannequins. **Visual Computer**, v. 27, n. 4, p. 263–274, 2011. ISSN 01782789.

KAZHDAN, M.; BOLITHO, M.; HOPPE, H. Poisson surface reconstruction. In: **Proceedings of the Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing**. Eurographics Association, 2006. (SGP '06), p. 61–70. ISBN 3-905673-36-3. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1281957.1281965>>.

LAZARUS, F.; COQUILLART, S.; JANCÈNE, P. Axial deformations: an intuitive deformation technique. **Computer-Aided Design**, Elsevier, v. 26, n. 8, p. 607–613, 1994. ISSN 00104485.

LEMOS, R. R. et al. Modeling and simulating the deformation of human skeletal muscle based on anatomy and physiology. **Computer Animation and Virtual Worlds**, John Wiley & Sons, Ltd., p. 319–330, 2005. ISSN 1546-427X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/cav.83>>.

LIMA, J. et al. Conjunto de silhuetas para avaliar a imagem corporal de participantes de musculação. **Centro de estudos e pesquisas Sanny**, v. 1, n. 1, p. 26–30, 2008.

LIU, Y.; SUN, S.; XU, A. Axial Deformation Technology for Parameterized Mannequin Modeling. In: **Computer Science and Information Technology, 2008. ICCSIT '08. International Conference on**. IEEE, 2008. p. 415–420. ISBN 978-0-7695-3308-7. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2008.85>>.

LOVATO, C.; CASTELLANI, U.; GIACHETTI, A. Automatic segmentation of scanned human body using curve skeleton analysis. In: **Computer Vision/Computer Graphics Collaboration Techniques: 4th International Conference, MIRAGE 2009, Rocquencourt, France, May 4-6, 2009. Proceedings**. Berlin: Springer, 2009. p. 34–45. ISBN 978-3-642-01811-4.

MA, Y.; ZHENG, J.; XIE, J. Foldover-free mesh warping for constrained texture mapping. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 21, n. 3, p. 375–388, March 2015. ISSN 1077-2626.

MAGNENAT-THALMANN, N. **Modeling and simulating bodies and garments**. London: Springer Science & Business Media, 2010.

MAGNENAT-THALMANN, N.; SEO, H.; CORDIER, F. Automatic modeling of virtual humans and body clothing. **Journal of Computer Science and Technology**, v. 19, n. 5, p. 575–584, 2004. ISSN 1860-4749. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF02945583>>.

MAGNENAT-THALMANN, N.; THALMANN, D. **Handbook of Virtual Humans**. England: John Wiley & Sons, 2006. 1–443 p. ISBN 9780470023198.

MAO, A. et al. Easy and fast reconstruction of a 3d avatar with an rgb-d sensor. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 5, p. 1113, 2017.

MATSUO, R. F. et al. Imagem corporal de idosas e atividade física. **Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte**, v. 6, n. 1, 2007.

MODESTO, F. A. C. **Implementação de uma ferramenta para geração de movimentos parametrizados para humanos virtuais**. Dissertação (Mestrado) — Centro Universitário Eurípides de Marília, 2005.

MODESTO, F. A. C. et al. Humanos virtuais e avatares. In: **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. SBC, 2006. v. 8, cap. 6, p. 79–97. Disponível em: <<https://goo.gl/u9Vwzh>>.

MORTENSON, M. E. **Geometric modeling**. 3. ed. EUA: Industrial Press Inc., 2006. 505 p. ISBN 0831132981.

MURALIDHARA, D. Come 2020!; welcome body volume index!!; bye bye body mass index!!! **Integrative Obesity and Diabetes**, v. 2, p. 3, 2015.

NEBEL, J.-C. Soft Tissue Modeling from 3D Scanned Data. In: MAGNENAT-THALMANN, N.; THALMANN, D. (Ed.). **Deformable avatars**. Boston, MA: Springer, 2001. p. 85–97.

OLIVEIRA, J. F. et al. Animating scanned human models. In: **The 11th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2003 (WSCG'2003)**. UNION Agency—Science Press, 2003. Disponível em: <[http://wscg.zcu.cz/wscg2003/Papers\\_2003/J29.pdf](http://wscg.zcu.cz/wscg2003/Papers_2003/J29.pdf)>.

ORVALHO, V. et al. A facial rigging survey. In: **The 33rd Annual Conference of the European Association for Computer Graphics**. Eurographics, 2012. p. 183–204. Disponível em: <<https://goo.gl/UcPM8G>>.

PAGÉS, R.; BERJÓN, D.; MORÁN, F. Automatic system for virtual human reconstruction with 3d mesh multi-texturing and facial enhancement. **Signal Processing: image communication**, Elsevier, v. 28, n. 9, p. 1089–1099, 2013.

PARISY, O.; SCHLICK, C.; CRESPIN, B. Object-oriented reformulation and extension of implicit free-form deformations. In: **Deformable Avatars**. Boston: Springer, 2001. v. 68, p. 72–84.

PARK, J. et al. Realistic deformation of 3d human blood vessels. **Computer Animation and Virtual Worlds**, v. 24, n. 3-4, p. 317–325, 2013. ISSN 1546-427X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/cav.1510>>.

PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. **EASE'08 Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**, p. 68–77, 2008. ISSN 02181940.

REMONDINO, F.; EL-HAKIM, S. Image-based 3d modelling: A review. **The Photogrammetric Record**, Blackwell Publishing Ltd, v. 21, n. 115, p. 269–291, 2006. ISSN 1477-9730. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>>.

SAITO, S.; ZHOU, Z.-Y.; KAVAN, L. Computational bodybuilding. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, ACM, v. 34, n. 4, p. 41:1–41:12, 2015. ISSN 07300301.

SAVCHENKO, V.; PASKO, A. Shape Modeling. **Encyclopaedia of Computer Science and Technology**, v. 45, n. Supplement 30, p. 311–346, 2002.

SEDERBERG, T. W.; PARRY, S. R. Free-form deformation of solid geometric models. **ACM SIGGRAPH computer graphics**, ACM, v. 20, n. 4, p. 151–160, 1986.

SEO, H. Anthropometric Body Modeling. **Handbook of Virtual Humans**, Wiley Online Library, p. 75–98, 2006.

SEO, H.; MAGNENAT-THALMANN, N. An automatic modeling of human bodies from sizing parameters. In: **Proceedings of the 2003 Symposium on Interactive 3D Graphics**. USA: ACM, 2003. (I3D '03), p. 19–26. ISBN 1-58113-645-5. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/641480.641487>>.

SHAPIRO, A. et al. Rapid avatar capture and simulation using commodity depth sensors. **Computer Animation and Virtual Worlds**, v. 25, n. 3-4, p. 201–211, 2014.

SILVA, A. T. d. **Geração automática de populações de personagens virtuais**. Dissertação (Mestrado) — Mestrado em Computação Aplicada da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, 2005.

SILVA, G. C. et al. Uma revisão da literatura sobre a deformação do corpo: em busca do corpo perfeito. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital**. Curitiba, PR: Sociedade Brasileira de Computação, 2017. v. 1, p. 146–153.

SILVA, G. C. et al. Virtual Human Deformation: A Systematic Literature Mapping. In: **1º Simpósio Latino-Americano de Jogos**. Araranguá, SC: Slatjogos, 2016. v. 1, p. 146–153.

STEWART, T. M. et al. The development of the body morph assessment version 2.0 (bma 2.0): tests of reliability and validity. **Body Image**, Elsevier, v. 6, n. 2, p. 67–74, 2009.

STROUD, I. **Boundary Representation Modelling Techniques**. London: Springer Science & Business Media, 2006. 788 p. ISBN 978-1-84628-312-3.

THALMANN, D.; MUSSE, S. R. **Crowd simulation**. 2. ed. London: Springer, 2013. 1–296 p. ISBN 9781447144502.

TONG, J. et al. Scanning 3d full human bodies using kinects. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 18, n. 4, p. 643–650, April 2012. ISSN 1077-2626.

VIEIRA, R. C. C.; VIDAL, C. A.; CAVALCANTE-NETO, J. B. Manipulação corporal de personagens virtuais por deformações de medidas antropométricas. In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality**. SBC, 2010. p. 102–111. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/svr/2010/0014.pdf>>.

WANG, H. et al. Survey: Parameterized 3d human body modeling and geometric deformation technology. In: **2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design Conceptual Design**. [S.I.: s.n.], 2009. p. 1486–1493.

WAZLAWICK, R. S. Uma reflexão sobre a pesquisa em ciência da computação à luz da classificação das ciências e do método científico. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, v. 6, p. 3–10, 2010.

WERGHI, N. Segmentation and modeling of full human body shape from 3-d scan data: A survey. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, v. 37, n. 6, p. 1122–1136, Nov 2007. ISSN 1094-6977.

WINKELBACH, S.; MOLKENSTRUCK, S.; WAHL, F. M. Low-cost laser range scanner and fast surface registration approach. In: FRANKE, K. et al. (Ed.). **Pattern Recognition: 28th DAGM Symposium, Berlin, Germany, September 12-14, 2006. Proceedings**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. p. 718–728. ISBN 978-3-540-44414-5. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/11861898\\_72](http://dx.doi.org/10.1007/11861898_72)>.

ZHANG, Z. Microsoft kinect sensor and its effect. **IEEE MultiMedia**, v. 19, n. 2, p. 4–10, Feb 2012. ISSN 1070-986X.

ZHENGDONG, L.; SHUYUAN, S. Free-form deformation algorithm of human body model for garment. In: . IEEE, 2010. v. 11, p. 602–605. ISSN 2161-9069. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ICCASM.2010.5623135>>.

ZHOU, Z. et al. Image-based Clothes Animation for Virtual Fitting. In: **Digital Media**. USA: ACM, 2011. (SA '12, c), p. 1–6. ISBN 9781450317573.



## APÊNDICE A – PSEUDOCÓDIGOS

O algoritmo 1 mostra um pseudocódigo para o processo de engorda. tem-se como entrada a malha do modelo original, a posição deste que vai de 1 a 9, os fatores de deformação e os segmentos do corpo do modelo. Inicialmente é realizado uma cópia da malha do modelo original e calculado o seu volume.

---

### **Algoritmo 1: DEFORMAÇÃO**

---

**Entrada:** modeloOriginal, posicaoModelo, fatorDeformação, segmentos

**1** **início**

```

2   malhaCopy ← modeloOriginal.copy()
3   volume ← obterVolumeModelo(modeloOriginal)
4   para posicao ← (posicaoModelo + 1) até ultimaPosição faça
5     validacao ← False
6     fatorDeformModelo ← fatordeformação[posicao]
7     enquanto validação = False faça
8       para segmento ∈ segmentos faça
9         gerarGradeffd(segmento)
10        engordar(segmento, fatorDeformModelo[segmento])
11      fim
12      removeGradesffd()
13      volumeGerado ← obterVolumeModelo(modeloOriginal)
14      validação ← verificaVolume(posicao, volumeGerado)
15      se validação = True então
16        volume ← volumeGerado
17        exportarModelo()
18      fim
19      senão
20        fatorDeformModelo ← calcularAjuste(posicao, volumeGerado)
21      fim
22    fim
23  fim
24 fim

```

---

Depois é utilizado uma estrutura de repetição que realizará a engorda a partir do modelo original até o ultimo modelo. Para isto, é passado uma variável chamada validação como falso e identificado o vetor contendo os fatores de deformação para cada segmento, da matriz que contem os fatores de todos os modelos.

Enquanto a variável validação for falsa, são gerados as grades FFD para cada segmento do corpo e aplicado a função de engorda, passando o segmento e o fator de deformação deste. Com todos os segmentos engordados, é calculado o volume total do modelo e analisado se este é valido, com base. Esta validação analisa a diferença entre os volumes dos modelo

Se a variável validação tiver o valor alterado para verdadeiro, a variável volume recebe o volume do novo modelo; o modelo engordado é exportado e o próximo modelo mais gordo é gerado a partir do ultimo modelo gerado.

Caso a variável validação continue a ter o valor Falso, é realizado um ajuste nos fatores de deformação. Este ajuste analisa se o volume esperado, considerando a margem de erro de 10%, foi ultrapassado (volume máximo) ou falta a ser atingido (volume mínimo). Essa diferença é então utilizada para corrigir os fatores de deformação.

O algoritmo 2 realiza os mesmos procedimentos que a função de engorda para a função de emagrecimento, com a diferença de que é utilizada a malha “original”

copiada no início do algoritmo 1.

---

### **Algoritmo 2: DEFORMAÇÃO (CONTINUAÇÃO DO ALGORÍTIMO 1)**

---

```

1 início
2   modeloOriginal ← malhaCopy.copy()
3   volume ← obterVolumeModelo(modeloOriginal)
4   para posicao ← (posicaoModelo – 1) até PrimeiraPosicao faça
5     validacao ← False
6     fatorDeformModelo ← fatordeformação[posicao]
7     enquanto validação = False faça
8       para segmento ∈ segmentos faça
9         | gerarGradeffd(segmento)
10        | emagrecer(segmento, fatorDeformModelo[segmento])
11      fim
12      removeGradesffd()
13      volumeGerado ← obterVolumeModelo(modeloOriginal)
14      validação ← verificaVolume(posicao, volumeGerado)
15      se validação = True então
16        | volume ← volumeGerado
17        | exportarModelo()
18      fim
19      senão
20        | fatorDeformModelo ← calcularAjuste(volume, volumeGerado)
21      fim
22    fim
23  fim
24 fim

```

---



**APÊNDICE B – MODELOS GERADOS PELO SKANNER3D**



## APÊNDICE C – FORMULÁRIO PILOTO

### sKanner3D: Captura Corporal e Modelagem Automática Enriquecida

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezado(a), Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa “sKanner3D: Captura Corporal e Modelagem Automática Enriquecida” a qual está sendo conduzida pela discente Gabriel Caixeta Silva da Universidade do Estado de Santa Catariana (UDESC) sob a orientação dos Profs. Drs. André Tavares da Silva e Marcelo da Silva Hounsell.

O objetivo principal da presente pesquisa é analisar as percepções de especialistas e pesquisadores sobre a forma do corpo humano.

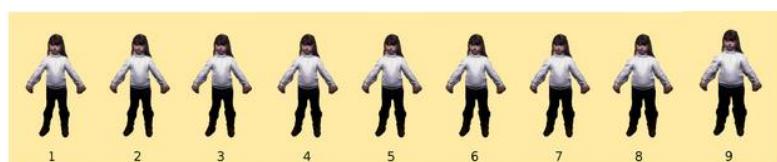
O preenchimento de todo o questionário deve levar aproximadamente 6 minutos. Os dados que serão coletados farão parte de um relatório geral de pesquisa e não serão utilizados individualmente para qualquer outra finalidade administrativa ou comercial. Ressalto que suas respostas serão anônimas. A qualquer momento durante o preenchimento dos questionários, assim como em momento posterior ou anterior à participação, você poderá entrar em contato com o pesquisador pelo endereço eletrônico: caixetasilva@hotmail.com.

- Ao consentir sua participação, você declara que autoriza a sua participação na pesquisa e que seus dados coletados serão utilizados como parte de um relatório de pesquisa científica.

Gabriel Caixeta Silva

---

Q1. Qual dos modelos apresentados na figura abaixo é a criança original?



Abaixo serão mostrados 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção a cerca do modelo 3D apresentado.



Q2. O modelo apresentado tem proporções críveis (aceitáveis) de uma menina de 6 anos.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q3. O modelo mais magro (o primeiro da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q4. O modelo mais gordo (o último da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q5. O giro dos modelos permite analisar melhor a forma do corpo.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q6. A variação corporal anteroposterior (frente-verso) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q7. Os modelos 3D apresentados representam uma criança com variações em relação ao seu IMC

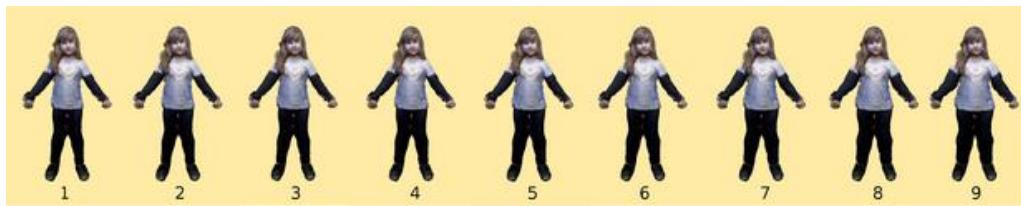
1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

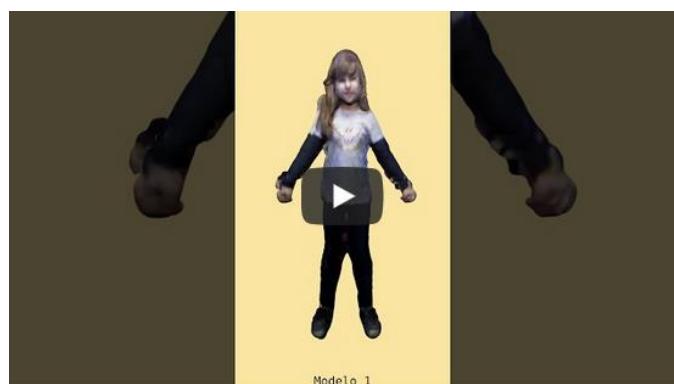
---

Q1. Qual dos modelos apresentados na figura abaixo é a criança original?

---



Abaixo serão mostrados 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção a cerca do modelo 3D apresentado.



Q2. O modelo apresentado tem proporções críveis (aceitáveis) de uma menina de 6 anos.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q3. O modelo mais magro (o primeiro da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q4. O modelo mais gordo (o último da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q5. O giro dos modelos permite analisar melhor a forma do corpo.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q6. A variação corporal anteroposterior (frente-verso) está coerente.

1 2 3 4 5

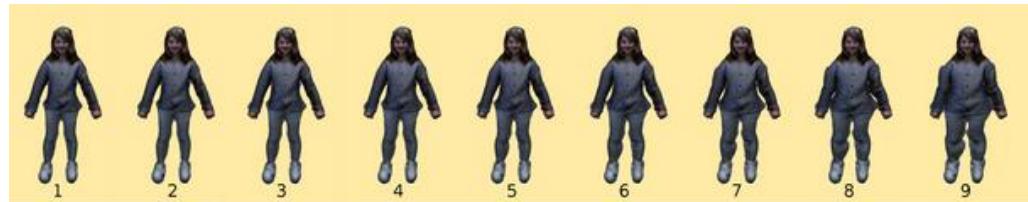
Discordo completamente      Concordo Completamente

Q7. Os modelos 3D apresentados representam uma criança com variações em relação ao seu IMC

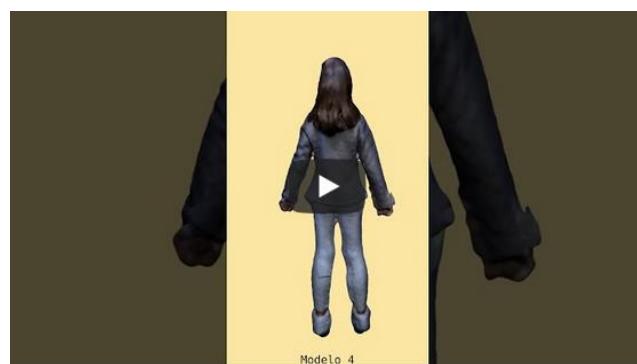
1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q1. Qual dos modelos apresentados na figura abaixo é a criança original?



Abaixo serão mostrados 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção a cerca do modelo 3D apresentado.



Q2. O modelo apresentado tem proporções críveis (aceitáveis) de uma menina de 6 anos.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q3. O modelo mais magro (o primeiro da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q4. O modelo mais gordo (o último da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q5. O giro dos modelos permite analisar melhor a forma do corpo.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q6. A variação corporal anteroposterior (frente-verso) está coerente.

1 2 3 4 5

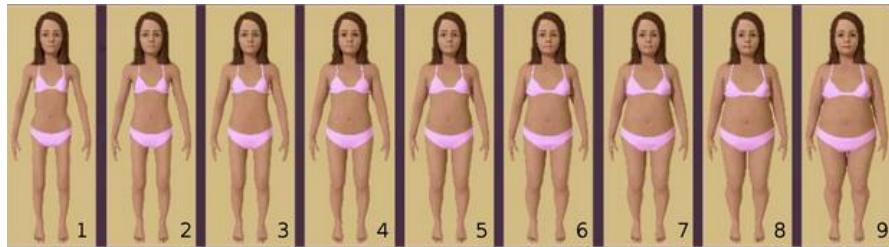
Discordo completamente      Concordo Completamente

Q7. Os modelos 3D apresentados representam uma criança com variações em relação ao seu IMC

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q1. Qual dos modelos apresentados na figura abaixo é a criança original?



Abaixo serão mostrados 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção a cerca do modelo 3D apresentado.



Q2. O modelo apresentado tem proporções críveis (aceitáveis) de uma menina de 6 anos.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q3. O modelo mais magro (o primeiro da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q4. O modelo mais gordo (o último da sequência) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q5. O giro dos modelos permite analisar melhor a forma do corpo.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q6. A variação corporal anteroposterior (frente-verso) está coerente.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

Q7. Os modelos 3D apresentados representam uma criança com variações em relação ao seu IMC

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo Completamente

---

### Dados Sociodemográficos e Profissionais

E-mail: \_\_\_\_\_

Sexo:

- Feminino
- Masculino

Idade: \_\_\_\_\_

Anos de Experiência Profissional: \_\_\_\_\_

Formação:

- Educador Físico
- Pediatra
- Fisioterapeuta
- Nutricionista
- Professor
- Outro: \_\_\_\_\_

Maior Nível de Formação: \_\_\_\_\_



## APÊNDICE D – FORMULÁRIO FINAL

### sKanner3D: Captura Corporal e Modelagem Automática Enriquecida

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Prezado(a), Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa “sKanner3D: Captura Corporal e Modelagem Automática Enriquecida” a qual está sendo conduzida pela discente Gabriel Caixeta Silva da Universidade do Estado de Santa Catariana (UDESC) sob a orientação dos Profs. Drs. André Tavares da Silva e Marcelo da Silva Hounsell.

O objetivo principal da presente pesquisa é analisar as percepções de especialistas e pesquisadores sobre a forma do corpo humano geradas automaticamente por computador.

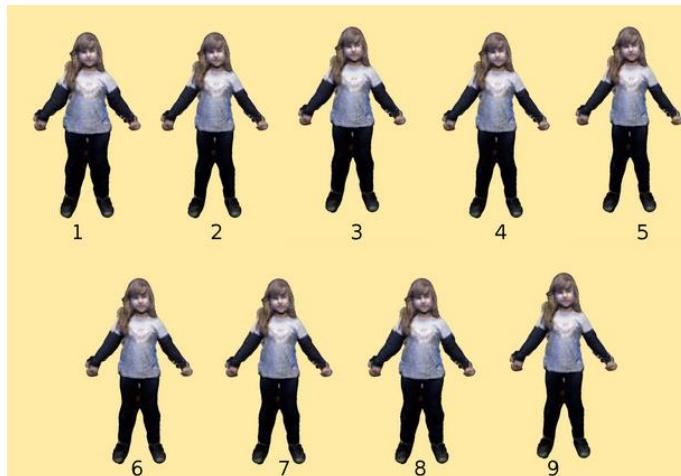
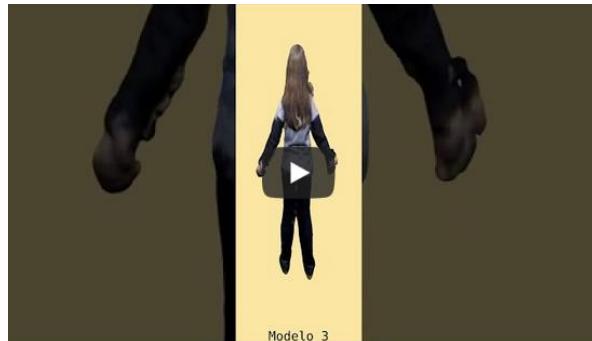
O preenchimento de todo o questionário deve levar aproximadamente 10 minutos. Os dados que serão coletados farão parte de um relatório geral de pesquisa e não serão utilizados individualmente para qualquer outra finalidade administrativa ou comercial. Ressalto que suas respostas serão anônimas. A qualquer momento durante o preenchimento dos questionários, assim como em momento posterior ou anterior à participação, você poderá entrar em contato com o pesquisador pelo endereço eletrônico: caixetasilva@hotmail.com ou gabriel.silva@edu.udesc.br.

- Ao consentir sua participação, você declara que autoriza a sua participação na pesquisa e que seus dados coletados serão utilizados como parte de um relatório de pesquisa científica.

Gabriel Caixeta Silva

---

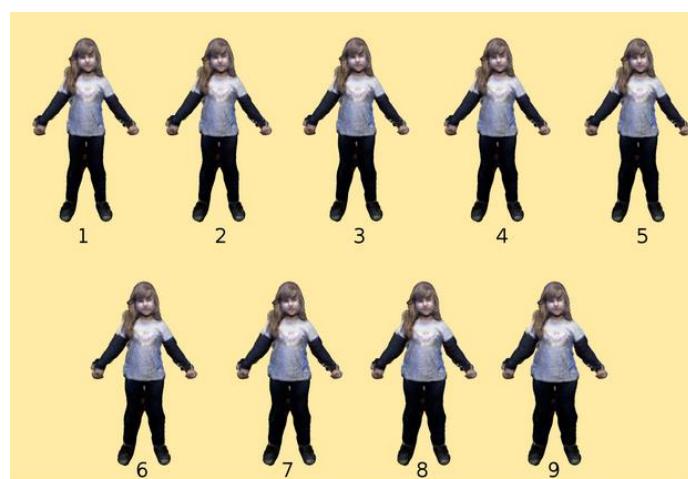
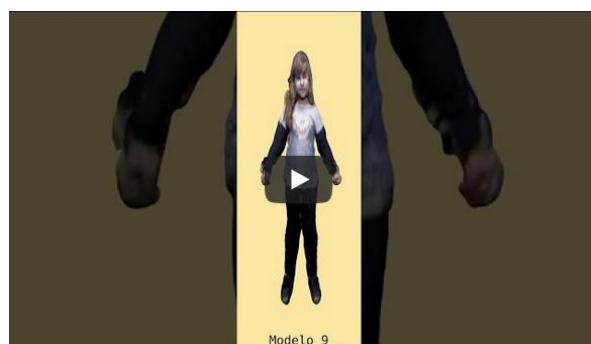
Abaixo serão mostradas 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança e será a base para as próximas perguntas. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção em relação a forma do corpo, a cerca dos modelos 3D apresentados.



P1. Qual dos modelos 3D apresentados no vídeo e na figura acima você acredita que é a criança real/original? (os outros foram gerados por computador)

---

Abaixo serão mostradas 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança e será a base para as próximas perguntas. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção em relação a forma do corpo, a cerca dos modelos 3D apresentados.



P2. Novamente, por favor, de acordo os modelos apresentados no vídeo e na figura acima indique qual dos modelos você acredita que seja o real/original? (os outros foram gerados por computador)

P3. Considerando o modelo abaixo como o mais magro da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente



P4. Considerando o modelo abaixo como o de nível intermediário da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente



P5. Considerando o modelo abaixo como o mais gordo da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente



P6. Considerando os modelos 3D apresentados anteriormente, entendo que eles representam modelos de crianças com variações em relação ao peso dela. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância:

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente

P7. A variação corporal antero-posterior (proporções e formatos entre as visões frente/costas) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância:

1 2 3 4 5

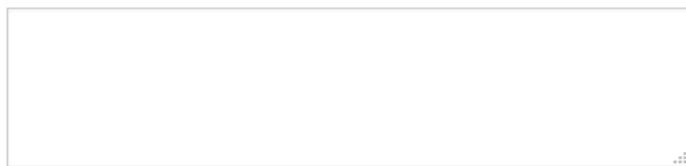
Discordo completamente      Concordo completamente

P8. O giro dos modelos, no vídeo, permite analisar melhor a forma do corpo. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância:

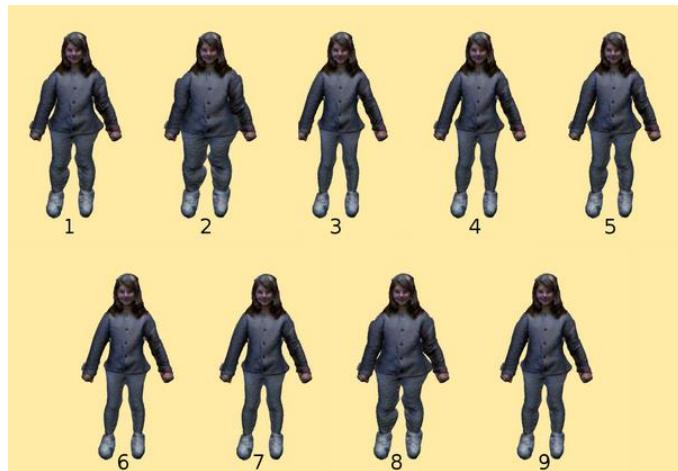
1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente

P9. Se quiser, deixe abaixo seus comentários sobre os modelos 3D apresentados.



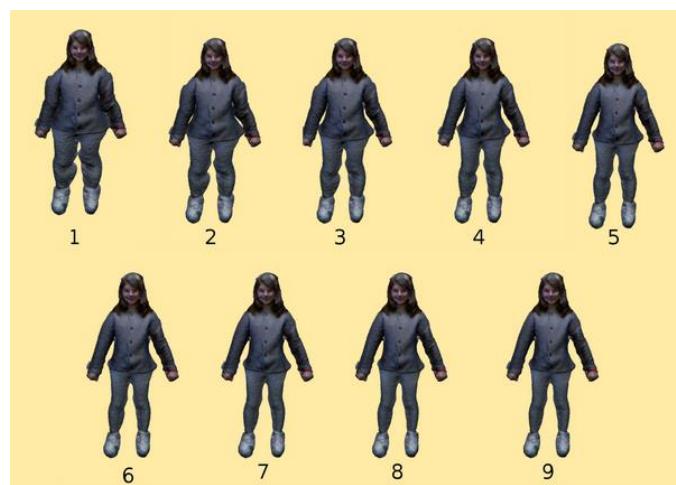
Abaixo serão mostradas 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança e será a base para as próximas perguntas. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção em relação a forma do corpo, a cerca dos modelos 3D apresentados.



P1. Qual dos modelos 3D apresentados no vídeo e na figura acima você acredita que é a criança real/original? (os outros foram gerados por computador)

---

Abaixo serão mostradas 9 variações de um mesmo modelo 3D escaneado de uma criança e será a base para as próximas perguntas. Com relação a cada afirmação, associada ao vídeo abaixo, você deverá escolher a resposta que melhor identifica a sua percepção em relação a forma do corpo, a cerca dos modelos 3D apresentados.



P2. Novamente, por favor, de acordo os modelos apresentados no vídeo e na figura acima indique qual dos modelos você acredita que seja o real/original? (os outros foram gerados por computador)

P3. Considerando o modelo abaixo como o mais magro da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente



P4. Considerando o modelo abaixo como o de nível intermediário da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente



P5. Considerando o modelo abaixo como o mais gordo da sequencia, pode-se dizer que a forma do corpo (proporções entre os membros, principalmente) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo seu grau de concordância.

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente



P6. Considerando os modelos 3D apresentados anteriormente, entendo que eles representam modelos de crianças com variações em relação ao peso dela. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância:

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente

P7. A variação corporal antero-posterior (proporções e formatos entre as visões frente/costas) está coerente. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância:

1 2 3 4 5

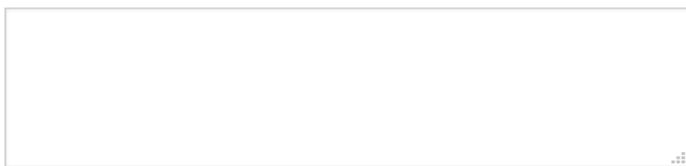
Discordo completamente      Concordo completamente

P8. O giro dos modelos, no vídeo, permite analisar melhor a forma do corpo. Para esta afirmação, marque abaixo o seu grau de concordância:

1 2 3 4 5

Discordo completamente      Concordo completamente

P9. Se quiser, deixe abaixo seus comentários sobre os modelos 3D apresentados.



---

#### Dados Sociodemográficos e Profissionais

E-mail: \_\_\_\_\_

Sexo:

- Feminino
- Masculino

Idade: \_\_\_\_\_

Formação:

- Educador Físico
- Pediatra
- Fisioterapeuta
- Nutricionista
- Outro: \_\_\_\_\_

Anos de Experiência Profissional: \_\_\_\_\_

Maior Nível de Formação: \_\_\_\_\_



## APÊNDICE E – COMENTÁRIOS DO QUESTIONÁRIO

Segue os comentários identificados para os modelos da criança 1:

- Aspectos da captura:

- Acredito que a roupa da criança atrapalha a visualização das variações de tamanho. Em escalas de silhuetas, costuma-se tirar todos os distratores, como roupas, detalhes em cabelos e rostos. Minha sugestão seria rever seu modelo;
- A roupa influencia na percepção das formas corporais. Se as figuras fossem apresentadas com roupas de banho, por exemplo, iria facilitar a visualização;
- Se a criança tiver cabelo mais curto e menos roupa (exemplo short e camiseta), dá pra ver bem mais a variação de peso. Esses elementos estão atrapalhando a visualização;

- Aspectos da deformação:

- Acredito que os membros inferiores das imagens mais magras não estão muito coerentes, pois parecem "mais gordos" que a parte superior;
- Não gostei. Principalmente o modelo mais obeso exagerou nos membros superiores;
- São verificadas mudanças na proporção dos membros de forma coerente. Contudo, o formato do rosto parece permanecer o mesmo. Caberia melhor proporção em relação ao rosto;
- Acredito que havia diferença de estatura e, portanto, de índice de massa corporal;
- Tentei me basear no tamanho do rosto, que ao meu ver, não se modificava. Acho as imagens confusas, não muito nítidas;
- Penso que poderão fazer um modelo mais magro. Tem crianças que apresentam uma magrela bem maior que representada nas figuras.

- Aspectos do formulário:

- Achei a imagem pequena, dificultando a visualização;
- Não é simples compreender e responder ao solicitado, tendo em vista os termos utilizados nos itens do instrumento e o tempo de visualização dos modelos;

- Acho muito relevante a sua pesquisa. Porem acho a forma de avaliar subjetiva;
- Minha escolha para figuras reais foi puro "chute", a definição é ruim no meu PC, e não tenho ideia... achei difícil ver as diferenças entre as figuras, muito sutil;

Segue os comentários identificados para os modelos da criança 2:

- Aspectos da captura:

- A roupa está dando uma sensação/distorção de ganho ou perda de peso. Sugiro utilizar roupa justa para avaliação;
- Esta figura parece que a roupa aumenta de tamanho e não a criança;
- Idem anterior: real "chute". Muito ruim esta imagem, roupa não favorece. para figuras que engordam está muito desproporcional, idem tenis/pé;

- Aspectos da deformação:

- "Na minha opinião, algumas figuras estão distantes do que se pode encontrar na realidade, principalmente as de maior peso (8 e 9); As roupas dificultam a percepção das formas corporais.";
- Também vejo problemas na projeção dos membros inferiores, pois eles distorcem a imagem, pois parece que o acumulo de gordura está nos membros inferiores;
- Falta maior adequação dos membros em relação à cabeça/rosto;
- A panturrilha ficou bem deformada ao aumentar o peso da criança.

**ANEXO A – MÉDIAS DAS MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS UTILIZADAS NO SAPECO**

Média das medidas de meninas											
Grupo	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Massa Muscular	Massa Gorda	Altura	Braço	Pulso	Tórax	Abdômen	Quadril	Coxa Média	Perna
1	13,5	19,50%	55,30%	130	16,13	12,16	58,63	53,06	62,58	30,87	23,50
2	15,1	29,80%	79,00%	130	18,21	12,61	60,92	57,29	67,90	34,39	25,81
3	17,3	34,70%	85,50%	130	20,11	13,10	64,95	62,35	72,76	37,39	27,01
4	18,8	39,50%	92,70%	130	21,99	13,59	69,00	67,40	77,60	40,39	28,21
5	20,7	31,50%	110,50%	130	22,89	14,00	73,30	72,19	79,90	42,50	29,91
6	22,2	24,20%	122,60%	130	23,30	14,20	80,09	75,57	81,81	43,79	31,60
7	24	16,90%	130,60%	130	24,99	14,40	83,00	80,64	89,30	45,01	33,00
8	26,5	12,10%	137,90%	130	27,01	14,50	85,00	84,59	91,01	48,30	35,00
9	29	9,70%	142,70%	130	28,99	15,39	89,16	89,24	96,88	51,99	36,99

Média das medidas de meninos											
Grupo	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Massa Muscular	Massa Gorda	Altura	Braço	Pulso	Tórax	Abdômen	Quadril	Coxa Média	Perna
1	13	28,90%	57,90%	131	16,86	12,94	60,52	54,13	65,57	33,98	23,51
2	15	21,80%	69,40%	131	17,80	13,20	61,72	56,80	66,70	35,29	25,70
3	17	35,50%	82,30%	131	19,70	13,50	65,81	61,31	70,20	37,40	27,60
4	19	38,70%	89,50%	131	20,70	13,90	67,69	63,79	74,49	40,39	31,00
5	21	32,30%	100,80%	131	22,60	13,99	68,10	69,20	78,00	41,79	31,10
6	23	24,40%	110,50%	131	24,20	14,50	70,00	71,30	80,20	42,70	32,00
7	25	14,50%	123,40%	131	25,70	14,81	74,50	74,00	84,30	44,19	34,20
8	27	8,10%	129,00%	131	27,20	15,00	76,34	79,49	86,11	48,40	35,89
9	30	8,10%	133,10%	131	29,00	15,74	79,33	85,12	90,30	51,36	37,21