

Nicolas Canale Romeiro

**DIGITALIZAÇÃO DE PEÇAS ANATÔMICAS PARA  
UTILIZAÇÃO EM MÍDIAS 3D**

Projeto de conclusão de curso  
submetido ao Curso de Design da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do Grau de Bacharel em  
Design

Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz Horn  
Vieira.

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Romeiro, Nicolas Canale

Digitalização de peças anatômicas para utilização em mídias 3D / Nicolas Canale Romeiro ; orientador, Milton Luiz Horn Vieira, 2018.

45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Comunicação e Expressão, Graduação em Design, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Design. 2. Digitalização 3D. 3. Anatomia. 4. Osteologia. I. Vieira, Milton Luiz Horn. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Design. III. Título.





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço principalmente aos meus pais por terem me dado todo o tipo de apoio que pudesse ser necessário, não só durante o semestre em que este trabalho foi desenvolvido, mas por toda minha vida.

Aos meus amigos, que sempre se mantiveram ao meu lado, principalmente aos que me mostram que podem ser criados laços quase familiares pela amizade.

Agradeço ao Laboratório de Anatomia do Departamento de Ciências Morfológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, que permitiu o uso das peças, sem as quais não existiria o projeto.

Ao DesignLAB/TECMIDIA, que me proporcionou conhecimento e permitiu a utilização de equipamentos essenciais para a realização do projeto. E a equipe do laboratório que sempre se dispunha a prestar assistência sempre que necessário em diversos assuntos.



## **RESUMO**

Com tecnologias de digitalização 3D mais acessíveis e presentes nas vidas das pessoas, este projeto visa abordar essa tecnologia de forma que possa ser útil em âmbito acadêmico. Neste projeto é realizada a digitalização de peças anatômicas em 3D com o objetivo que as mesmas sejam utilizáveis em mídias 3D desejável. Abordando de forma metodológica e bibliográfica os procedimentos para a realização do projeto.

**Palavras-chave:** Digitalização 3D. Anatomia. Osteologia.





## **ABSTRACT**

With 3D scanning technologies more accessible and present in people's lives, this project aims to approach this technology in a way that can be useful in academic terms. In this project the scanning of anatomical parts in 3D is carried out with the purpose of being used in any desired 3D media. Approaching methodologically and bibliographically the procedures for the realization of the project.

**Keywords:** 3D digitalization. Anatomy. Osteology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de corte na malha(esquerda) e planificação da malha em objeto tridimensional(direita). .....	20
Figura 2: Estante no Laboratório de Anatomia onde são guardadas as peças. ....	23
Figura 3: Peças com coloração escurecida (esquerda) e peças com coloração clara (direita).....	24
Figura 4: Scanner ATOS Compact Scan 5M. ....	25
Figura 5: Úmero com pontos de referência colados, com ponto de referência em detalhe.....	26
Figura 6: Objeto posicionado sob a área de captura do scanner (luz azul). ...	27
Figura 7: Digitalização de um fêmur utilizando a lente MV600 (esquerda) e com o conjunto MV150 (direita) .....	28
Figura 8: Seleção de captura em vermelho, correspondente ao resultado de uma medição.....	29
Figura 9: Janela de diálogo da ferramenta “fechar furos automaticamente”	30
Figura 10: resultado da re-triangulação em malha originada do scanner. ....	31
Figura 11: Janela de diálogo da ferramenta retopologia. ....	33
Figura 12: Opções do modificador Unwrap UVW. ....	35
Figura 13: Resultado da seleção de arestas para corte na malha. ....	36
Figura 14: Ordem das ferramentas utilizadas para planificação da malha após o corte .....	37
Figura 15: malha planificada após a utilização da ferramenta “ <i>Quick peel</i> ”. ....	37
Figura 16: vértice fixado.....	38
Figura 17: render do modelo da peça Vertebra T-XI versão escaneada.....	40
Figura 18: Render do modelo da peça Vertebra T-XI em <i>high poly</i> (esquerda) e <i>low poly</i> (direita).....	40
Figura 19: mapa UVW do modelo <i>high poly</i> da peça Vertebra T-XI .....	41
Figura 20: Mapa UVW do modelo <i>low poly</i> da peça Vertebra T-XI .....	41



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo geral.....	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Delimitações do projeto .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Relevância social.....	17
2.2 Escaneamento 3D .....	18
2.3 Malha tridimensional.....	18
<b>2.3.1 Mapeamento da malha .....</b>	<b>19</b>
2.4 Exportação e importação do modelo 3D .....	20
2.5 Objetos escaneados. ....	20
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 Escaneamento.....	21
3.2 Correção de erros .....	21
3.3 Pós-Processamento.....	22
3.4 Texturização .....	22
<b>4 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>23</b>
4.1 Colhimento das peças.....	23
4.2 O scanner 3D.....	24
<b>4.2.1 Preparação para escaneamento .....</b>	<b>25</b>
4.3 Escaneamento.....	26
4.4 Pós processamento .....	30
4.5 Retopologia .....	32
4.6 Mapeamento.....	34
<b>5 RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>44</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de digitalização tridimensional, consiste de transformar objetos reais em modelos digitais 3D. Já utilizada na área de animação e game design, como para animação facial, por exemplo, permite maior realismo nas expressões apresentadas pelo personagem. Dentro do universo de jogos digitais, pode também ser utilizada para apresentar intérpretes reais de maneira digital com maior nível de fidelidade. Já existindo equipamentos acessíveis para o usuário final realizar este tipo de animação. (WEISE *et al.*, 2011)

Com tecnologias de escaneamento tridimensional se tornando cada vez mais comuns, acessíveis (BERNADINI; RUSHMEIER, 2002, P. 149) e com diversas possibilidades de aplicação, como por exemplo, na área da medicina, podendo ser utilizado para escaneamento de arcadas dentárias para uso posterior na odontologia (D'APUZZO, 2006). E Andrade (2015) apresentando a utilidade de aplicativos digitais para ensino de anatomia humana para estudantes de ciências médicas.

Este trabalho trata de um projeto de conclusão de curso de Graduação em Design da Universidade Federal de Santa Catarina. O autor pretende digitalizar, por meio de escaneamento 3D, peças anatômicas humanas, o projeto será realizado em parcerias com o Laboratório de Anatomia do Departamento de Ciências Morfológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, com o objetivo de criar modelos tridimensionais que sejam utilizáveis em mídias 3D.

Para realizar este objetivo será feita uma revisão bibliográfica, buscando entender quais procedimentos são mais efetivos para a tarefa pretendida. E para efetivar a digitalização das peças será aplicada uma adaptação da metodologia apresentada por Bernadini e Rushmeier (2002), consistindo no escaneamento, correção de erros e pós processamento do modelo obtido.

O presente documento será estruturado em 7 capítulos. Este primeiro consistindo da introdução, objetivos e delimitações do projeto. O segundo apresentando a revisão bibliográfica realizada. O terceiro irá expor os procedimentos metodológicos seguidos para a realização do projeto. O quarto descreverá o desenvolvimento do projeto. O quinto capítulo mostrará alguns dos resultados obtidos ao fim do desenvolvimento. E o sexto capítulo contendo a conclusão e considerações finais.

Como gerar materiais de estudo de anatomia humana de alta resolução para ensino que possam ser aplicados em sistemas imersivos?

## 1.1 Objetivo geral

O objetivo do projeto é utilizar e adaptar a metodologia de Bernadini e Rushmeier (2002) para geração de peças anatômicas em 3D.

## 1.2 Objetivos específicos

Para cumprimento do objetivo geral, o projeto se dividiu nas etapas de:

- Adquirir modelos utilizando scanner 3D;
- Avaliar o modelo adquirido frente ao objeto real;
- Criar banco de modelos tridimensionais de osteologia humana para acervo.

## 1.3 Delimitações do projeto

Para realização dos objetivos de projeto foram impostas limitações dentro do mesmo. Não serão abordados a digitalização de peças anatômicas de tamanho reduzido, que não conseguem ser captadas pelo scanner, uma vez que esse processo é feito por meio de modelagem. E não será realizada a texturização e pintura das peças prontas.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Relevância social

Escaneamento tridimensional é uma tecnologia já conhecida, se tornando cada vez mais acessível, com diversos produtos com esse fim no mercado. Existem empresas que já disponibilizam funções de digitalização tridimensional integrado em smartphones, como a Sony, por exemplo.

D'Apuzzo apresentou em 2006 um artigo mostrando os diferentes tipos de scanner e também diversos dos seus usos, como herança cultural, podendo ser utilizado para escaneamento de esqueletos de dinossauros. Para indústrias, com o uso para engenharia reversa, digitalizando partes de ferramentas, e também para ciências médicas, dando como exemplo a digitalização de moldes odontológicos.

Herança cultural representa um grupo estabelecido de usuários de sistemas de medições 3D ópticos uma vez que a característica de não contato da tecnologia apresenta um papel relevante. Na verdade, a digitalização 3D sem contato de objetos históricos oferece muitas vantagens para sua preservação. Primeiramente, o objeto pode ser analisado sem que seja tocado e, conseqüentemente, sem danificá-lo. Em segundo lugar, pode-se estabelecer uma base de dados de objetos antigos ou históricos. Terceiro, os objetos digitalizados podem ser vistos por um número maior de pessoas através da criação de museus digitais. (D'APUZZO, 2006, p.6, tradução nossa).

Um grupo de pesquisadores (Levoy, M. et al, 2000) da universidade de Stanford, em 2000, fizeram a digitalização da escultura Davi, de Michelangelo, onde um dos objetivos era conseguir realizar a digitalização com fidelidade o suficiente para distinguir as marcas dos formões utilizados pelo escultor.

Andrade (2015) quando abordando a utilização de ilustrações para o ensino de anatomia, concluiu que comparando com um cadáver, as figuras são dissonantes da realidade observada em estudos com peças reais. Quando este apresentou um protótipo de plataforma digital em forma de aplicativo, reproduzindo peças anatômicas em 3D, em comparação de grupos, o grupo que utilizou o aplicativo como material de apoio apresentou resultados melhores do que os que utilizaram-se de ilustrações em livros.

Pode-se perceber que o escaneamento 3D pode ser muito abrangente e útil em diversas áreas e diversos fins. Especificamente a digitalização de peças anatômicas pode ser útil para eventual forma de apoio a educação de anatomia, principalmente quando se leva em conta a precisão da representação resultante do scanner.

## 2.2 Escaneamento 3D

Equipamentos de escaneamento 3D podem ser grosseiramente divididos em duas categorias, os com e sem contato. Scanners com contato físico, mostram uma fidelidade muito grande, porém muitas vezes não compensando sua utilização devido ao tempo necessário para realização da digitalização. Os sem contato são equipamentos que não necessitam de contato físico para realização da digitalização, e podem, ainda, ser divididos em dois tipos, os de visão ativa e os de visão passiva, com os de visão ativa necessitando de uma fonte de luz concentrada adicional, enquanto os de visão passiva fazem o escaneamento apenas com imagens capturadas pelas câmeras do equipamento. Esse tipo de captura consiste em as câmeras do equipamento tirando fotos e identificando os pontos correlacionados, e então gerando uma topologia (PERES, 2013).

Existem diversos equipamentos para a digitalização tridimensional de objetos físicos, cada um com suas características específicas. A maior parte dos scanners 3D do mercado utilizam-se da triangulação, onde normalmente é projetada luz sobre o objeto a ser digitalizado e sensores captam a luz refletida. A partir desses dados cria-se uma nuvem de pontos com coordenadas X, Y e Z. O software gera, a partir desses dados, uma malha composta por polígonos triangulares seguindo a forma da superfície do objeto sendo digitalizado (BERNARDINI; RUSHMEIER, 2002).

Scanners 3D de projeção de padrões de luz, como o utilizado neste projeto, são comumente compostos por câmeras e um projetor de luz. Normalmente são compactos e podem ser facilmente movidos. O projetor lança um padrão de luz sobre a área onde o objeto está e as câmeras captam a cena. Uma das desvantagens desse tipo de scanner é o fato de não ser automatizado, necessitando que, o scanner ou o objeto, seja movido ou rotacionado durante cada fase da captura. (D'APUZZO, 2006)

## 2.3 Malha tridimensional

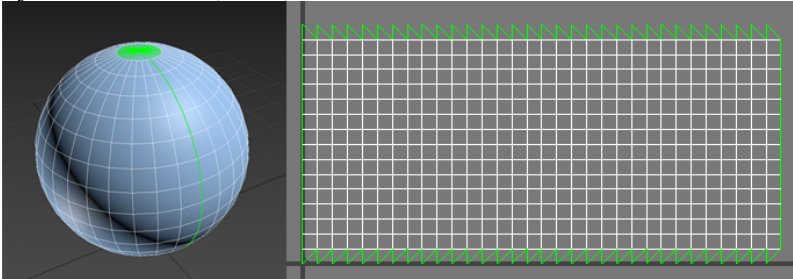
Uma malha tridimensional é a estrutura de um objeto 3D, composta pela disposição de Vértices, Arestas e faces poligonais distribuídos em um espaço de coordenadas X, Y e Z. Onde os vértices são pontos dentro dessas coordenadas, a união de dois pontos é uma aresta e a união de três ou quatro arestas compõem, respectivamente, um polígono de três ou quatro lados. A organização desta malha forma uma topologia. (BARROS, 2012)

Após o escaneamento ser concluído, o resultado é uma malha composta por polígonos triangulares. Essa malha é posteriormente transformada em uma malha de polígonos quadriláteros, esse processo é chamado de retopologia. A transformação da malha original em uma nova malha com polígonos quadriláteros é necessária pois segundo Andaló (2015), para utilização em games, por exemplo, a malha deve ser o mais leve possível, uma malha leve é uma que não apresente uma *hardware* densidade exagerada e que não exija configurações irrealistas de, e também por ter uma facilidade maior de ser trabalhada. Esse processo é feito utilizando a função “retopologia” no software Autodesk MudBox, que é o programa de escultura digital da empresa, oferecendo ferramentas que possibilitam diferentes tipos de alterações na malha.

### **2.3.1 Mapeamento da malha**

Pela natureza do projeto, de tornar os resultados utilizáveis em qualquer mídia 3D, o mapeamento da malha se torna necessário. Softwares 3D contam com diversas opções para tal. O mapeamento consiste em criar um mapa com coordenadas UVW, para que assim seja possível texturizar o objeto por meio de imagens bidimensionais. O método utilizado é o apresentado por Andaló (2015), como o recomendado para personagens em jogos, foi o de fazer cortes na malha para assim planifica-la. O corte e planificação da malha é exemplificado na Figura 1.

Figura 1: Exemplo de corte na malha(esquerda) e planificação da malha em objeto tridimensional(direita).



Fonte: O autor.

## 2.4 Exportação e importação do modelo 3D

A exportação consiste em salvar um arquivo de modo que ele possa ser utilizado em outro software mantendo suas características. A parte seguinte, que seria a da importação se faz possível pelo formato do arquivo, identificado pela extensão do mesmo, ser compatível ao do software que vai ser utilizado para a próxima etapa do processo. Os softwares utilizados permitem, na função de exportação, definir o formato de saída desejado.

## 2.5 Objetos escaneados.

Para realização do projeto, os objetos físicos escolhidos para digitalização foram ossos humanos, disponibilizados para fim de pesquisa pelo Laboratório de Anatomia do Departamento de Ciências Morfológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, que atuou como parceiro no presente projeto. A escolha do objeto se deu pelo motivo da existência de um projeto de pesquisa no DesignLAB/TECMIDIA que utiliza dos modelos escaneados. Para a classificação das peças anatômicas, foi utilizada a nomenclatura presente no Atlas de anatomia humana, de Frank H. Netter (2014), que é a classificação utilizada no curso de medicina da UFSC.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados para este projeto se baseiam nos procedimentos apresentados por Bernadini e Rushmeier (2002). Os autores apresentam 4 etapas para a aquisição de modelos tridimensionais provenientes de escaneamento: Escaneamento, Correção de erros da malha, pós processamento e texturização. Para melhor resultado no projeto, essa metodologia foi adaptada para adequar-se aos equipamentos disponíveis ao autor e também aos objetivos do projeto. Bernadini e Rushmeier (2002) também abordam a necessidade de alinhamento de capturas para integração da digitalização, o que não vai ser abordado de forma metodológica no presente projeto uma vez que o scanner escolhido faz essa tarefa de forma automática.

Mesmo tendo sido apresentado em 2002, quando o estado da arte era diferente do atual, os procedimentos expostos seguem conceitualmente válidos, apenas com as sugestões de tecnologia sugeridas pelos autores sendo ultrapassadas.

#### 3.1 Escaneamento

Para uma boa seção de capturas é necessário um conhecimento do equipamento a ser utilizado e fazer as preparações, como calibragem e preparação do objeto. Bernadini e Rushmeier (2002, p.151) enfatizam a necessidade de alinhamento de diferentes capturas para construção do objeto. Falam também sobre a utilização de mapas de textura para auxílio na digitalização da superfície da peça escaneada.

O equipamento utilizado no presente projeto, o scanner ATOS 5M Compact Scan, já faz o alinhamento de capturas subsequentes automaticamente, o que torna o alinhamento manual desnecessário. A textura da superfície também é captada facilmente pelo scanner devido a sua resolução.

#### 3.2 Correção de erros

Após a etapa de escaneamento, Bernadini e Rushmeier (2002, p.155) falam da necessidade de checagem de erros ocasionados por possível falta de precisão do scanner, falha na calibragem ou possível ruído na captura. Os autores sugerem análise da sobreposição das capturas.

Para a abordagem neste projeto é realizada primeiro uma checagem visual, comparando a peça escaneada com o modelo apresentado, e após,

utilizando a ferramenta de detecção e correção de erros presente no software utilizado durante a digitalização, que corrige erros e imperfeições no modelo, em seguida é feita nova checagem visual.

### 3.3 Pós-Processamento

Bernadini e Rushmeier (2002, p.158) abordam o pós processamento dizendo que o mesmo se mostra necessário para melhor adequar o modelo resultante para a aplicação desejada. Os autores abordam a simplificação da malha e o mapeamento do modelo.

Durante a produção deste projeto, a pós-produção foi dívida em mais etapas, no quesito de redução e suavização da malha. E para a adaptação da malha, Bernadini e Rushmeier (2002, p. 158) apresentam NURBS (B-Splines racionais não uniformes), uma tecnologia baseada em modelos matemáticos para controlar curvas atribuindo pesos aos pontos da curva (LOYOLA, F. M. 2017), e métodos de subdivisão de malha como opções, no caso deste projeto, foi utilizada a retopologia para esse fim. Onde a topologia é o resultado da organização da malha tridimensional, a retopologia refaz a topologia da forma que o usuário necessita.

### 3.4 Texturização

A texturização por Bernadini e Rushmeier (2002, p.159) engloba a textura da superfície, cor e acabamento. Para os autores, o acabamento mais fino da superfície também é considerado textura, como mapas de resolução e mapas de normais. Também abordam a variação em relação a iluminação da textura, uniformidade espacial e direcional da textura, entre outras coisas relacionadas a mesma.

O presente projeto não realiza os procedimentos para obtenção das texturas, como extração de mapas e pintura de mapas UVW, uma vez que foge dos objetivos propostos.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção do documento foi abordada e explicada a aplicação dos procedimentos metodológicos previamente citados. Abordando também as etapas de colhimento das peças e preparação pré-escaneamento.

### 4.1 Colhimento das peças

O colhimento das peças anatômicas é feito em parceria ao Laboratório de Anatomia da UFSC (Figura 2), onde um técnico responsável, juntamente com o autor selecionam as peças mais adequadas a serem escaneadas. Sendo a participação do autor no processo somente para a parte de julgar a coloração da peça para melhor captação pelo scanner, enquanto o técnico responsável seleciona as peças pela sua integridade e analisa possíveis anomalias que poderiam ser prejudiciais ao resultado final da digitalização.

Figura 2: Estante no Laboratório de Anatomia onde são guardadas as peças.



Fonte: PRIM, G, et al (2018).

A participação do autor na escolha das peças é importante uma vez que foi observado que o scanner tem dificuldade de captar objetos mais escuros, levando mais tempo para a realização do escaneamento,

enquanto peças mais claras não apresentavam esse problema. Apesar de que algumas peças eram únicas ou todas as disponíveis apresentavam uma coloração não muito adequada para o scanner. Embora não ser impeditivo à digitalização, torna o processo mais difícil. (Figura 3). No caso de peças mais escuras, o procedimento adotado é o aumento de tempo de exposição das câmeras do scanner, o que ocasionalmente poderia gerar algum erro por movimentação do equipamento, uma vez que ele necessita se manter completamente estático durante a medição.

Figura 3: Peças com coloração escurecida (esquerda) e peças com coloração clara (direita).



Fonte: o autor.

Devido ao caráter dos objetos a serem digitalizados, existe a necessidade de formulários serem preenchidos e assinados por responsáveis dos laboratórios envolvidos com a pesquisa, neste caso, o Laboratório de Anatomia e o DesignLAB. Após o colhimento das peças devidamente selecionadas, estas são separadas através de sacos de papel, e identificadas com o respectivo nome da peça, no qual, são então levadas ao DesignLAB, onde o scanner se encontra.

#### 4.2 O scanner 3D

O scanner utilizado no projeto foi o ATOS Compact Scan 5M (Figura 4), da empresa GOM. Um scanner, como mencionado anteriormente, de medição ótica. O scanner conta com uma tecnologia de *Blue light*, o que o torna menos sensível a variação de luz ambiente, uma vez que utiliza sua própria fonte de luz. A resolução máxima do escaneamento é de 0.017mm (distância mínima entre dois pontos no escaneamento). (PRIM, G. et al. p.2)



Figura 4: Scanner ATOS Compact Scan 5M.



Fonte: PRIM, G, et al (2018).

O scanner foi escolhido pela sua disponibilidade imediata no laboratório e pela familiaridade do autor com o equipamento em questão. A alta fidelidade apresentada nos resultados (PRIM, G. et al, 2018 p.12), também foi um fator relevante para a escolha do equipamento, tendo uma boa resolução, o que torna muito confiável devido à natureza das peças e também ao fato de os ossos apresentarem diversos tamanhos. E existe a vantagem do nível de detalhes muito alto apresentado no resultado do escaneamento.

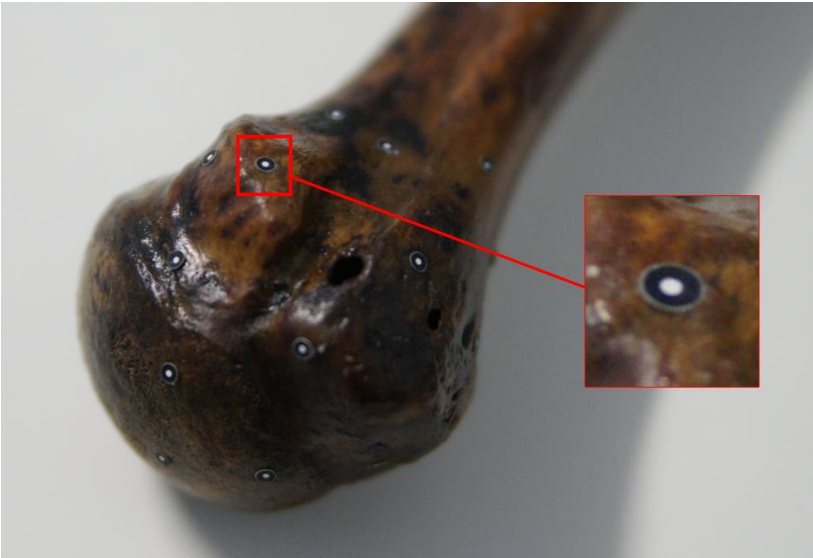
#### **4.2.1 Preparação para escaneamento**

Para o escaneamento poder ser realizado, são necessárias algumas preparações tanto do scanner quanto das peças. Para o caso do scanner, é necessário fazer uma calibragem do equipamento, o que é facilmente realizado seguindo as instruções do próprio software utilizado. O equipamento não costuma perder a calibração facilmente, o que faz que esse processo não seja necessário todas as vezes que seja utilizado. O equipamento também precisa de que, sempre que for ser usado, um tempo de 30 minutos para esquentar o sensor até a temperatura certa, essa é uma etapa que é necessária toda vez que o equipamento seja ligado, não sendo

possível pular essa parte. Porém, uma vez ligado e esse tempo passado, não são necessárias novas preparações.

Para a preparação dos objetos a serem digitalizados, pelo fato do scanner fazer a digitalização baseando-se na localização de pontos, se torna necessário que sejam colados pontos de referência na superfície da peça a ser escaneada. (Figura 5).

Figura 5: Úmero com pontos de referência colados, com ponto de referência em detalhe.



Fonte: o autor.

Esses pontos de referência são necessários para que o scanner identifique a localização de pontos diferentes no espaço, para que assim seja possível realizar a triangulação e montar os polígonos que compõe o modelo tridimensional.

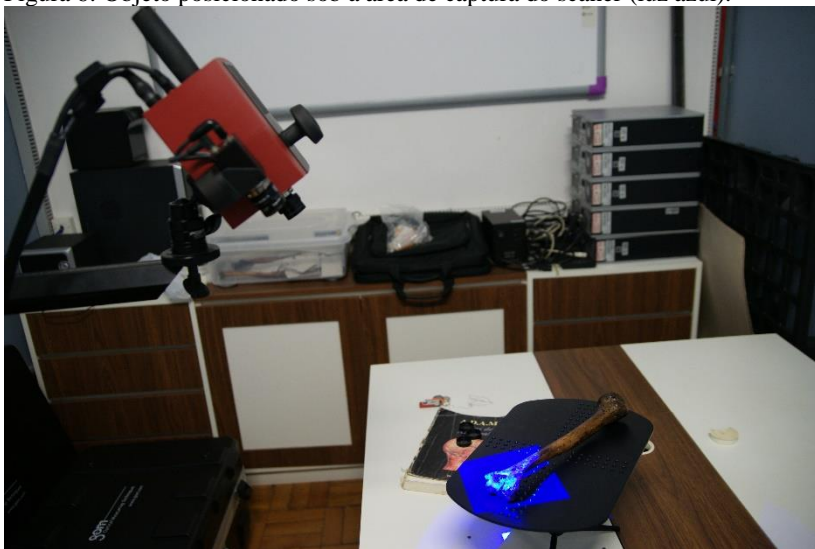
#### 4.3 Escaneamento

Após as preparações serem feitas e concluídas, o escaneamento é possível, deixando o objeto com os pontos de referência já colados na área de captação do scanner, como mostrado na figura 6. O funcionamento do scanner durante o processo de digitalização é feito por fotos tiradas das duas câmeras presentes no equipamento, que triangulam a distância entre os pontos captados. As fotos são obtidas pelo acionamento dentro do

software usado, que assim que acionado, lança as cristas de luz sobre a área de captura enquanto as câmeras tiram as fotos para digitalização. O software utilizado nessa parte do processo é o ATOS Professional, da empresa GOM, também produtora do scanner utilizado.

Quando ocorre de a peça a ser escaneada ser maior do que a área de captação, é necessário que o objeto seja movido entre uma foto e outra. Porém, para a captura de novas imagens ser efetiva após o objeto ser movido ou rotacionado é necessário que, pelo menos 3 pontos de referência presentes em alguma das capturas realizadas anteriormente ainda sejam visíveis as câmeras presentes no equipamento.

Figura 6: Objeto posicionado sob a área de captura do scanner (luz azul).



Fonte: o autor

O scanner em questão foi disponibilizado com dois conjuntos de lentes, um dos conjuntos apresenta uma área de captura de 600x600mm (conjunto MV600), enquanto o outro apresenta área de captura de 150x150mm (conjunto MV150). Testes passados realizados com as diferentes lentes foram feitos para comparação de resultados (PRIM, G. et al, 2018, p.5). Os resultados desse teste podem ser observados na figura 7.

Figura 7: Digitalização de um fêmur utilizando a lente MV600 (esquerda) e com o conjunto MV150 (direita)



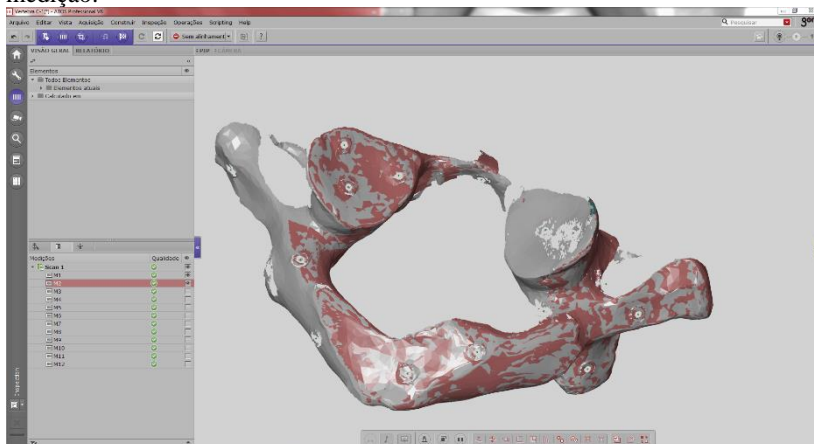
Fonte: PRIM, G, et al. (2018).

Como observado na imagem, a lente com menor área de captura apresenta um maior nível de detalhes, quando comparada com a alternativa. Apesar de o volume não apresentar discrepâncias, o nível de detalhamento muito superior, conseguindo captar até mesmo as menores ranhuras na peça, levou o conjunto de lentes MV150 ser escolhido para a realização do projeto.

Para o escaneamento ocorrer com uma fluidez maior e haver um menor ocorrência de falhas na captura da superfície, é necessário que tanto o objeto e o equipamento mantenham-se completamente imóveis durante a captura, caso não ocorra, o software mostra um diálogo de erro dizendo que o objeto se moveu e aconselha a descartar a captura e realizá-la novamente. Como descrito no item 3.1, peças mais escuras deixam o processo mais demorado, porém não impossível, muitas vezes a solução é aumentar o tempo de exposição da câmera para o equipamento conseguir capturar a superfície de forma satisfatória.

Durante o processo, a cada foto tirada, o resultado é apresentado na tela, em cor diferente das capturas anteriores, como apresentado na figura 8. À medida que novas capturas são realizadas, o modelo vai se formando, até que se complete a digitalização com a peça totalmente digitalizada.

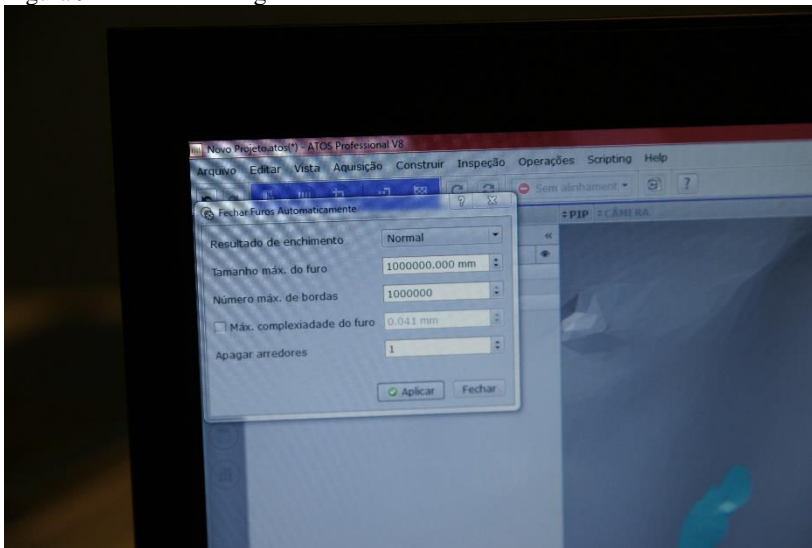
Figura 8: Seleção de captura em vermelho, correspondente ao resultado de uma medição.



Fonte: O autor.

Ocasionalmente a malha resultante, por mais que esteja completa, apresenta alguns furos e erros, erros são dificilmente percebidos visualmente, furos por outro lado sim. Para contornar esses problemas, contamos com as ferramentas “Eliminar erros da malha” e “Fechar furos automaticamente”, presentes no software utilizado. A janela de diálogo da ferramenta “Fechar furos automaticamente” pode ser observada na figura 9.

Figura 9: Janela de diálogo da ferramenta “fechar furos automaticamente”



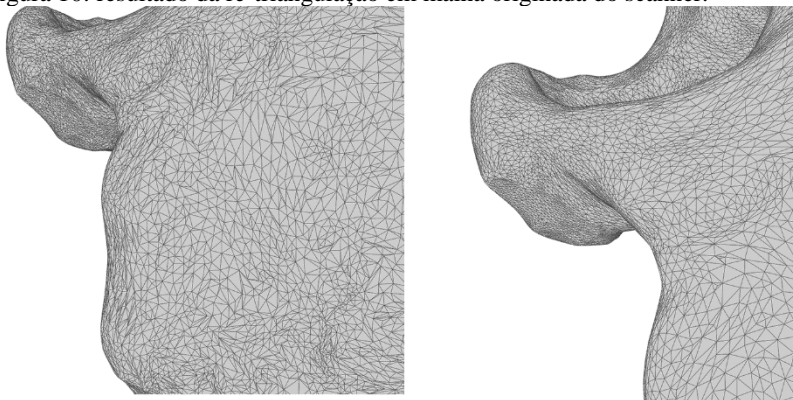
Fonte: o autor

Depois de todo o processo finalizado, o projeto é então concluído, utilizando uma ferramenta do software para converter as medições em uma única malha. Após todos os passos anteriores serem concluídos, a malha é então exportada no formato .stl para novo processamento.

#### 4.4 Pós processamento

Com o objeto já digitalizado e exportado, é necessário em seguida importa-lo em outro software para fazer que a malha fique mais fácil de ser lida em outros programas. No caso do presente projeto, o programa utilizado é o Autodesk ReCap Photo, da empresa Autodesk, essa ferramenta serve para que não ocorram erros ou congelamentos nos programas utilizados em passos futuros. Neste programa são utilizadas as ferramentas de re-triangulação e de correção de malha, na figura 10 podemos ver o resultado da re-triangulação. A ferramenta de re-triangulação reorganiza automaticamente os triângulos da malha, enquanto a de correção de malha corrige erros, como buracos e artefatos.

Figura 10: resultado da re-triangulação em malha originada do scanner.



Fonte: o autor

A pesar de a diferença entre as malhas não ser tão evidente, a reorganização da malha faz com que ela seja mais facilmente lida em outros softwares. A outra ferramenta utilizada, a de correção de malha, é utilizada para corrigir possíveis falhas originadas da reorganização da malha original, de forma parecida com o funcionamento da ferramenta de correção apresentada no item anterior. Muitas vezes, no entanto é necessário que se faça esse passo mais de uma vez para garantir que a malha esteja adequada para usos futuros.

Esta parte do projeto é essencial devido ao fato de que se o modelo resultante do scanner for diretamente importado ao software responsável pela retopologia e redução de malha, erros podem ocorrer, alguns modelos com um número menor de triângulos ocasionalmente não apresentam problemas, porém na maior parte das vezes, sim. Essa etapa de pós-processamento também é importante para que não ocorram erros de congelamento, levado pela complexidade do arquivo.

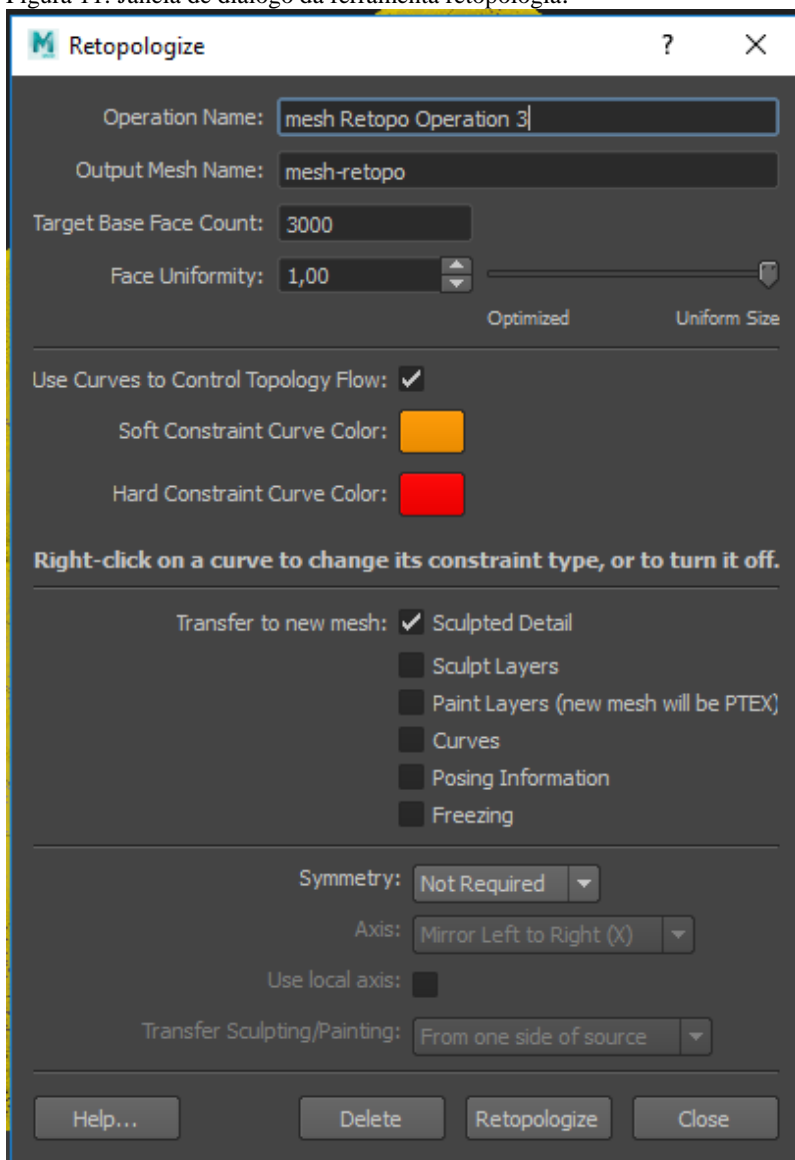
Ao final deste processo, o modelo está pronto para ser exportado e então ser utilizado em outros softwares e serem feitos os próximos passos. Nesta parte, o formato de exportação é .OBJ, para ser utilizado no software Autodesk MudBox, também da empresa Autodesk.

#### 4.5 Retopologia

Após o pós processamento, o modelo é então importado para o software MudBox, da empresa Autodesk. No Mudbox, com o modelo com resolução total já importado, é utilizada a ferramenta “retopologia”, que transforma a malha composta por triângulos em uma malha de polígonos quadriláteros. A janela da ferramenta de retopologia pode ser observada na figura 11.



Figura 11: Janela de diálogo da ferramenta retopologia.



Fonte: o autor.

Como mostrado na figura 11, existe a opção de definir o número de faces desejadas, e da uniformidade de faces. O valor para a

uniformidade de faces utilizado foi de 0,95, por apresentar um resultado melhor em relação a valores diferentes testados previamente.

Nesta parte do processo são feitas 2 operações de retopologia, uma para que se resulte em um modelo com polígonos quadriláteros em uma malha com alta densidade (*High Poly*), e um modelo também apresentando polígonos de quatro lados, porém em uma malha de baixa densidade (*Low Poly*). Enquanto o modelo de alta densidade tenha uma redução de detalhes comparado ao modelo original vindo do scanner, ainda pode-se perceber um alto nível de detalhes, enquanto o modelo de baixa densidade, apresenta uma visível falta de detalhes, porém mantém a silhueta geral e volume do original. A execução de duas operações tem como objetivo ampliar o uso dos modelos, o modelo *high poly* por exemplo, por ter um número maior de polígonos, necessita de maior poder de processamento do computador para utilização, o que não é problema se utilizado isoladamente, porém pode apresentar problemas se for utilizado em conjunto com outros modelos de alta densidade de malha. Os modelos de baixa densidade podem ser utilizados em conjunto, uma vez que necessitam de menor poder de processamento para serem lidos, o que é uma vantagem se a ausência de detalhes não for tão necessária, e seja desejado utilizar vários modelos em conjunto.

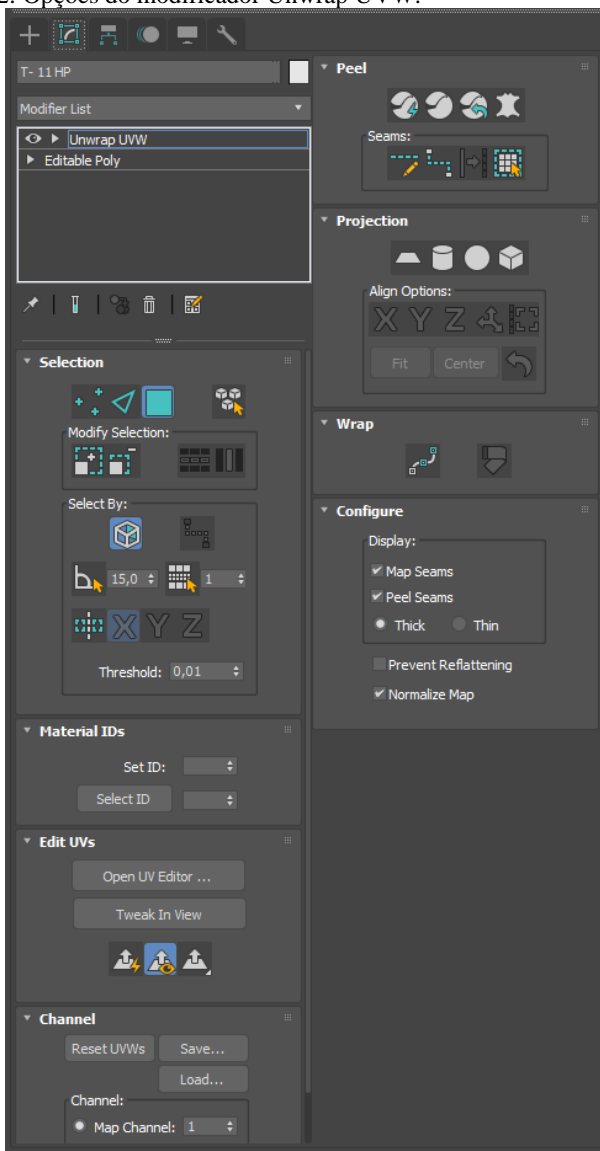
Ocasionalmente, ocorrem erros durante o processo em que a malha resultante da operação de retopologia apresenta buracos, esses buracos são resolvidos posteriormente, no software 3DS Max, antes de se realizar o mapeamento. Ao fim de todo o processo, é feita a exportação dos modelos individualmente para processamento posterior.

#### 4.6 Mapeamento

O modelo proveniente da retopologia é então importado para o software 3DS Max, da empresa Autodesk para ser mapeado. O mapeamento é necessário para que o arquivo final possa ser pintado ou texturizado corretamente caso o fim desejado necessite deste recurso.

A primeira parte do processo é selecionar o modelo desejado e adicionar o modificador “*Unwrap UVW*”, tal modificador permite que sejam feitos cortes na malha para planificação. As opções do modificador podem ser observadas na figura 12.

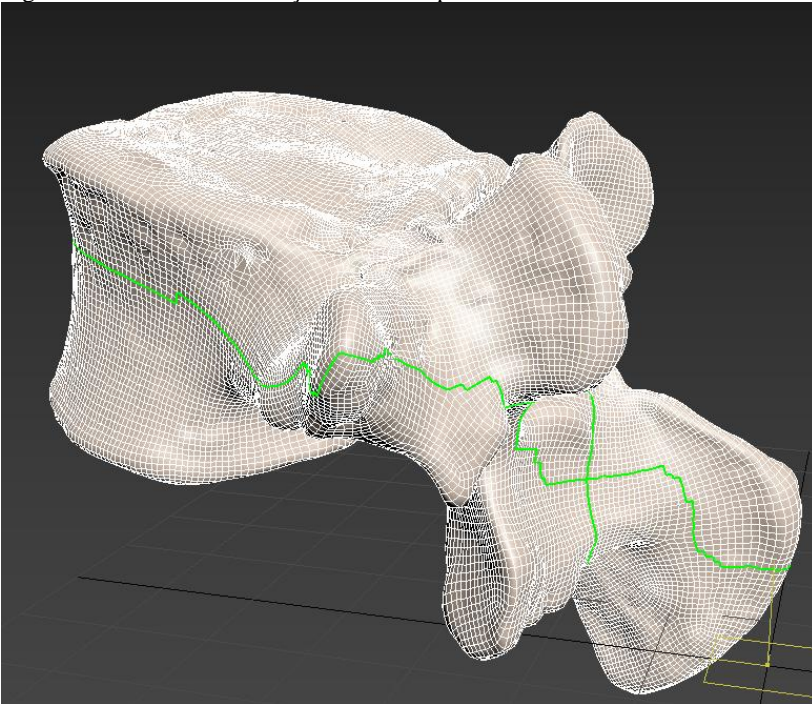
Figura 12: Opções do modificador Unwrap UVW.



Fonte: o autor.

Para a execução do mapeamento, é utilizada a ferramenta de seleção de arestas, para que sejam selecionadas arestas de forma que as duas pontas se conectem e assim possa ocorrer o corte e a planificação da malha de forma satisfatória. O resultado da seleção de arestas é apresentado na figura 13.

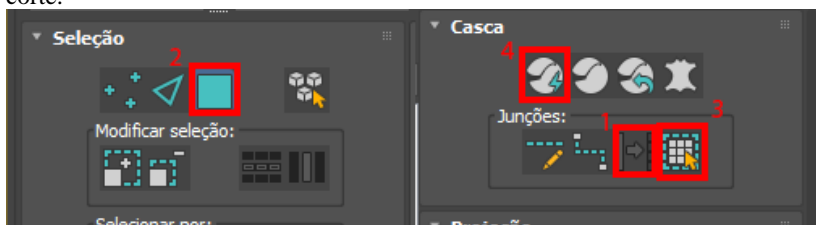
Figura 13: Resultado da seleção de arestas para corte na malha.



Fonte: o autor.

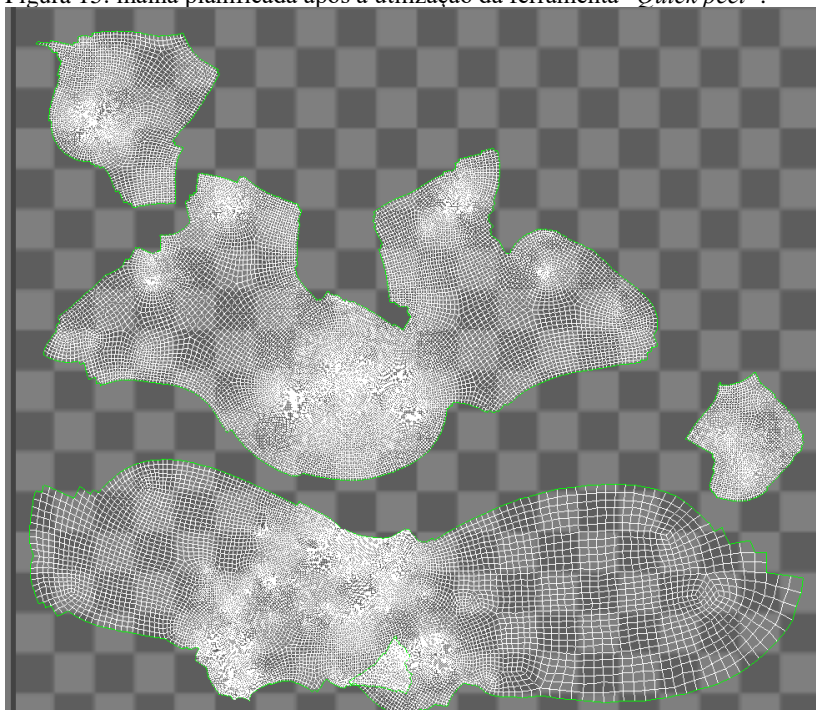
Após a seleção, é utilizada a ferramenta “Converter seleção de aresta para junção”, isso faz com que a malha seja cortada onde existe a seleção. Após, utilizando a seleção de polígono, seleciona-se um polígono qualquer e se usa a ferramenta “expandir seleção de polígonos até a junções”, para então a ferramenta “*Quick peel*” ser utilizada e fazer a planificação da malha. A ordem dos processos pode ser observada na figura 14 e o resultado na figura 15.

Figura 14: Ordem das ferramentas utilizadas para planificação da malha após o corte.



Fonte: o autor.

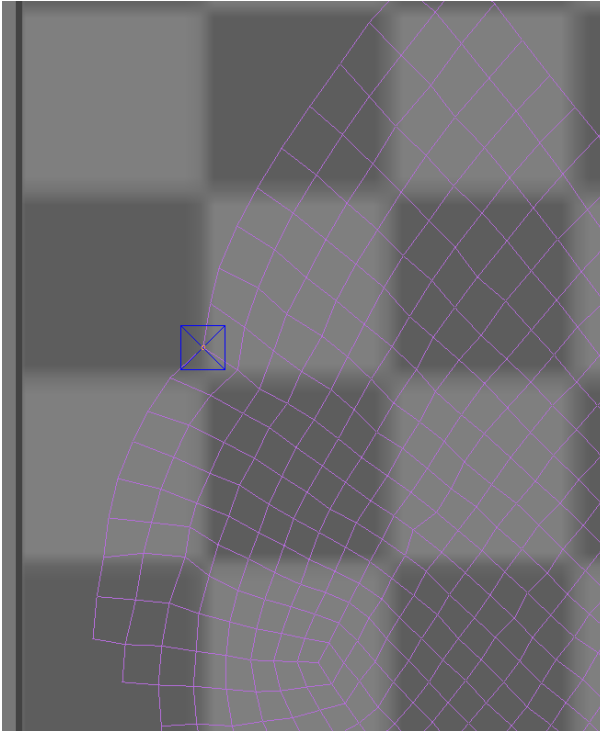
Figura 15: malha planificada após a utilização da ferramenta “Quick peel”.



Fonte: o autor.

Como percebido na figura 15, a planificação inicial ocasionalmente não traz um resultado ideal, o que torna necessário que sejam feitos ajustes manuais. Os ajustes são feitos habilitando o “*peel mode*” e, com a seleção de vértices, movendo vértices fixados (Figura 16), que são vértices que movem partes da malha planificada.

Figura 16: vértice fixado.



Fonte: o autor.

Movimentando o vértice fixado, faz com a região seja deformada, afetando outras regiões da malha não fixadas.

Após a planificação da malha ter sido feita e ajustada, é feita checagem por polígonos sobrepostos, o que pode atrapalhar na texturização ou pintura, utilizando uma ferramenta do programa que verifica a existência se sobreposição.

Com o mapeamento finalizado, o modelo é então exportado em formato .fbx, e já está pronto para ser utilizado, podendo ou não ser texturizado ou pintado, caso o uso desejado faça ser necessário.

## 5 RESULTADOS OBTIDOS

Como resultado do projeto, depois de se seguir e atualizar a metodologia inicialmente apresentada, foi realizado a digitalização de 48 peças pelo autor, por meio do escaneamento 3D. Sendo os modelos resultantes referente ao membro superior:

- Úmero
- Escapula
- Clavícula
- Semilunar
- Piramidal
- Pisiforme
- Captado
- Escafoide
- Trapezoide
- Metacarpos I-V
- Falanges proximais I-V
- Falanges medias II-V

Da região do torso:

- Vertebra cervicais I-VII
- Vertebra torácicas I-XII
- Vertebra lombares I-V
- Costela II

No momento de início de projeto, o membro inferior já havia sido digitalizado.

Como demonstração de resultado, a Figura 18 mostra uma imagem renderizada da peça Vertebra T-XI sem modificações de malha, a figura 19 mostra a mesma peça em suas versões *high poly* e *low poly*, a Figura 20 o mapa extraído do modelo com malha de alta densidade, e a Figura 21 o mapa extraído do modelo com malha de baixa densidade.

Figura 17: render do modelo da peça Vertebra T-XI versão escaneada

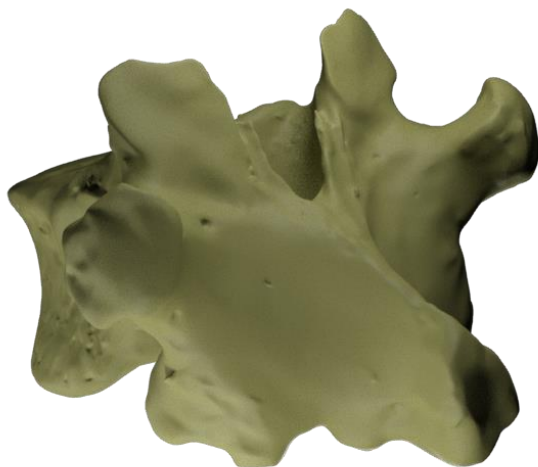


Figura 18: Render do modelo da peça Vertebra T-XI em *high poly* (esquerda) e *low poly* (direita)

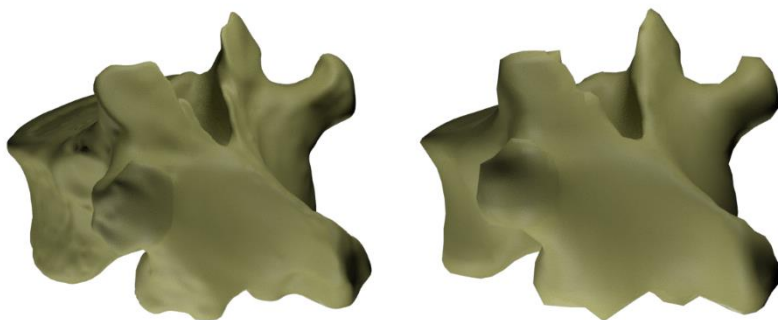




Figura 19: mapa UVW do modelo *high poly* da peça Vertebra T-XI

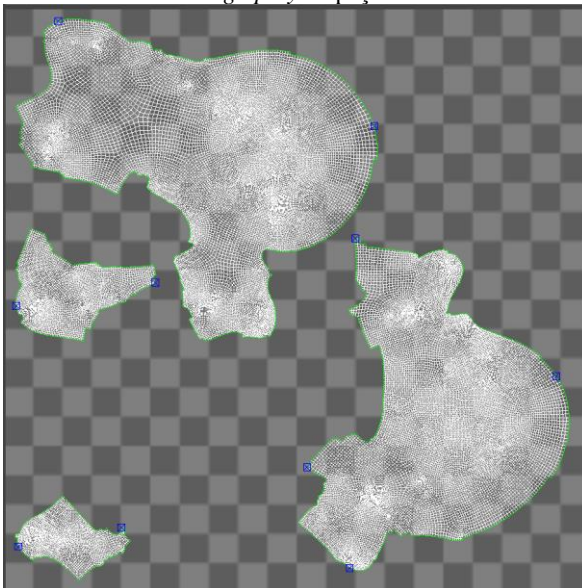
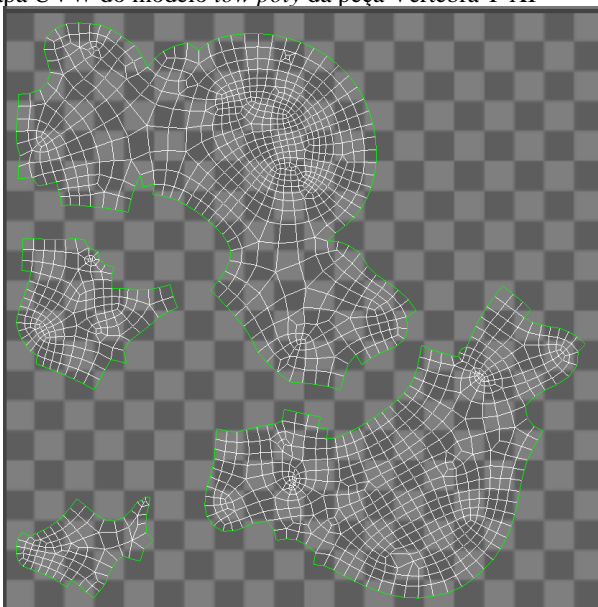


Figura 20: Mapa UVW do modelo *low poly* da peça Vertebra T-XI



Também como resultado, obteve-se uma atualização da metodologia utilizada como base para a realização do projeto. Após as atualizações, apresentou-se funcional para os objetos a serem escaneados utilizando tecnologias e equipamentos atuais.

## 6 CONCLUSÃO

Este documento abordou todas as etapas da obtenção de peças anatômicas escaneadas em 3D, desde a revisão bibliográfica, pesquisa e adaptação de procedimentos metodológicos até todas as fases de produção e pós processamento dos modelos adquiridos pelo processo. O autor ao longo da execução do projeto obteve conhecimentos de escaneamento 3D e também entendimento interdisciplinar na área de anatomia óssea.

Como resultado dentro do projeto proposto, foram obtidos pelo autor, 48 modelos tridimensionais provenientes do escaneamento, 35 com retopologia, 31 mapeamentos em modelos de alta densidade, e 31 mapeamentos em modelos de baixa densidade de malha. Os procedimentos metodológicos de Bernadini e Rushmeier (2002) passaram por adaptações e atualizações para a execução do projeto, o que para o fim específico deste projeto, resultou em uma nova metodologia para escaneamento 3D, com tecnologias e abordagens atuais.

Dentro do tempo de desenvolvimento do projeto, foi possível realizar todos os objetivos propostos dentro das delimitações do projeto sem grandes problemas. A metodologia, que, após passar por adaptações para se adequar aos equipamentos e ao projeto, se mostrou eficiente para a obtenção de resultados satisfatórios. Percebeu-se ao longo do projeto e principalmente após sua finalização que é factível a execução por uma única pessoa, mas como recomendação para possíveis projetos similares no futuro, é que uma equipe maior de colaboradores no projeto tornaria a obtenção de resultados mais rápida.

Os resultados obtidos com esse projeto não têm fim mercadológico direto, tendo sido feito com fins de pesquisa acadêmica. Contudo, é possível utilizar os modelos prontos para fins comerciais caso o projeto em que se insiram tenha este objetivo. Exemplos de empregos para o produto desenvolvido neste podem ser a aplicação em aplicativos educacionais, ou até mesmo para uma nova abordagem de pintura técnica médica. Os modelos tridimensionais obtidos por meio do seguimento da metodologia aplicada podem ser utilizados em animações, aplicativos moveis, jogos, e qualquer mídia em que modelos tridimensionais possam ser aplicados.

Os arquivos dos modelos obtidos neste projeto se encontram em propriedade do DesignLAB, na Universidade Federal de Santa Catarina.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDALÓ, F. **Modelagem e animação 2D e 3D para jogos**. Érica: 2015. v. 1, p. 20;22.

ANDRADE, Wilian Machado de. **ANATOMIA MEDIADA POR ILUSTRAÇÕES PARA O ENSINO MÉDICO: FUNÇÕES, DESENVOLVIMENTO, ABORDAGENS E TECNOLOGIAS**. 2015. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Design, Programa de Pós-graduação em Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

BARROS, Gutenberg Xavier da Silva. **MODELAGEM DIGITAL TRIDIMENSIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA: UM ENFOQUE SOBRE A MODELAGEM ORGÂNICA**. 2012. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Departamento de Design, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. P.25

BERNARDINI, Fausto; RUSHMEIER, Holly. **The 3D Model Acquisition Pipeline**. Computer Graphics Forum, [s.l.], v. 21, n. 2, p.149-172, jun. 2002. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8659.00574>.

D'APUZZO, Nicola. **Overview of 3D surface digitization technologies in Europe**. Three-dimensional Image Capture and Applications Vii, [s.l.], p.1-13, 2 fev. 2006. SPIE. <http://dx.doi.org/10.1117/12.650123>.

LEVOY, Marc et al. **The digital Michelangelo project**. Proceedings Of The 27th Annual Conference On Computer Graphics And Interactive Techniques - Siggraph '00, [s.l.], p.131-144, 2000. ACM Press. <http://dx.doi.org/10.1145/344779.344849>.

LOYOLA, Fernando Morais de. **Modelagem tridimensional de problemas potenciais usando o método dos elementos de contorno**. 2017. Dissertação de Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia, Publicação 47A/2017, Departamento de Integridade de Materiais da Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 90p.

NETTER, Frank H. **Netter Atlas De Anatomia Humana**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 624 p.

PERES, F. O. **Scanner 3D: Problemas e Soluções**. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Bacharelado em Ciência da Computação – Universidade Estadual de Londrina, 2013.

PRIM, G. et al. **Digitalização 3D de Ossos Humanos para Ferramentas de Estudo em Anatomia**. P&D 2018, anais.

WEISE, Thibaut et al. **Realtime performance-based facial animation**. Acm Siggraph 2011 Papers On - Siggraph '11, [s.l.], p.1-10, ago. 2011. ACM Press. <http://dx.doi.org/10.1145/1964921.1964972>.