

Uso da digitalização 3D do corpo humano para desenvolvimento de produtos personalizados: Análise comparativa entre os scanners Artec EVA e o Kinect

The use of 3D human body scanning in developing customized products: comparative analysis between Artec EVA and Kinect scanners

Clariana Fischer Brendler, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
clariana.brendler@ufrgs.br

Marcelle Suzete Müller, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
marcelledesigner@hotmail.com

Fábio Pinto da Silva, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
fabio.silva@ufrgs.br

Fábio Gonçalves Teixeira, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
fabiogt@ufrgs.br

Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados da análise comparativa entre dois *scanners* tridimensionais – Artec Eva e Microsoft Kinect – com diferentes tecnologias a fim de avaliar as possibilidades de uso destes equipamentos no desenvolvimento de projetos de produto centrados no usuário. Foram realizadas comparações de precisão e de desvio dimensional das malhas tridimensionais a partir de modelos virtuais e físicos construídos com o uso desses *scanners* e de sistemas CAD e CAM. Com o estudo realizado, verificou-se a necessidade de eliminar o fator movimento do corpo humano, a partir da utilização de modelos físicos para tornar confiáveis as análises realizadas. Dessa forma, os dois *scanners* demonstraram precisão de medidas, com o Artec Eva superando o Microsoft Kinect. A fim de selecionar a opção mais adequada à necessidade de projeto, são fatores determinantes: o custo disponível para a realização do projeto; e o grau de precisão necessário para o desenvolvimento do produto. Sendo assim, os *scanners* abordados neste artigo contribuem para o desenvolvimento de produtos personalizados na medida em que relacionam a ferramenta adequada para o grau de precisão almejado no projeto.

Palavras-chave: Digitalização 3D, Projeto de produto, Precisão

Abstract

The aim of this paper is comparing both tridimensional scanners: white light Artec Eva; and Infra-red light Microsoft Kinect. This comparison enables evaluate possibilities of these equipments for developing user-centered product projects. It were carried out comparisons concerning both precision and dimensional deviation through virtual and physical models

generated by CAD and CAM systems. It was verified the need of eliminating the human body movement by using physical models in the performed analysis. As a result, both scanners demonstrated measurement precision, with advantage of Artec Eva over Microsoft Kinect. The selection of the most appropriated scanner concerning the projects needs evolves factors such as: the available cost for the project; and the required precision fidelity for the aimed product. Both digital scanners considered in this paper contribute for the development of customized products, showing the relationships between tools and needed product fidelity.

Keywords: 3D Scanning, Product design, Precision

1.Introdução

A digitalização tridimensional é uma tecnologia que obtém dados de objetos físicos para gerar modelos tridimensionais digitais, com auxílio de *softwares*, que permitem a captura de curvas, texturas e detalhes de superfícies com grande precisão. As informações adquiridas, a partir de estudos de modelos tridimensionais gerados pela digitalização do corpo humano, podem ser usadas, por exemplo, em projetos de produtos centrados no usuário que requerem dados mais precisos e personalizados (TOMKINSON; SHAW, 2013; WANG *et al.*, 2007; NORTON *et al.*, 2002).

Assim, a digitalização tridimensional possibilita capturar dados da superfície dos membros dos usuários sem o contato físico para, posteriormente, desenvolver um modelo virtual. A partir do modelo 3D, o projeto de um produto personalizado pode ser desenvolvido de acordo com a característica física de cada usuário. No campo do Design, a digitalização tridimensional vem se mostrando uma importante ferramenta de projeto e vem contribuindo em áreas como: ergonomia, tecnologia assistiva, vestuário, joalheria, acessórios personalizados e análise de projeto de produto (SILVA *et al.*, 2010; LU; WANG, 2008). Jones e Rioux (1997) classificaram os produtos conforme a precisão necessária para uma melhor execução de suas tarefas relacionando-as às partes do corpo, tais como:

- Produtos que exigem baixa precisão de medidas antropométricas (1 mm à 5 mm) para o tronco e membros (braços e pernas);
- Produtos que exigem precisão média (100µm à 1 mm) como os produtos desenvolvidos para a face;
- Produtos que exigem alta precisão (10 µm à 100 µm) como os produtos para regiões com uma área muito pequena, por exemplo, os dentes.

O uso da digitalização 3D como uma ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de projeto de produto, principalmente, no âmbito das medidas antropométricas e geração de moldes do corpo para o desenvolvimento de produtos personalizados, é incipiente e carece de mais estudos na área.

Referente à estudos de comparação e precisão dos modelos 3D entre os diferentes tipos de *scanners* 3D, alguns autores vêm desenvolvendo pesquisas importantes como: Fourie *et al.*, (2011); Lin e Wang (2012); Ozsoy *et al.*, (2009) e Han, Nam e Choi (2010). Por meio destes estudos, foram observadas vantagens e desvantagens entre os diferentes sistemas de digitalização 3D e sistemas manuais de medição antropométrica. São abordadas questões sobre a influência da iluminação do ambiente no momento da varredura da imagem, problemas de

precisão relacionados à medição manual do corpo humano e a influência do movimento do corpo na geração do modelo 3D durante a digitalização 3D. Porém, estudos de comparação e precisão de medidas antropométricas relacionadas ao uso de um digitalizador 3D de baixo custo, como o Kinect, não foram abordados nestas pesquisas.

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados da análise comparativa entre os modelos 3D obtidos pelos *scanners* Artec Eva e o Kinect, avaliando a precisão e suas possíveis implicações no desenvolvimento de projetos de produto centrado no usuário. Para o desenvolvimento desta pesquisa, um requisito importante é o uso de *scanners* 3D que possibilitem a portabilidade do sistema.

A portabilidade é importante, pois possibilita a realização da digitalização 3D em locais em que se encontram pessoas incapazes de locomoção ou em instituições para deficientes físicos. Devido à digitalização tridimensional ser uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento de projetos de produto, a partir de modelos 3D de membros do corpo, é possível desenvolver produtos personalizados mais adequados à característica física do usuário, melhorando o nível de conforto e o desempenho da função do produto.

2. Desenvolvimento de projeto de produto centrado no usuário

Para o desenvolvimento do projeto de produto, do ponto de vista industrial, o ideal seria fabricar um único tipo de produto padronizado, pois isso reduziria os custos. Contudo, para os usuários e/ou consumidores, isso nem sempre proporciona conforto e segurança. A adaptação do produto ao usuário se torna mais crítica no caso dos produtos personalizados: vestuário, calçados e equipamentos. Para o desenvolvimento de projetos com foco no usuário, um produto melhor adaptado à anatomia do usuário significa maior conforto, menos risco de acidente e melhor desempenho de sua função. A precisão das medidas antropométricas, portanto, está diretamente associada à função e às especificações dos produtos (ULRICH; EPPINGER, 2008; IIDA, 2005; LU; WANG; MOLLARD, 2010).

A função do produto em relação ao seu uso pode ser classificada em função prática, estética e simbólica, na qual sempre uma destas funções se sobressai no desenvolvimento do projeto de produto. No caso da função prática são valorizadas as necessidades fisiológicas do usuário. Assim, a precisão das medidas antropométricas têm especial importância para uma maior função ergonômica do produto e, assim, maior desempenho das necessidades físicas do usuário (CLARKSON, 2008; LÖBACH, 2000).

O desenvolvimento de produtos, segundo Back *et al.* (2008, p.4), é um conceito amplo que compreende aspectos desde a pesquisa de mercado, o projeto de produto, projeto do processo de fabricação, plano de distribuição e manutenção até o descarte do produto. Ainda, descrevem a sequência de fases pelas quais se desenvolve o produto, como: planejamento do projeto, projeto informacional e projeto conceitual. É na fase Projeto Informacional que são determinadas as especificações de projeto de produto. São contempladas as necessidades dos usuários, os requisitos dos usuários e os requisitos de projeto. Também, outros autores como Rozenfeld *et al.* (2006) classificam em Projeto Informacional a fase na qual são levadas em consideração as características físicas dos usuários como os dados antropométricos.

No desenvolvimento de produtos personalizados, o uso do modelo do processo de Design Centrado no Usuário (DCU) é particularmente o mais apropriado (WANG *et al.*, 2009). No processo de DCU há o envolvimento do usuário em todas as etapas do processo de projeto. Wang *et al.* (2009) trazem outros autores que utilizam o DCU no processo de Design, tais como: Green e Jordan (1999); Hypponen, (1999); Pahl *et al.* (1996); Roozenberg e Ekels, (1995); Ulrich e Eppinger, (2008).

O DCU é um processo importante para o desenvolvimento de produtos personalizados, uma vez que os designers terão requisitos mais precisos em relação ao usuário final do produto. Neste processo, a primeira etapa compreende o estudo sobre o usuário e o produto que irá utilizar. Na segunda etapa, usa-se o conhecimento das necessidades do usuário para os requisitos e restrições do projeto. A seguir, na terceira etapa são apresentados protótipos ao usuário para avaliação e, na última etapa, é reavaliado o projeto conforme as questões identificadas nas etapas anteriores. Realiza-se, um ciclo iterativo de teste, design, medidas e redesign. Assim, conforme o modelo de DCU as medidas antropométricas são fundamentais para o desenvolvimento de projeto de produto, principalmente, em se tratando de produtos personalizados (HERSH, 2010).

O levantamento das medidas antropométricas por meio de medições tradicionais manuais não fornecem dados precisos e confiáveis. Muitas vezes, dependendo da anatomia, há medidas que são impossíveis de serem conseguidas pelo método manual (LU; WANG, 2008; SIMMONS, 2001; TOMKINSON; SHAW, 2013). Com o avanço da tecnologia, pesquisas vêm sendo realizadas para o levantamento de dados antropométricos por meio de digitalizadores tridimensionais para que seja possível a obtenção dos dados antropométricos mais precisos e confiáveis (SIMMONS, 2001).

3. Estudos relacionados à comparações de precisão entre diferentes digitalizadores 3D

Alguns estudos sobre comparações e análise dimensional em diferentes sistemas de digitalização 3D e sistemas de levantamento antropométrico são descritos neste item. Fourie *et al.* (2011) desenvolveram um estudo comparativo entre três diferentes sistemas de digitalização tridimensional com o objetivo de avaliar a precisão e a confiabilidade dos dados antropométricos. Os sistemas avaliados foram: digitalizações 3D a *laser*, digitalização 3D computadorizada por feixe cônico (CBCT) e sistema por fotogrametria. Os autores realizaram um estudo em sete cabeças de cadáveres para obtenção de medidas craniofacial. Foram possíveis, por meio da digitalização 3D, a quantificação de ângulos, superfícies e volumes, além de mensurar distâncias lineares, obtendo potencial para a extração de x, y, e os dados das coordenadas z para uma grande variedade de análises, de forma estatística e capturas rápidas, resultando em um registro de arquivo permanente do rosto de um indivíduo.

Neste estudo, os resultados foram precisos e confiáveis nos três sistemas de digitalização 3D. Porém, observou-se que o objeto de estudo foi um ser inanimado. Portanto, foi excluída uma questão importante que pode influenciar na precisão dos resultados como o movimento do indivíduo no momento da varredura da imagem.

Outro estudo analisado foi o de Han *et al.* (2010) que realizaram uma análise comparativa das medidas antropométricas entre a digitalização 3D por um sistema a *laser* e o método manual em mulheres adultas da Coreia. Neste estudo, foram identificadas e analisadas as diferenças entre os métodos em 14 dimensões do corpo. As causas das diferenças, nos valores encontrados nas variáveis entre os métodos, foram devido à medição manual da circunferência do tecido mole, que é comprimido no momento da medição pelos instrumentos antropométricos manuais e, também, nas diferenças em função da postura, relaxada ou ereta, durante as medições.

A relevância do estudo de Han *et al.* (2010) encontra-se, principalmente, na constatação das diferenças nos resultados obtidos entre os métodos manuais e por sistemas de digitalização 3D e no porquê destas diferenças. Também, os autores fornecem orientações para um correto levantamento antropométrico nestes métodos.

Vezzetti e Marcolin (2012) realizaram um estudo para obtenção de medidas antropométricas faciais por meio de pontos de referência (*landmark*). Os objetivos deste estudo são diversos, tais como: reconhecimento da face e da expressão facial e estudo das mudanças na morfologia facial devido ao crescimento e/ou as deformidades por deficiências. Outro estudo relacionado à antropometria maxilo-facial foi o de Maal *et al.* (2010). Nesse estudo realizaram registros por fotogrametria para auxiliar no tratamento de cirurgia oral e maxilo-facial. Estes registros tridimensionais têm como objetivo avaliar os diferentes tipos de inchaço ao longo do tempo como: abscesso ou o crescimento de um tumor. Foi desenvolvido, portanto, um método para analisar as medidas antropométricas maxilo-facial para analisar as alterações da face.

Ainda, para análises antropométricas maxilo-facial, Ozsoy *et al.* (2009) desenvolveram um estudo comparativo entre os sistemas de levantamento antropométrico manual, fotogrametria 2D e digitalização 3D a *laser*. Foram descritas vantagens e desvantagens entre os três sistemas. Foi ressaltado que ambos os sistemas, fotogrametria e antropometria manual, são processos demorados e algumas variáveis não são possíveis de serem mensuradas. A desvantagem da digitalização a *laser* é o alto custo e o sistema não ser portátil. Porém, a vantagem do método de digitalização 3D a *laser* é a rapidez para a digitalização do indivíduo e o armazenamento do conjunto de dados sobre uma unidade de disco rígido.

Li *et al.* (2008) realizaram uma análise da digitalização 3D a *laser* da mão e foram detectados problemas nas imagens geradas em função da sombra entre os dedos, e realizaram um método para diminuir o efeito da sombra colocando um suporte de vidro minimizando a refração da luz na digitalização 3D.

Kouchi e Mochimaru (2011) realizaram um estudo sobre a demarcação correta para os *landmarks* (pontos anatômicos para medição) que podem influenciar tanto para medições manuais como para medições indiretas em que há leitura automática através de *softwares* específicos. Este estudo torna-se relevante na medida em que explica como realizar a demarcação correta dos *landmarks* no corpo a ser mensurado.

Norton; Donaldson e Dekker (2002) desenvolveram um novo método para medir a massa e o formato da perna de um corpo humano em pessoas tetraplégicas, que não são possíveis de serem obtidas pelo método manual de medição. Foi utilizado nesta pesquisa, um *scanner* 3D a *laser* *Hamamatsu Photonics K.K.* O mesmo autor relata que a determinação de dados como, formato

e massa corporal, vêm sendo um problema para a biomecânica e são poucos os trabalhos realizados nessa área.

Nota-se que as pesquisas relatadas abordam assuntos relacionados à importância da digitalização 3D no processo de obtenção de medidas antropométricas e comparações entre diferentes sistemas de digitalização 3D e sistemas manuais de medição. Porém, não mencionam questões relacionadas diretamente ao desenvolvimento de projeto de produto e sistemas de digitalização 3D de baixo custo.

4. Digitalização 3D de baixo custo

A digitalização 3D funciona, em geral, por meio de uma varredura medindo a localização dos pontos no espaço (X, Y e Z), denominada de nuvens de pontos. Um *scanner* 3D, geralmente, trabalha com a técnica de triangulação na qual se movimenta no plano X e Y através de comandos numéricos (CNC) e, depois de finalizada a varredura do objeto a ser digitalizado, é obtido o mapeamento ponto a ponto da superfície. Assim, é gerada a malha tridimensional que é convertida em um modelo 3D no qual, através de CNC, pode ser usinado ou impresso por impressoras tridimensionais. Os digitalizadores tridimensionais tradicionalmente utilizados no mercado são por sistema a *laser*, luz branca ou por fotogrametria. O problema é que são *scanners* 3D que exigem alto investimento financeiro. Ainda, os *scanners* a *laser* ou sistemas por fotogrametria requerem especialização para manipulação dos equipamentos (D'APUZZO, 2009).

Tong *et al.* (2012) destaca o Kinect da Microsoft como uma opção de *scanner* 3D de baixo custo em relação aos *scanners* convencionais de digitalização tridimensional no mercado. O Kinect foi desenvolvido originalmente para atuar com o videogame Xbox 360°. Ele, contém um sensor de movimento e foi desenvolvido para permitir que os usuários interajam com o game sem a necessidade de um controle tradicional ou joystick, pois o sensor reconhece gestos do usuário e comandos de voz.

O acionador para o reconhecimento de gestos é um conjunto composto por um emissor e um leitor de infravermelhos. O sistema utiliza a câmera de infravermelhos (*IR Depth Sensor*) para detectar uma malha de *laser* projetada sobre os objetos. O Kinect também possui uma câmera de vídeo a cores (*Color Sensor*) que fornece os dados de cor para o mapa de profundidade (DUTTA, 2012).

Segundo alguns autores como: Tong *et al.* (2012); Aitpayev e Gaber (2012); Gonzalez *et al.* (2013), o Kinect vem sendo utilizado em animações 3D, auxílio em aplicações de projetos em realidade virtual para espaços físicos e em computação gráfica, no qual requer realismo nos modelos 3D de corpos humanos. Portanto, o Kinect poderá vir a ser utilizado como um *scanner* 3D de baixo custo para geração de modelos 3D e, assim, auxiliar no desenvolvimento de projetos de produtos, principalmente, para produtos personalizados.

5. Métodos e Processos

Os métodos e processos consistem na análise comparativa de precisão de medidas antropométricas entre os processos de digitalização tridimensional utilizando o *scanner* Artec EVA (luz branca) e o Kinect (infravermelho). As etapas seguem na Figura 1.

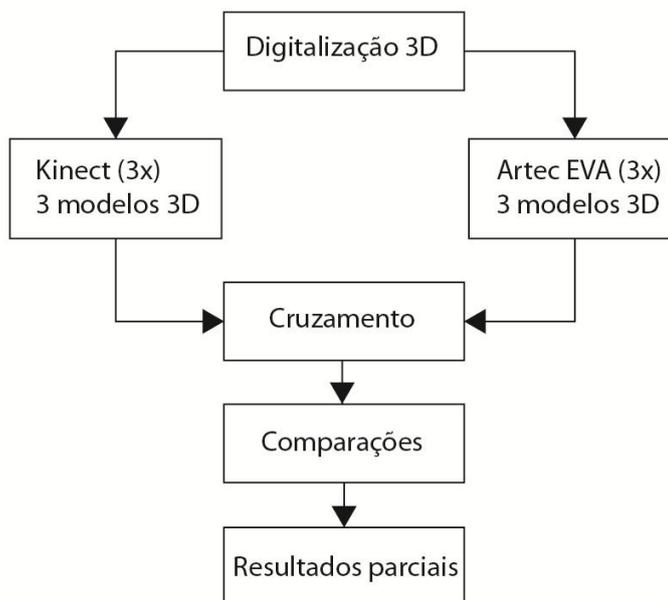


Figura 1 : Etapas e processos

Primeiramente, a perna de um indivíduo foi digitalizada com o *scanner* Artec Eva. O processo foi repetido três vezes para analisar a coerência e a repetibilidade das malhas tridimensionais dos modelos 3D obtidos pelo processo de digitalização tridimensional.

O processo de geração dos três modelos 3D foi repetido novamente com o *scanner* Kinect. Adquiridos os seis modelos tridimensionais, estes foram importados para o *software* Geomagic Qualify onde foram analisados e comparados. Assim, foram obtidos os resultados parciais através do cruzamento dos modelos 3D gerados pelos *scanners* Kinect e Artec EVA.

Logo, na segunda etapa das análises, foi utilizado um modelo 3D, usinado em poliuretano, como referência para as análises e comparações entre os *scanners* 3D. Assim, eliminou-se a influência de possíveis movimentos do corpo humano durante a digitalização 3D e geração dos modelos tridimensionais. As etapas seguem apresentadas na Figura 2.

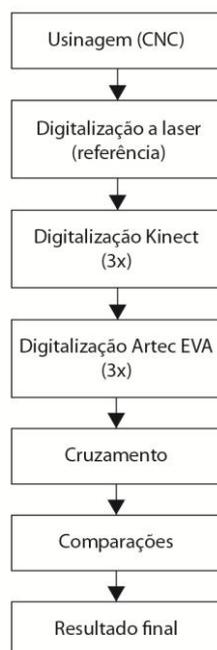


Figura 2: Segunda etapa dos processos

Foram realizadas novas análises, eliminando a influência do movimento da perna no momento da varredura. Portanto, através da máquina CNC fresadora (Digimill 3D), um dos modelos 3D foi usinado. O modelo usinado foi digitalizado com o *scanner a laser* Digimill 3D de alta precisão (lente de 150 mm e precisão de 0,035 mm) para ser utilizado como referência nas análises de comparação.

Em seguida, o modelo usinado foi digitalizado três vezes com o *scanner* Kinect e três vezes com o *scanner* Artec EVA. Assim, foram realizados novamente os cruzamentos entre os sete modelos 3D e, desta forma, foram obtidos os resultados finais relacionados à precisão das medidas e a influência do movimento do indivíduo e dos *scanners* 3D.

6. Etapa de digitalização tridimensional

Nesta etapa, o indivíduo permaneceu em uma posição em pé e sem realizar movimentos bruscos durante o tempo da varredura das imagens. O tempo necessário para a digitalização tridimensional foi aproximadamente dois minutos, tanto com o *scanner* Artec Eva quanto o Kinect. Os modelos tridimensionais obtidos pelo *scanner* Artec EVA quanto o Kinect seguem apresentados na Figura 3.

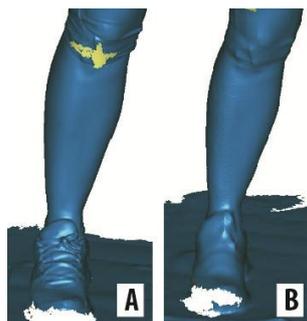


Figura 3: modelos 3D (A) Artec EVC e modelos 3D (B) Kinect.

Conforme apresentado nas imagens da Figura 3 (A), os três modelos tridimensionais obtidos pelo *scanner* Artec EVA foram colocados sobrepostos entre si. A Figura 3 (B) apresenta os três modelos 3D obtidos pelo *scanner* Kinect sobrepostos entre si. Para as análises e comparações, foi selecionada uma região do modelo 3D com os seis modelos tridimensionais sobrepostos e, desta forma, a região foi determinada e cortada das demais. A Figura 4 apresenta a região selecionada na cor em azul em que serão realizadas as análises e comparações.

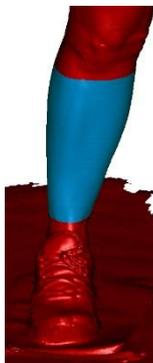


Figura 4: Região selecionada para as análises e comparações

7. Cruzamento e comparações dos modelos 3D

Os modelos tridimensionais gerados foram inicialmente comparados para avaliar a repetibilidade com cada *scanner*. Para tanto, os três modelos foram importados no *software* Geomagic Qualify. Tomando um modelo 3D como referência, os demais foram sobrepostos a este. Assim, foram avaliadas as diferenças dimensionais e a média do desvio-padrão.

Nos gráficos gerados, a cor verde indica uma diferença dimensional entre os modelos sobrepostos menor do que 1 mm. As cores do amarelo ao vermelho indicam diferenças para o lado positivo, ou seja, áreas em que o modelo comparado está maior (ou mais para fora das malhas) do que o modelo 3D de referência. Já, os tons de azul indicam as diferenças para o lado negativo (para dentro das malhas). Foi realizado o cruzamento entre os três modelos 3D obtidos pelo *scanner* Artec Eva conforme a Tabela 1 de referência.

Modelos 3D	
A1	Artec modelo 1
A2	Artec modelo 2
A3	Artec modelo 3
Cruzamento	
A1A2	Artec modelo 1 com Artec modelo 2
A1A3	Artec modelo 1 com Artec modelo 3
A2A3	Artec modelo 2 com Artec modelo 3

Tabela 1: referência dos modelos 3D com Artec Eva

O modelo 3D (A1) foi utilizado como referência no cruzamento entre os demais modelos 3D obtidos pelo *scanner* de luz branca. Assim, o cruzamento entre os modelos 3D (A1A2) apresentou 1,4 mm de desvio médio dimensional. As regiões em tons de azul representam

desvios dimensionais negativos. Neste cruzamento, destacou-se a região representada pela cor verde em que corresponde à compatibilidade dimensional entre os modelos 3D. O cruzamento dos modelos 3D (A1A3) apresentou uma média de desvio dimensional de 1,6 mm. Porém, notou-se uma diferença dimensional positiva superior à negativa, conforme é representado pelas cores que vão do amarelo até os tons de vermelho. O cruzamento entre os modelos 3D (A2A3) resultou uma média de 2,9 mm. Neste cruzamento, a diferença dimensional foi maior e segue representada pelas cores do amarelo até o vermelho, conforme a figura 5.

Também, na Figura 5 apresenta uma legenda de cores correspondente ao desvio dimensional da malha 3D e dos respectivos cruzamentos entre os modelos 3D. As cores da legenda indicam a cor verde correspondendo à um desvio dimensional das malhas 3D entre os modelos sobrepostos de 0,1 mm a 1,0 mm. A cor amarela significa 1,0 mm até 2,0 mm de desvio dimensional indo da cor laranja até a cor vermelho escuro, significando 7,00 mm de desvio.

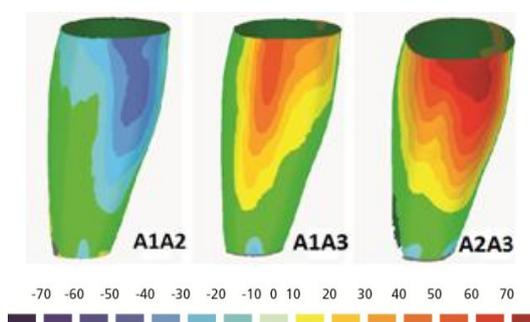


Figura 5: comparações

O cruzamento também foi realizado entre os modelos 3D obtidos pelo *scanner* Kinect. As referências dos modelos 3D seguem na tabela 2

Modelos 3D	
K1	Kinect modelo 1
K2	Kinect modelo 2
K3	Kinect modelo 3
Cruzamento	
K1K2	Kinect modelo 1 com Kinect modelo 2
K1K3	Kinect modelo 1 com Kinect modelo 3
K2K3	Kinect modelo 2 com Kinect modelo 3

Tabela 2: Referência dos modelos 3D com Kinect

Conforme é apresentado na Figura 6, o modelo 3D obtido pelo *scanner* Kinect (K1) foi cruzado com o modelo 3D (K2). O resultado (K1K2) alcançou uma média de desvio dimensional de 0,5 mm, o que demonstra uma compatibilidade entre as malhas 3D dos respectivos modelos.

O cruzamento dos modelos 3D (K1K3) resultaram uma média de desvio dimensional de 2,5 e um desvio máximo de 7,0 positivo, indicado pelas cores em vermelho e laranja. O que já demonstra uma não compatibilidade entre as malhas dos modelos 3D respectivos. O cruzamento

dos modelos 3D (K2K3) obteve uma média de desvio dimensional de 2,5 mm e um desvio máximo de 7,8 mm negativo, representado pelas cores em azul na Figura 6.

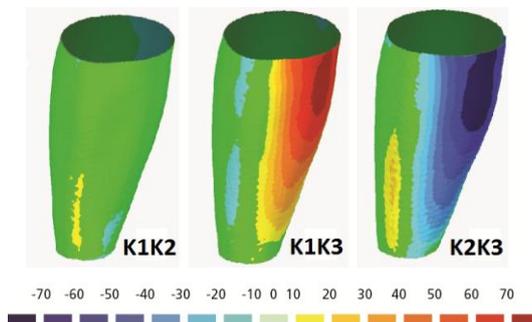


Figura 6: Comparações

Após, foi realizado o cruzamento entre os seis modelos 3D obtidos pelos *scanners* 3D Artec e Kinect, conforme a tabela 3.

A1K1	Artec Eva 1 e Kinect 1
A1K2	Artec Eva 1 e Kinect 2
A1K3	Artec Eva 1 e Kinect 3
A2K1	Artec Eva 2 e Kinect 1
A2K2	Artec Eva 2 e Kinect 2
A2K3	Artec Eva 2 e Kinect 3
A3K1	Artec Eva 3 e Kinect 1
A3K2	Artec Eva 3 e Kinect 2
A3K3	Artec Eva 3 e Kinect 3

Tabela 3: Cruzamento entre os seis modelos 3D

A Figura 7 apresenta as imagens dos resultados dos cruzamento dos modelos 3D em cores no qual representam as diferenças dimensionais.

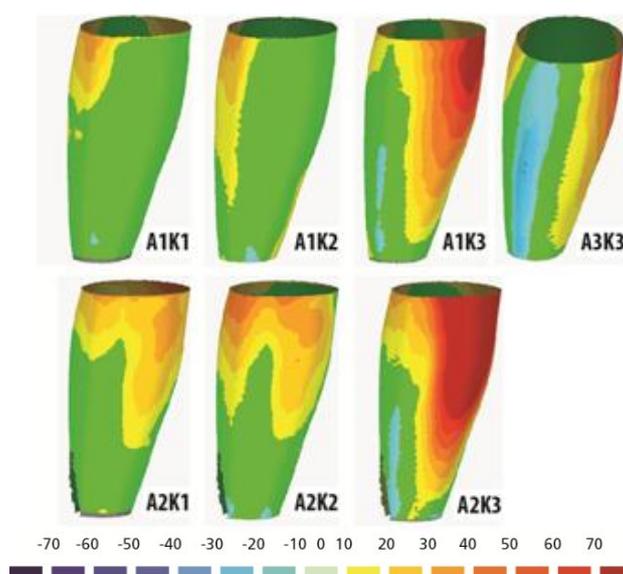


Figura 7: Comparações

As cores variam do azul claro ao azul escuro, respectivamente 1,0 mm ao 7,0 mm negativos. As cores amarelo e vermelho escuro variam, respectivamente, de 1,0 mm ao 7,0 mm positivos. A região em verde corresponde a compatibilidade entre as malhas 3D dos modelos sobrepostos conforme a tabela de cores na Figura 7.

8. Resultados parciais

Os resultados dos cruzamento dos modelos 3D entre si, tanto para o Artec Eva quanto o Kinect, não apresentaram repetibilidade referente à precisão e ao desvio dimensional das malhas 3D. Bem como, os cruzamentos entre os diferentes *scanners*, Artec Eva e Kinect, também não apresentaram repetibilidade em relação aos dados de precisão e desvio dimensional.

Foram identificados desvio máximo negativo de 12,1 mm no cruzamento entre os modelos 3D (A2K3), desvio máximo positivo de 11,8 mm no cruzamento entre os modelos 3D (A2K3). Desvio mínimo positivo de 2,5 mm no cruzamento dos modelos 3D (K2K3) e desvio mínimo negativo de 2,7 mm no cruzamento dos modelos 3D (A1K2). A média do desvio padrão varia de 1,0 mm no cruzamento dos modelos 3D (K1K2) e 3,9 mm no cruzamento dos modelos 3D (A2K3).

Os resultados em relação à média do desvio dimensional da malha 3D seguem apresentados na Figura 8 em forma de gráfico. Na cor azul, seguem os valores apresentados pelos cruzamentos entre os modelos 3D obtidos pelo Artec Eva (A x A) e, na cor vermelho, os modelos 3D obtidos pelo Kinect (K x K). Nota-se que não houve repetibilidade nas dimensões da malha 3D entre os cruzamentos dos modelos 3D Artec e Kinect, resultando desde uma média de 0,5 mm no cruzamento dos modelos 3D pelo Kinect (K1K2) à uma média de 2,9 mm no cruzamento dos modelos 3D pelo Artec (A1A3).

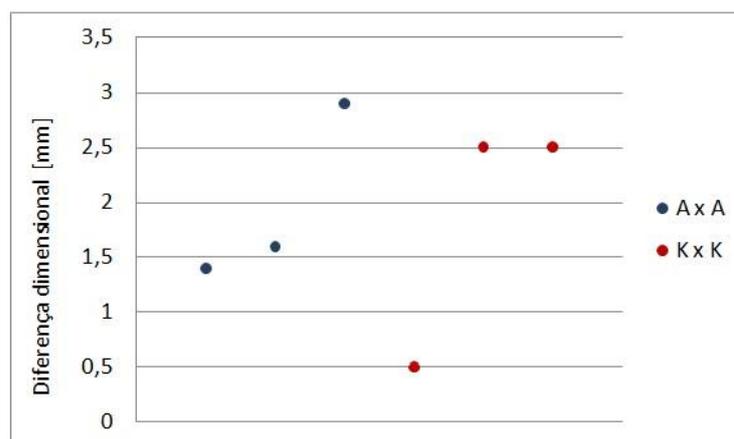


Figura 8: Digitalizações de um membro inferior comparadas entre si (repetibilidade)

Na Figura 9, segue na cor azul os dados obtidos pelos modelos 3D Artec Eva, na cor vermelho pelo Kinect e na cor laranja o cruzamento entre os diferentes *scanners* 3D. Na análise do cruzamento dos modelos 3D gerados entre os *scanners* também não houve repetibilidade das dimensões das malhas 3D. Nota-se, no cruzamento dos 6 modelos 3D, uma média do desvio

dimensional entre 1 mm e 2,5 mm, com exceção do cruzamento do modelo 3D Artec 2 com o modelo 3D Kinect 3 (A2K3) no qual obteve 3,9 mm de média do desvio dimensional.

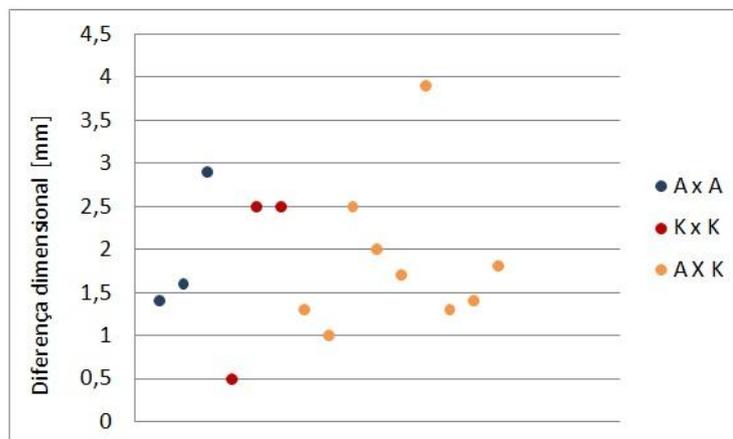


Figura 9: Digitalizações de um membro inferior comparadas entre si e entre os scanners

Portanto, os resultados foram inconclusivos em relação a precisão das dimensões das malhas dos modelos 3D. Assim, foi necessário a realização de novas análises através dos cruzamentos dos modelos 3D, porém eliminando o fator movimento do corpo no momento da varredura.

9. Obtenção do modelo usinado e digitalização 3D pelo scanner Digimill 3D

Devido à imprecisão dos resultados obtidos pelas análises dos modelos 3D, foi necessário obter um modelo físico da perna para, assim, ser digitalizada novamente pelos *scanners* Artec e Kinect, a fim de realizar a avaliação da precisão anulando o movimento do corpo no momento da varredura. Foi escolhido um modelo 3D da perna digitalizada nas análises anteriores. O modelo 3D foi usinado por uma fresadora CNC Digimill 3D. A imagem do modelo 3D da perna usinada segue na Figura 10.



Figura 10: Modelo Físico (usinagem)

Após, o modelo físico foi digitalizado com o *scanner a laser* Digimill 3D (Digitalização a *Laser* por Holografia Conoscópica). O Digimill 3D é um equipamento de alta precisão (0,035mm) com um sensor a *laser* pontual e para a digitalização foi utilizado uma lente de 150 mm.

O *Scanner* movimenta-se sobre os eixos X e Y, através do CNC, enquanto o cabeçote vai medindo a altura no eixo Z. Devido às características deste *scanner* 3D, tais como sensor pontual, alta precisão e resolução nominal de 0,1 mm, o mesmo foi utilizado para obtenção do modelo 3D. Este modelo 3D será utilizado como referência para as análises dos cruzamentos entre os modelos obtidos pelos *scanners* Artec e Kinect.

9.1. Cruzamento e comparações dos modelos 3D eliminando o fator movimento do corpo

Foram realizados os cruzamentos entre os três modelos 3D obtidos pelo *scanner* Artec Eva e, após, o cruzamento entre os 3 modelos 3D pelo Kinect. Também, o cruzamento entre todos os 6 modelos 3D. Todos os cruzamentos foram analisados a partir do modelo 3D de referência obtido pelo *scanner* a laser de alta precisão Digimill 3D. A Figura 11 apresenta os cruzamentos entre os três modelos 3D Artec Eva com o modelo 3D de referência.

Na Figura 11 há uma legenda contendo uma tabela de cores no qual a cor verde representa um desvio dimensional das malhas 3D entre os modelos sobrepostos de até 0,1 mm. A cor amarela significa um desvio entre 0,1 mm e 0,2 mm, a cor laranja representa um desvio de 0,3 a 0,5 mm e a cor vermelho escuro, representa 1,0 mm de desvio.

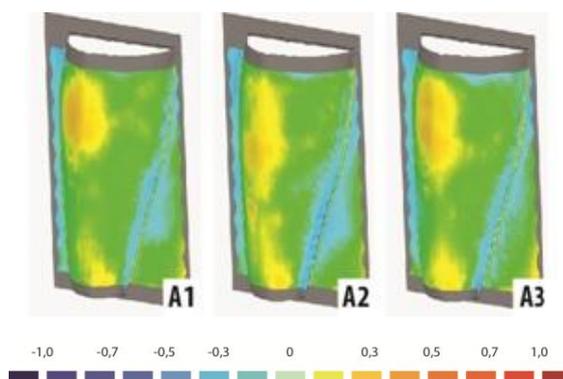


Figura 11: Cruzamento dos modelos 3D Artec Eva com o modelo 3D a laser

Conforme é apresentado na Figura 11, há grande compatibilidade das malhas 3D entre os modelos 3D sobrepostos no qual é representado pela cor em verde. Nota-se uma diferença máxima dimensional positiva de até 0,6 mm, representado pela cor laranja e, uma diferença máxima negativa de até 0,7 mm, representado pela cor em azul claro. A média dimensional foi de 0,1 mm nos três cruzamentos, havendo uma repetibilidade nos resultados entre os modelos 3D. O cruzamento foi realizado ainda entre os três modelos 3D obtidos pelo Kinect com o modelo 3D de referência. A Figura 12 apresenta as imagens destes cruzamentos.

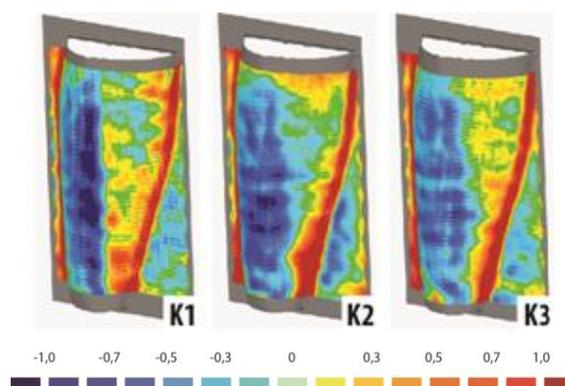


Figura 12: Cruzamento dos modelos 3D Kinect e do modelo 3D a laser

Conforme é apresentado na Figura 12, houve uma diferença máxima dimensional de até 7,3 mm, representado pelas cores em vermelho escuro e, uma diferença máxima negativa de até 8,9 mm, representado pela cor azul escuro. A média do desvio padrão variou entre 0,6 e 0,7 mm.

10. Resultados e Discussão

Os resultados das primeiras análises realizadas com os cruzamentos entre os modelos 3D Kinect e Artec foram inconclusivos, devido a não repetibilidade dos modelos 3D. Houve uma variação dimensional entre 1,4 mm e 2,9 mm e entre os modelos obtidos pelo Artec, 0,5 mm e 2,5 mm entre os modelos obtidos pelo Kinect e, 1,0 mm a 3,9 mm, no cruzamento entre todos os seis modelos 3D.

Para verificar se o problema da não repetibilidade dos modelos 3D encontra-se nos *scanners* 3D ou na influência dos possíveis movimentos do corpo no momento da varredura, foram realizadas novas análises. Nestas, foram efetuadas novas digitalizações 3D, porém sobre um modelo 3D usinado. Os resultados foram satisfatórios, a medida em que houve repetibilidade tanto nos modelos 3D pelo Kinect quanto nos modelos 3D pelo Artec.

A Figura 13 apresenta os resultados em forma de gráfico dos cruzamentos entre os modelos 3D com o modelo 3D de referência. Na legenda, (A x L) significa o cruzamento dos modelos 3D Artec com o modelo 3D a *laser*, (A x A) significa o cruzamento dos modelos Artec entre si, (K x L) o cruzamento dos modelos 3D kinect com o modelo 3D a *lase*, e (K x K) o cruzamento entre os modelos 3D obtidos pelo kinect.

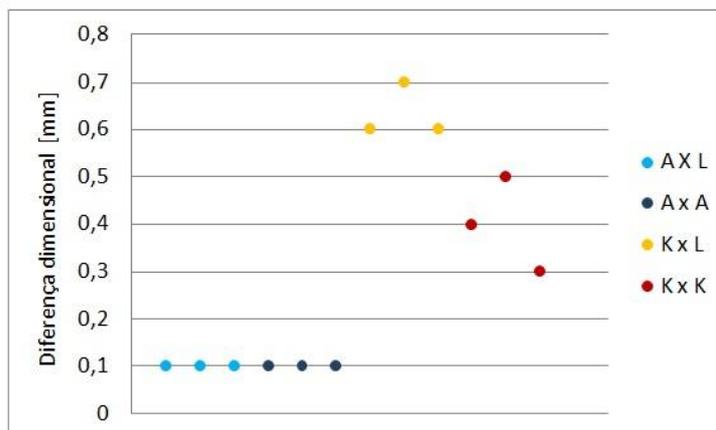


Figura 13: Digitalizações de modelo usinado comparadas a partir de digitalização a laser (repetibilidade)

Conforme é apresentado na Figura 13, os pontos vermelhos representam os cruzamentos entre os modelos 3D obtidos pelo Kinect entre si. Estes, resultaram uma variação de 0,3 mm à 0,5 mm de precisão dimensional.

Os pontos em amarelo representam os cruzamentos dos três modelos 3D Kinect com o modelo a *laser* de referência. Estes, apresentaram uma precisão de até 0,7 mm, sendo que os três modelos apresentaram uma repetibilidade entre si entre 0,6 mm e 0,7 mm.

Os pontos em azul claro representam os cruzamentos dos três modelos 3D Artec com o modelo 3D a *laser* utilizado como referência. Estes, apresentaram uma precisão de até 0,1 mm, sendo que os três modelos apresentaram uma repetibilidade entre si. Os pontos em azul escuro representam os cruzamentos entre os modelos 3D obtidos pelo Artec entre si e também obtiveram uma variação dimensional de 0,1 mm.

Portanto, foi constatado que houve influência na precisão e na repetibilidade dos modelos 3D. A Figura 14 apresenta os resultados em forma de gráfico das análises realizadas na primeira etapa da pesquisa (representados pela cor laranja) e da segunda etapa (representados pela cor verde).

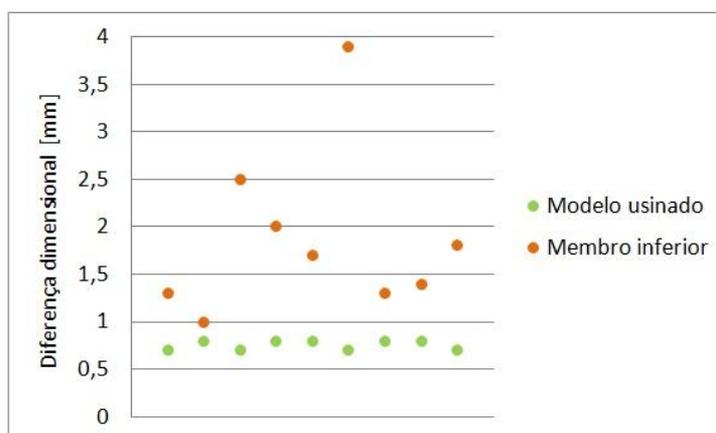


Figura 14: Comparação entre os scanners utilizados

Na primeira etapa, os modelos 3D foram obtidos pela digitalização diretamente na perna do indivíduo. Nota-se a não repetibilidade dos modelos 3D, portanto, os resultados foram inconclusivos em relação a precisão dimensional. No gráfico estão representados pelos pontos na cor laranja e legenda membro inferior.

Os pontos na cor verde representam os modelos 3D obtidos pela digitalização diretamente no modelo 3D usinado. Nesta segunda etapa, houve repetibilidade, portanto, as precisões puderam ser avaliadas.

Foram identificados os dados referentes aos cruzamentos dos modelos 3D realizados com o modelo usinado e digitalizado com o *scanner* Digimill 3D a *laser* (modelo de referência). Conforme a Figura 13, são apresentados os dados dos 3 modelos obtidos pela digitalização com o Artec sobrepostos ao modelo de referência e os dados referentes aos cruzamentos dos modelos do Artec entre si. Também, os dados representados pelo cruzamento dos modelos gerados pelo Kinect entre si e dos dos modelos 3D cruzados com o modelo 3D de referência.

Nota-se que em nenhum caso houve uma diferença dimensional superior que 1,0 mm, com exceção do cruzamento entre os modelos 3D obtidos pelo Kinect, no qual resultou uma diferença dimensional de 0,2 mm. O que é um resultado bastante satisfatório no qual valida o uso destes *scanners* 3D no desenvolvimento de projetos de produtos. Porém, o movimento do corpo humano no momento da varredura das imagens apresentou influência na geração dos modelos 3D, aumentando os valores de não precisão dimensional. Portanto, o que pôde ser avaliado é a precisão do *scanner* Artec em relação ao *scanner* Kinect.

Os resultados corroboram com o trabalho de Fourie *et al.* (2011) nas questões de precisão e repetibilidade de medidas antropométricas, porém em modelos inanimados, sem a influência de movimentos do corpo no momento da digitalização. Os resultados de precisão dimensional entre os *scanners* Artec Eva e Kinect no presente artigo não invalidam o uso destes *scanners* para auxiliar no desenvolvimento de projeto de produto. O que torna o processo de obtenção de medidas antropométricas e geometrias complexas mais rápido e mais preciso. Segundo autores como Clarkson (2010) e Hersh (2010) os produtos desenvolvidos conforme as medidas antropométricas corretas e precisas promovem o desenvolvimento de produtos confortáveis, seguros e mais eficazes.

Considerações Finais

O estudo sobre a precisão dimensional dos modelos 3D gerados por diferentes digitalizadores tridimensionais traz importante contribuição para área do Design, no desenvolvimento de projetos de produtos, principalmente, em projetos de produtos personalizados.

Há poucos estudos no mundo em que relacionam os projetos de produto personalizados com a precisão necessária para execução de sua tarefa com o máximo de conforto e eficiência. Os produtos personalizados exigem precisões diferentes conforme as partes do corpo. Os produtos que exigem baixa precisão são os produtos para membros como pernas, braços e tronco,

encontram-se entre 1 mm e 5 mm de precisão, no qual se enquadra tanto o *scanner* Kinect quanto o Artec Eva.

Porém, os produtos que exigem média e alta precisão, no qual são os produtos desenvolvidos para a face e regiões pequenas como os dentes só foram alcançados resultados satisfatórios nas análises efetuadas eliminando o fator movimento, através das digitalizações sobre um modelo 3D usinado.

Conforme já explicitado, a precisão das medidas está diretamente relacionada ao conforto do uso de um produto, assim como, o desempenho de um produto que está atrelado à sua função, pode ser otimizado a partir da consideração dos dados antropométricos corretos e precisos. Portanto, este estudo valida tanto o sistema de digitalização 3D por luz branca Artec como o Kinect que é um sistema de baixo custo, como uma ferramenta para auxiliar no desenvolvimento de produtos personalizados mais adequados às características físicas do usuário.

Referências

- AITPAYEV, K.; GABER, J. Creation of 3D Human Avatar using Kinect. **Asian Transactions on Fundamentals of Electronics, Communication & Multimedia**, v. 1, n. 5, p.12-24, 2012.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.
- CLARKSON, J. Human capability and product design. In: SCHIFFERSTEIN, H.; HEKKERT, P. (Org.). **Product Experience**. Oxford: Elsevier, 2008.
- D'APUZZO, N. Recent Advances in 3D Full Body scanning with applications to fashion and apparel. In OPTICAL 3D MEASUREMENT TECHNIQUES, 9, 2009, Viena. **Anais eletrônicos**. Viena, Austria, 2009.
- DUTTA, T. Evaluation of the Kinect sensor for 3-D kinematic measurement in the workplace. **Applied ergonomics**, v. 43, n. 4, p. 645-649, 2012.
- FOURIE, Z.; DAMSTRA, J.; GERRITS, P. O.; REN, Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. **Forensic Science International**, v. 207, n.1, p. 127-134, 2011.
- GONZALEZ, J. H; RIVEIRO, B.; FERNANDEZ, V.; SÁNCHEZ, M.; ARIAS, P. Metrological evaluation of Microsoft Kinect and Asus Xtion sensors. **Measurement**, v. 46, p. 1800-1806, 2013.
- GREEN, W.; JORDAN, P. **Human factors in product design: current practice and future trends**. New York: CRC Press, 1999.
- HAN, H.; NAM, Y.; CHOI, K. Comparative analysis of 3D body scan measurements and manual measurements of size Korea adult females. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 40, n. 5, p. 530-540, 2010.
- HERSH, M. The Design and Evaluation of Assistive Technology Products and Devices Part 1: Design. In: STONE H.; BLOUIN, M. (Org.). **International Encyclopedia of rehabilitation**, 2010.
- HYPPONEN H. **Handbook on inclusive design for telematics applications**. Helsinki: National Research and Development Centre for Welfare and Health, 1999.

- IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 2. Ed. Ver.e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- JONES, P.; RIOUX, M. Three-dimensional surface anthropometry: applications to the human body. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 28, n. 2, p. 89-117, 1997.
- KOUCHI, M.; MOCHIMARU, M. Errors in landmarking and the evaluation of the accuracy of traditional and 3D anthropometry. **Applied Ergonomics**, v. 42, n. 3, p.518-527, 2011.
- LI, Z; CHANG, C.; DEMPSEY, P. G.; CAI, X. Refraction effect analysis of using a hand-held laser scanner with glass support for 3D anthropometric measurement of the hand: A theoretical study. **Measurement**, v. 41, n. 8, p. 842-850, 2008.
- LIN, Y.; WANG, M. Constructing 3D human model from front and side images. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 5, p. 5012-5018, 2012.
- LÖBACH, B. **Design industrial**: Bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Blücher, 2000.
- LU, J.; WANG, M.; MOLLARD, R. The effect of arm posture on the scan-derived measurements. **Applied Ergonomics**, v. 41, n. 2, p. 236-241, 2010.
- LU, J.; WANG, M. J. Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. **Expert Systems with Applications**, v. 35, n. 1-2, p. 407-414, 2008.
- MAAL, T.; PLOOIJ, J.; ETTEMA, A.; BERGÉ, S. Registration of 3-Dimensional Facial Photographs for Clinical Use. **J Oral Maxillofac Surg**, v. 68 p. 2391-2401, 2010.
- NORTON, J.; DONALDSON, N.; DEKKER, L. 3D whole body scanning to determine mass properties of legs. **Journal of biomechanics**, v. 35, n. 1, p. 81-86, 2002.
- PAHL G, BEITZ W, WALLACE K, BLESSING L, BAUERT F. **Engineering design a systematic approach**. Berlin: Springer, 1996.
- OZSOY, U.; DEMIREL, B.; YILDIRIM, F.; TOSUN, O.; SARIKCIOGLU, L. Method selection in craniofacial measurements: Advantages and disadvantages of 3D digitization method. **Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery**, v. 37, p. 285 - 290, 2009.
- PAHL G, BEITZ W, WALLACE K, BLESSING L, BAUERT F. **Engineering design a systematic approach**. Berlin: Springer, 1996.
- ROOZENBURG N.; EKELS J. **Product design**: fundamental and methods. Chichester: Wiley, 1995.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.; AMARAL, D.; TOLEDO, J.; SILVA, S.; ALLIPRANDINI, D.; SCALICE, R. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SILVA, F.; DUARTE, L.; ROLDO, L.; KINDLEIN, W. A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto. **Design & Tecnologia**, v.1, n.1, p. 6065, 2010.
- SIMMONS, Karla Peavy. **Body measurement techniques**: a comparison of three dimensional body scanning and physical anthropometric methods. Raleigh: NCSU, 2001. (Tese de Doutorado. North Carolina State University).
- TOMKINSON. G, SHAW, L. Quantification of the postural and technical errors in asymptomatic adults using direct 3D whole body scan measurements of standing posture. **Gait & Posture**, V. 37, P. 172-177, 2013.
- TONG, J; ZHOU, J; LIU, L; PAN, Z; YAN, H. Scanning 3d full human bodies using kinects. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v.18, n.4, p. 643-650, 2012.

ULRICH K.; EPPINGER S. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2008.

WANG, M.; WU, W.; LIN, K.; YANG, S.; LU, J. Automated anthropometric data collection from three-dimensional digital human models. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 32, n. 1-2, p. 109-115, 2007.

WANG, M.; WU, F.; MA, M.; CHANG, R. A new user-centered design approach: A hair washing assistive device design for users with shoulder mobility restriction. **Applied Ergonomics**, v. 40, n. 5, p. 878-886, 2009.

VEZZETTI, E; MARCOLIN, F. 3D human face description: landmarks measures and geometrical features. **Image and Vision Computing**, v. 30, n. 10, p. 698-712, 2012.

Sobre o autor

Clariana Fischer Brendler

Professora Assistente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, lotada no Departamento de Design e Expressão Gráfica. Doutoranda pelo programa de pós-graduação em Design (PGDESIGN/UFRGS) e integrante do grupo de pesquisa Virtual Design. Atuando, principalmente, nas seguintes áreas: geometria descritiva, desenvolvimento de projeto de produto, ergonomia, antropometria, tecnologias assistivas e digitalização tridimensional.

clariana.brendler@ufrgs.br

Marcelle Suzete Müller

Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Design (PGDESIGN/UFRGS) na linha de pesquisa Projeto de Artefatos. Coordenadora da Graduação Tecnológica em Design de Produto e Design Gráfico e Professora Adjunta da Faculdade de Tecnologia TecBrasil (FTEC). Realizando pesquisas que abordam os seguintes temas: Ergonomia, Inclusão, Acessibilidade e Tecnologia Assistiva.

marcelledesigner@hotmail.com

Fábio Pinto da Silva

Professor Adjunto (UFRGS). Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (UFRGS/2011). Revisor de projeto de fomento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), Revisor de projeto (SEDETEC/UFRGS) e Revisor de projeto de fomento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Experiência na área de Desenho Industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: Tecnologia Assistiva, Digitalização 3D, Usinagem CNC e Personalização em Massa.

fabio.silva@ufrgs.br

Fábio Gonçalves Teixeira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design (UFRGS). Professor Associado do Departamento de Design e Expressão Gráfica (UFRGS). Pós-Doutor na Universidade do Porto em Portugal na área de projeto de juntas adesivas e sua aplicação no desenvolvimento de produtos com bolsa CAPES da área de Design (2009-2010). Trabalha com projetos de pesquisa relacionados à metodologia de projeto e processos criativos, ao design virtual de produtos, ao projeto de produtos e à representação e modelagem.

fabioigt@ufrgs.br