

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS PARA DIGITALIZAÇÃO APLICADAS EM ENGENHARIA REVERSA

Augusto Moura Martins¹, augusto.mmartins@yahoo.com.br

Paulo Henrique Rodrigues Guilherme Reis², paulohrodriguesgr@hotmail.com

Breno Ferreira Lizardo², bflizardo@gmail.com

Paulo Eustáquio de Faria^{1,2}, paulofaria@ufmg.br

Juan Carlos Campos Rubio^{1,2}, juan@ufmg.br

¹ Departamento de Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia UFMG

² Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – Escola de Engenharia UFMG

Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antonio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte, MG – CEP: 31270-901

Resumo: Considerando os desafios atuais da manufatura, a agilidade e a versatilidade se estabelecem como características essenciais ao desenvolvimento do produto. Nesse contexto, as ferramentas de engenharia reversa ganham significativa importância, pois são capazes de reproduzir as formas geométricas complexas de determinados objetos além de potencializar as ações tecnológicas para a manufatura de produtos a partir da escaneamento de um modelo físico prévio. Todavia, existem diversos métodos de digitalização na engenharia reversa, e cada um deles apresenta benefícios e desvantagens que variam de acordo com o contexto de aplicação. Nesse cenário de incerteza o presente trabalho tem por objetivo apresentar e comparar as principais técnicas de digitalização do objeto físico contrastando os aspectos geométricos de cada escaneamento. Como ferramenta para a execução dessa pesquisa foi utilizada a máquina Roland MDX-20, que funciona com uma sonda controlada via CNC, representando o método de digitalização por contato, o software 123D Catch da Autodesk, que funciona pelo princípio da fotogrametria, e o escaneamento a laser, representando o método de escaneamento sem contato. Como resultados, foi atestado que o método de digitalização por contato representou com mais fidelidade geométrica o objeto avaliado. Por outro lado, o método de digitalização sem contato apresentou, tanto no escaneamento por fotogrametria, quanto no escaneamento a laser, significativa perda de detalhes do objeto físico, porém, em menor tempo. Finalmente, uma peça será prototipada em impressora 3D, permitindo uma comparação com o objeto real.

Palavras-chave: Digitalização, CNC, Fotogrametria, Laser, Prototipagem.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente percebe-se, principalmente no setor industrial, uma crescente necessidade de adaptação para atingir as expectativas do mercado. Considerando essa realidade, estimulada pela alta competitividade dos ambientes corporativos, a qualidade, bem como o custo e ciclo de vida, são fatores indispensáveis para o sucesso de um produto. Nesse contexto, a capacidade de reduzir o tempo de desenvolvimento de um produto pode ser a peça chave para a permanência de uma empresa no mercado.

Daschbach, McNichols (1995) estabelece a definição de Engenharia Reversa como sendo o processo de levantar dimensões, com rapidez e exatidão, determinando padrões geométricos modelo físico existente. Para Raja e Fernandes (2008), este processo permite a geração de um modelo tridimensional de maneira muito mais rápida e eficiente do que o processo de modelagem convencional em sistemas CAD, principalmente quando geometrias complexas estão presentes no produto.

Segundo Raja e Fernandes (2008), dois métodos principais são encontrados para os processos de aquisição, que são métodos por contato e os sem contato. Nos sistemas por contato os dados sobre uma superfície são mensurados apalpando pontos discretos com o auxílio de sondas adequadas, que são ligadas aos equipamentos projetados para realizar a digitalização. Os pontos, portanto, são obtidos pela coordenada do centro da sonda quando essa entra em contato com o objeto. Para os sistemas sem contato, as medidas das coordenadas dos pontos são aferidas por meio de sistemas que utilizam da emissão e/ou absorção de energia, não havendo o contato físico propriamente dito.

Segundo Aviz (2010), a aquisição da imagem é apenas a primeira etapa de um processo de manufatura. O próximo passo é a edição da imagem obtida. No processo de captura dos dados para a formação da imagem virtual existe a possibilidade de irregularidades e ainda, existe o caso em que se deseja realizar um reparo em uma falha previamente existente no objeto, sendo que, para o segundo caso, o processo de tratamento de imagem se apresenta, ainda, de mais importância. De acordo com Remondino (2003) as imagens podem ser tratadas por meio de softwares adequados e capacitados para alterar a nuvem de pontos obtida. Tais softwares também podem modificar a nuvem de pontos em diversos tipos de arquivos, que variam de acordo com a compatibilidade do processo de produção que será realizado, como, por exemplo, os arquivos de extensão .STL, que são considerados como um padrão para os aparelhos de prototipagem rápida.

Depois da edição da imagem, existe a etapa de pós-processamento, que se estrutura na geração de um algoritmo na linguagem de compilação das máquinas que irão manufaturar o componente, o que também pode ser realizado com o uso de softwares específicos para o equipamento e para o tipo de manufatura a ser realizado.

O processo de aquisição de imagem pode ser empregado na digitalização de diversos objetos como joias, dentes (Falcón-Antenucci *et al*, 2008) e ossos (Rathnayaka *et al*, 2012) também podem ser digitalizados. Esses objetos servem como exemplo da versatilidade dos processos de digitalização, que podem ser aplicados nas mais diversas áreas, entre elas a engenharia, a medicina e até as artes. Para Vaz e Araújo (2013), na medicina a digitalização pode ser utilizada para auxiliar pesquisas e até mesmo na preparação de cirurgias, no caso da arte a digitalização pode ser utilizada, por exemplo, para a criação de museus virtuais que possuam as mesmas obras de um museu real e que permita que uma pessoa tenha praticamente a mesma experiência de visitar o museu ao acessar a versão virtual.

Entender os processos de aquisição, conhecendo suas vantagens, limitações e condições sobre as quais podem ser úteis tornam-se essenciais para garantir bons resultados. Estudos comparativos podem auxiliar na escolha do método adequado, assim como os softwares a serem utilizados em um processo de aquisição. Visando entender melhor os principais casos de digitalização disponíveis comercialmente a baixos custos, este estudo apresenta um comparativo entre os métodos de digitalização sem contato, através da fotogrametria e escaneamento por feixe laser, e por contato, utilizando máquina de comando numérico computadorizado (CNC).

No processo de aquisição por fotogrametria, foi utilizado o software de processamento de imagens 123D Catch da Autodesk. Para o processo de digitalização por contato foi utilizando a máquina Modela MDX-20 da Roland. Para o processo de digitalização por varredura laser foi utilizado o Starter Kit, da fabricante David 3D Scanner

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Métodos de Digitalização

Segundo Aviz (2010) a aquisição por contato consiste então na geração de uma série de pontos que se posicionam formando a geometria do objeto que foi digitalizado. Esses pontos são gerados a partir do contato de uma sonda (sensor) adequado, com o objeto em questão, memorizando assim as coordenadas cartesianas dos pontos que compõe a geometria do objeto.

Os equipamentos para digitalização podem ou não possuir ciclos de trabalho já programados, normalmente esses ciclos programados levam a obtenção de uma malha regular, já que os pontos medidos estão normalmente igualmente espaçados. Os equipamentos geralmente realizam as medições em planos que se encontram paralelos ou perpendiculares a base do objeto.

Ainda segundo Aviz (2010) dentre os equipamentos utilizados para a medição por contato temos as máquinas de medição por coordenadas, braços de medição ou as máquinas CNC. Cada tipo de equipamento possui uma quantidade de graus de liberdade diferente o que faz com que eles sejam ou não capazes de acompanhar a geometria a ser digitalizada. Esses equipamentos podem utilizar duas estratégias para a aquisição de dados, a medição ponto a ponto e a medição por varredura. No caso da medição ponto a ponto o sensor se desloca até entrar em contato com a peça a ser avaliada e depois se separa da mesma, se deslocando para o ponto seguinte. Já no caso da aquisição por varredura o sensor permanece em contato com a peça e se desloca de maneira pré-determinada pelo usuário.

Para o caso da medição ponto a ponto a distância entre os pontos é um dos fatores que devem ser considerados quando se planeja a utilização de um equipamento de digitalização. Além disso, Ainsworth *et al* (2000) afirma que a geometria e as dimensões da sonda utilizada devem ser compatíveis com as dimensões da peça a ser digitalizada. Caso a sonda possua um diâmetro incompatível com as dimensões da peça ela pode funcionar como um filtro e mascarar a real geometria da peça. Outro fator que também interfere na digitalização é a força de contato entre a sonda e a peça, caso forem utilizadas forças inadequadas em alguns dos pontos podem ser geradas coordenadas incorretas.

Normalmente as máquinas de medição possuem mais de uma sonda para atender a um número maior de aplicações. Para que se consiga o maior número de detalhes o ideal é utilizar a menor solda possível para que ela consiga acessar todos os detalhes da peça a ser digitalizada. Além das dimensões das sondas outro fator que se deve considerar ao é a área de trabalho disponível do equipamento o que limita a dimensões das peças que se pode trabalhar.

Normalmente as máquinas que possuem função de digitalização fazem uso de um software, normalmente do mesmo fabricante que é capaz de configurar os parâmetros necessários para a realização do processo, esses parâmetros são as dimensões de altura, comprimento e largura da peça, além da distância entre os pontos em cada eixo. As máquinas de medição por coordenadas, por exemplo, podem funcionar de forma manual onde a sonda deve ser levada a cada um dos pontos pelo operador, o que leva a uma aquisição de pontos menos ordenada. Algumas das máquinas de

medição, não são capazes de fornecer diretamente uma imagem da superfície, mas geram um arquivo com as coordenadas de cada um dos pontos aferidos, o que possibilita a geração posterior de uma superfície.

Apesar de ser utilizada nas mais diversas áreas, a digitalização por contato apresenta ainda uma principal limitação ligada ao material da peça a ser digitalizada, segundo Silva (2011) em algumas aplicações a existência de contato entre a peça e o sensor pode danificar a peça, como o caso de artefatos históricos frágeis ou materiais flexíveis. Os métodos de digitalização que não utilizam contato apresentam limitações relacionadas a superfícies transparentes ou brilhantes o que não ocorre nos processos por contato.

Para Raja e Fernandes (2008) a aquisição de imagens tridimensionais pelo método sem contato envolve, como sugere o nome, procedimentos que não necessitam do contato físico com o objeto a ser digitalizado para a obtenção dos pontos que definem sua superfície. Os aparelhos de aquisição que utilizam este método são, em geral, sistemas óticos ou dispositivos de carga acoplada (CCDs).

Segundo Raja e Fernandes (2008), uma das vantagens desses aparelhos é a possibilidade de aquisição de uma grande quantidade de pontos em um período de tempo relativamente curto e o fato de não necessitarem de um planejamento detalhado para a varredura do objeto. Entretanto, sua precisão dimensional é reduzida quando comparada aos aparelhos que utilizam o método de contato. São descritos resumidamente a seguir os principais métodos de digitalização sem contato.

a) Aquisição espacial com iluminação passiva – Utiliza dois dispositivos que captam imagens simultâneas por diferentes ângulos utilizando luz natural, que são processadas para geração de um modelo do objeto;

b) Aquisição espacial com iluminação ativa – Utiliza uma fonte de luz controlada, geralmente lasers, e uma câmera posicionada em local pré-determinado para a obtenção dos pontos;

c) Imagens médicas – Utiliza imagens médicas para a obtenção de modelos tridimensionais, normalmente de partes do corpo humano ou de animais;

d) Fotogrametria – Utiliza imagens captadas com uma câmera digital e posteriormente processadas por meio de um software para a obtenção de modelos tridimensionais.

A aquisição de imagens pelo método da fotogrametria apresenta a vantagem de consumir pouco tempo na preparação e obtenção dos dados iniciais, já que eles se resumem a imagens digitais. Outro aspecto relevante é que não há limitação dos objetos digitalizados no que tange a peso e tamanho. Para Ahrens *et al.* (2013) esse método apresenta grandes variações no modelo final quando são utilizadas imagens com diferentes distâncias focais e alto custo relacionado à obtenção dos equipamentos quando uma maior precisão é demandada, sendo as câmeras de alta resolução equipamentos de alto valor agregado. Segundo Remondino (2013), quando utilizadas as câmeras digitais convencionais, este método apesar de apresentar menor precisão, é uma técnica de baixo custo, de alta flexibilidade e portabilidade, possibilitando a medição de objetos *in loco*.

Ainda considerando os métodos sem contato, a digitalização por laser de varredura é comumente utilizada por apresentar relativa baixa complexidade estrutural, facilidade na obtenção de grandes densidades de pontos, e considerável velocidade na aquisição de pontos, podendo obter até 1.000p/s. Para Hartley e Zisserman (2004) a técnica em questão tem como componentes principais uma câmera para obtenção das imagens a serem digitalizadas, e uma fonte de luz estruturada e um sistema de processamento de dados para a formação da imagem.

Para Wego (2011) a utilização das tecnologias de escaneamento laser tem apresentado grande potencial para o levantamento de dados em estruturas de geometria complexa, destacando a confiabilidade dimensional obtida associada à fidelidade geométrica no modelo virtual.

Todavia, esse método apresenta limitações referentes a cor, ao acabamento superficial do objeto e a luminosidade do local da digitalização, uma vez que possui deficiências na digitalização de objetos translúcidos, superfícies com acabamentos muito profundos ou côncavos, e, muitas vezes, depende de uma baixa luminosidade ambiente para obter maior qualidade do modelo virtual. Para Reja e Fernandes (2008) outra variável de relevância na obtenção do modelo virtual são as propriedades reflexivas das superfícies digitalizadas, que podem comprometer a precisão do sistema de digitalização em função da alteração da intensidade com que o feixe laser é percebido pelo sensor ótico.

2.2. Prototipagem Rápida

A demanda pela confecção avançada de protótipos comportamentais e estruturais, promovida pela necessidade no desenvolvimento de pesquisas em manufatura e pela crescente carência dos setores industriais para oferecer uma resposta rápida às solicitações de negócio consolidou o desenvolvimento do conceito de Prototipagem Rápida (PR).

Para Raja e Fernandes (2008) o conceito em questão se traduz na classe de tecnologias de manufatura utilizadas na fabricação de objetos físicos a partir de deposição de material, camada por camada, tomando como referência a representação virtual do objeto por sistemas 3D-CAD. Segundo os autores a técnica de PR é o melhor processo de manufatura existente para o fabrico de pequenos componentes e peças complexas. Para Pham e Gault (1998) o conceito se elucida no grupamento de tecnologias que possibilitam a manufatura de componentes físicos diretamente dos modelos 3D-CAD sem a necessidade de intervenção humana no ferramental.

Segundo Raja e Fernandes (2008) as tecnologias de Manufatura Aditiva permitem o desenvolvimento de protótipos de maneira rápida e precisa, sem a necessidade de utilização de qualquer outra ferramenta, o que gera uma grande vantagem de fabrico em contraste os métodos convencionais de manufatura subtrativa, em que a fabricação é realizada por remoção de material, tal qual a usinagem.

Nota-se que a Prototipagem Rápida, atualmente, apresenta certa limitação quanto à utilização de seus produtos derivados no âmbito da funcionalidade. Wholers (2006) observa que 27,3% dos produtos manufaturados a partir de PR são utilizados em modelos funcionais, enquanto 26,3% dos produtos são utilizados em aplicações visuais. Mais de 29% das impressões realizadas tem sua finalidade na produção de moldes, ao passo que 9,6% das fabricações de PR são para produção direta e bens acabados de fabricação aditiva.

Segundo Raja e Fernandes (2008), para que a produção de protótipos por PR seja efetiva são necessários diversos fatores que, operando em conjunto, possibilitam a transformação do modelo virtual em um modelo físico manufaturado. Essa transformação segue seis etapas de processo.

O primeiro processo diz respeito à criação de um modelo virtual, que por ser obtido por modelagem direta em software 3D-CAD ou pelo escaneamento do objeto físico. Após a obtenção do modelo virtual da peça, o segundo processo é a conversão do modelo CAD para o formato STL (*Standart Triangulation Language*), visto que para a realização da prototipagem a malha do objeto virtual deve se apresentar sua configuração modelada a partir de triangulação geométrica. O próximo processo é a transformação da malha da superfície virtual em um projeto conceitual sólido, possibilitando a prototipagem. O quarto processo é a modelagem do sólido virtual. Embora o processo em questão não seja requerido em todas as técnicas, o sólido virtual pode apresentar proeminências indesejadas ou distorções em sua estrutura, forçando o ajuste manual da modelagem final do sólido. O quinto processo é a produção camada por camada do modelo, em que a reconstrução é realizada por adição de material com o auxílio do maquinário apropriado de PR. O derradeiro processo é o Pós-Processamento. Nessa etapa o objetivo é limpar e finalizar o modelo físico, retirando a estrutura de suporte e em alguns casos infiltrando materiais para proporcionar propriedades específicas.

Para efetivar a fabricação de protótipos existe larga variedade de técnicas comumente utilizadas. Segundo Chua (1991), as tecnologias referentes à manufatura de componentes por PR se agrupam em duas categorias conforme a forma de fabricação, se por adição de material ou remoção de material. Para a categoria de remoção de material existe a técnica de prototipagem por usinagem, em que o processo se inicia com o bloco de material que é usinado até a formação da peça desejado. Para a categoria de prototipagem por adição de material existem as técnicas de Estereolitografia, Sinterização Seletiva a Laser, Modelagem por Deposição de Material Fundido, Impressão Tridimensional, Manufatura de Objetos em Lâminas, Impressão por Jato de Tinta e Conformação Próxima ao Formato Final via Laser.

3. METODOLOGIA

O objeto foi selecionado baseando-se em suas características geométricas já que possui uma geometria complexa que permite a avaliação da capacidade de reprodução do objeto pelo método de aquisição. O objeto foi, portanto, digitalizado com o uso da Roland Modela MDX-20, com o Software Autodesk 123D Catch e o com o kit de digitalização a laser DAVID Laser Scanner Starter Kit, conforme Fig 1.

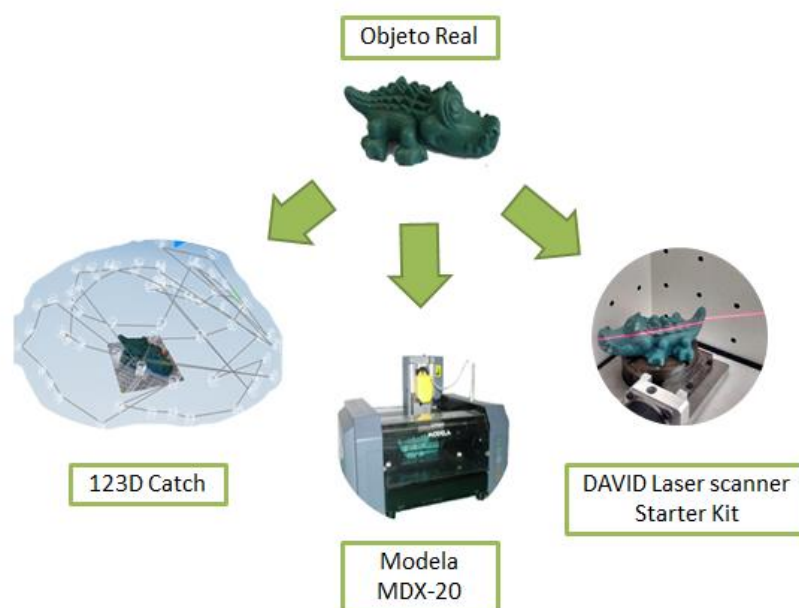


Figura 1. Objeto e modos de digitalização empregados.

De acordo com o manual do usuário da máquina Roland Modela MDX-20, a área de trabalho disponível é de 203,2 x 152,4 x 60,5 mm, já a sonda tem um raio de ponta de 0,08 mm e 60 mm de comprimento. Esse raio de ponta possibilita, portanto que a sonda seja capaz de digitalizar pequenas variações de geometria. Essa capacidade do

equipamento permite que ele seja utilizado para a digitalização de componentes pequenos e que podem possuir superfícies irregulares. A imagem da digitalização com o uso dessa máquina com destaque para a ponta da sonda pode ser observada na Fig 2.



Figura 2. Processo de digitalização Roland Modela MDX-20

Cada equipamento possui, portanto, um software que tornará possível o seu uso, o software que deve ser utilizado com a máquina Roland Modela MDX-20 é o Dr. PICZA, esse software possibilita o ajuste de parâmetros como a área a ser digitalizada, a distância entre os pontos nos eixos X e Y e a altura máxima e mínima do objeto a ser digitalizado (coordenada mínima e máxima em Z) esses parâmetros devem sempre respeitar os limites máximos da área de trabalho da Modela. O Dr. PICZA permite também que as informações digitalizadas exportadas com diferentes extensões, entre elas STL e DXF. No trabalho em questão foi utilizada uma distância entre os pontos (Pitch) de 0,10 mm, tanto no eixo X quanto no eixo Y. O tempo gasto no processo de digitalização por contato tende a ser longo principalmente quando se utiliza um pitch pequeno, por isso não foi utilizado o menor pitch possível. Já a área de trabalho foi configurada para garantir que todo o objeto fosse digitalizado. Com o mesmo software foi gerado um arquivo .STL a partir dos pontos obtidos pela sonda. O tempo necessário para a aquisição da nuvem de pontos foi de aproximadamente 50 horas. O tempo estimado para a digitalização do mesmo objeto com o pitch de 0,05 mm em ambos os eixos era de 170 horas, inviabilizando para os fins deste trabalho a sua utilização.

O mesmo objeto foi digitalizado também pelo software 123D Catch, da Autodesk. Esse software é gratuito para fins não comerciais e funciona por meio da triangulação de uma série de imagens retiradas em diferentes ângulos, através do método Structure From Motion (Chandler e Fryer, 2013). As imagens foram feitas com a câmera do celular Samsung Galaxy S4 GT-I9192, de 8 mega pixels, com o auxílio do aplicativo para smartphone fornecido pela Autodesk. Foram utilizadas 70 fotografias em ângulos diferentes. O esquema de fotos apresentado pelo software pode ser observado na Fig. 3. As fotos tiradas são utilizadas pelo software 123D Catch para gerar um arquivo STL. Devido ao seu princípio de uso, além da peça desejada, o arquivo STL contém também a superfície em que ela estava apoiada além dos outros objetos que possam estar ao redor. Por esse motivo, fez-se necessária a edição da imagem para remoção de objetos indesejados.

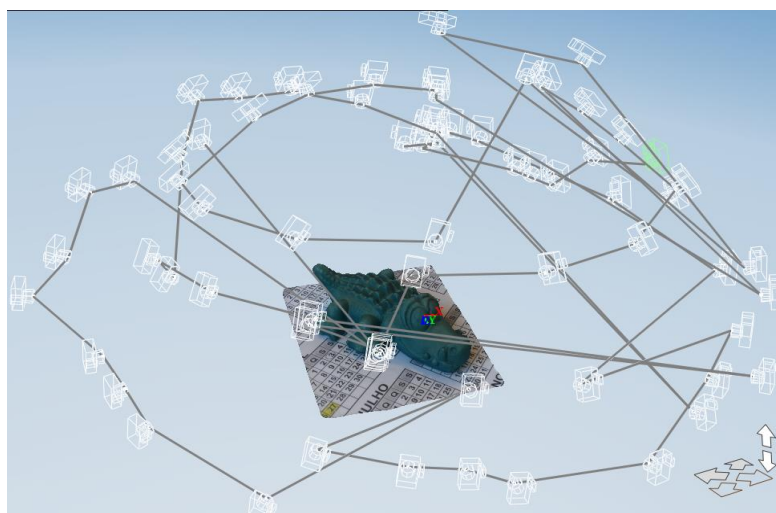


Figura 3. Representação das imagens utilizadas pelo 123d Catch

Por fim, o objeto de estudo foi submetido à digitalização pelo método de varredura laser utilizando o conjunto de digitalização Starter Kit, da fabricante norte americana David 3D Scanner. Para essa metodologia o princípio de digitalização é baseado na telemetria, onde uma linha laser é projetada sobre o objeto realizando sua varredura, que, por sua vez, é capturada por uma câmera, disposta defronte ao objeto a ser escaneado.



Figura 4. Processo de digitalização David Scan Starter Kit

As imagens capturadas pela câmera alimentam o software de digitalização, que, de acordo com a movimentação da linha laser, determina as coordenadas dos pontos XYZ na superfície do alvo de escaneamento, criando assim a superfície 3D do objeto.

4. RESULTADOS

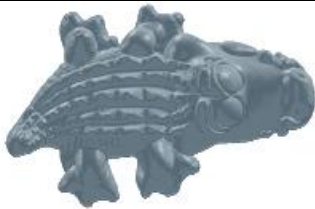
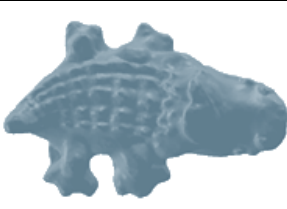
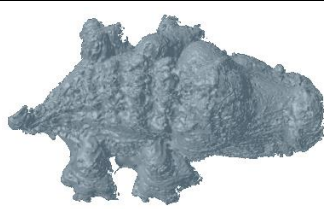
A imagem gerada pela aquisição por contato, como já era esperado, apresentou como principal limitação a dificuldade de acesso da sonda a todas as regiões da peça. As regiões que foram facilmente acessadas pela sonda como a região superior do objeto, apresentaram uma definição de ótima qualidade.

A digitalização por fotogrametria, feita através do 123D Catch foi capaz de reproduzir detalhes que não aparecem e apenas seriam possíveis através do ajuste manual de malhas de diferentes digitalizações do objeto pelo método da digitalização por contato. Depois da exportação do arquivo STL a partir das imagens mostradas no software ocorreu uma nítida perda de definição dos detalhes, além das informações sobre textura e cores do objeto.

A digitalização realizada por varredura laser apresentou grande quantidade de ruído no modelo além da exigência de realização da digitalização no escuro, apesar de demonstrar maiores detalhes estruturais se comparado com o método de digitalização por fotogrametria, como o volume na parte superior do modelo e aparecimento de detalhes, como a dentição do jacaré. Estudos prévios já foram realizados com a finalidade de aferir a precisão dimensional do equipamento laser utilizados para esse estudo, e, segundo Celani, (2009) a digitalização realizada pelo sistema David Scanner apresentou, além de muito ruído, pouca precisão dimensional quando comparado com outros sistemas de digitalização mais precisos. Para Alby (2009) os sistemas de digitalização a laser, apesar de apresentarem relativa equivalência dimensional se comparado à fotogrametria, apresentam diversas limitações estruturais, como a necessidade da realização da digitalização no escuro e limitações dimensionais do objeto, se limitando entre objetos de 5 a 50 cm.

As dimensões obtidas pela utilização dos três métodos foram similares, apresentando poucas variações dimensionais. Na imagem obtida por meio do 123DCatch foi necessária a aplicação de uma escala no eixo X para obter as dimensões do objeto. A medida do eixo Z foi a que apresentou maior distorção (7,6%). O desvio no eixo Y foi um pouco menor (2,2%). A resolução da Roland Modela MDX-20 é de 0,025 mm. O comparativo dimensional dos três objetos pode ser observado no Tab. 1.

Tabela 1. Comparativo dimensional nos três métodos.

Roland Modela MDX-20	123D Catch	David Scan Starter Kit
		
Resolução X: 145,86 mm	Resolução X: 145,70 mm	Resolução X: 146,4 mm
Resolução Y: 93,90 mm	Resolução Y: 91,76 mm	Resolução Y: 94,3 mm
Resolução Z: 47, 19 mm	Resolução Z: 50, 73 mm	Resolução Z: 49,5 mm

No âmbito da caracterização das diferenças observadas nos modelos virtuais, pode-se destacar a variação na precisão dimensional, necessidade pós-tratamento do modelo e precisão geométrica. Para a precisão dimensional foi observado uma maior fidelidade no modelo gerado pela Roland Modela MDX-20, pelo fato da captura de pontos apresentar um desvio máximo de 0,10mm, alcançando maior assertividade na dimensão do objeto se comparado com o método de varredura laser e fotogrametria, que alcançam desvios de 0,2mm. A necessidade de pós-tratamento do modelo virtual se apresentou com maior latência no escaneamento por varredura laser, visto que tal procedimento demonstrou grande quantidade de ruídos. Essa peculiaridade do método pode ser explicada pela característica refletiva do objeto, que pode ter influenciado na captura de pontos. Ainda se tratando da necessidade de pós-tratamento do modelo, a digitalização pelo método por contato, bem como a fotogrametria não apresentaram quantidades significativas de ruídos. A precisão geométrica se demonstrou mais fiel no modelo gerado pela Roland Modela MDX-20, que reproduziu os detalhes geométricos com mais precisão devido a distancia entre os pontos da malha virtual não ultrapassarem 0,10mm. Os modelos gerados pelos métodos de varredura laser e fotogrametria apresentaram precisão geométrica inferior se comparado ao modelo gerado pela Roland Modela MDX-20 por apresentarem distorção na superfície do objeto virtual, como ruídos para a varredura laser, e imprecisão de detalhes de profundidade pelo método de fotogrametria. É importante ressaltar que, apesar da maior precisão dimensional e geométrica apresentado pelo modelo gerado pela Roland Modela MDX-20, o objeto virtual gerado apresentou certas diferenças geométricas se comparado com o objeto físico, causado por limitações no alcance da sonda no momento da digitalização.



Figura 5. Objeto original e protótipo

O protótipo foi executado a partir do arquivo STL gerado pela Roland Modela MDX-20, Digitalização que apresentou dimensões mais compatíveis com o objeto de estudo. O protótipo apresenta dimensões de 33,6 mm no eixo X, 64 mm no eixo Y, e dimensão de 99,4 mm no eixo Z.

5. Considerações Finais

A comparação entre os resultados dos três métodos de aquisição deixa claro que a escolha de cada um deles, irá depender da finalidade de uso do objeto virtual fornecido por cada método, levando em consideração a dimensão, a complexidade geométrica, o custo e o tempo de digitalização.

O tempo disponível para a digitalização do objeto é um fator de grande importância no planejamento da aquisição. Na digitalização por contato o tempo aumenta consideravelmente com o tamanho do objeto e a definição desejada, o que não ocorre pelo método da fotogrametria, e o método de varredura laser. Apesar da perda de definição observada no método da fotogrametria e a grande quantidade de ruídos apresentado pelo método de varredura laser, que pode ter sua causa relacionada ao efeito de reflexão do objeto digitalizado, ambos os métodos podem ser utilizados para aplicações na engenharia, considerando suas dimensões resultantes, facilidade de escaneamento e custo reduzido.

Com relação à dimensão operacional é observada maior facilitação de manuseio nas técnicas de digitalização sem contato, principalmente da técnica de fotogrametria, que se demonstrou acessível e de simples execução. A técnica de escaneamento laser apresentou relativa facilidade no manuseio do equipamento, enquanto a técnica de digitalização por contato apresentou maior necessidade de conhecimentos técnicos do manuseador.

Se tratando de custo de processo a técnica de fotogrametria é a mais acessível das técnicas apresentadas, demandando apenas uma câmera digital, e o software de processamento de imagens. As demais técnicas, varredura laser e escaneamento por contato, apresentaram a elevação dos custos causada pela aquisição dos equipamentos necessários para a realização das digitalizações.

Pode-se ainda destacar a necessidade do pós-processamento das imagens adquiridas para aumentar a qualidade dos dados, independente do tipo de aquisição realizada. Essa necessidade é um fator limitante para a automatização desses processos, sendo a habilidade do operador ainda muito importante na garantia na precisão dimensional dos modelos

obtidos. Além disso, o custo dos processos é razoavelmente acessível, permitindo então que mais pessoas tenham acesso à essas tecnologias.

Referências

- Alby E, Smigiel E.,Assali P.,Grussenmeyer P.,Kauffmann-Smigiel I. *low cost solutions for dense point clouds of small objects: photomodeler scanner vs. david laserscanner* 22nd CIPA Symposium, October 11-15, 2009
- Ahrens, C.; Vellwock, A.; Pfeifer, D.; Pistorello, R. *Engenharia reversa por meio de fotogrametria: Estudo Comparativo da técnica de digitalização tridimensional visando aplicação na manufatura aditiva*. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Penedo, 2013
- Ainsworth, I.; Ristic, M.; Brujic, D. *CAD-Based Measurement Path Planning for Free-Form Shapes Using Contact Probes*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2000) 16:23–31
- Aviz, D. *Estudo da Técnica de Engenharia Reversa para Construção de Geometrias Complexas Focando Erros de Forma e Métodos de Digitalização Geométrica*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Sociedade Educacional de Santa Catarina, Instituto Superior Tupy, Joinville, 2010
- Celani, G., Cancherine, L. *Digitalização Tridimensional de Objetos: um estudo de caso*. PAN Panorama, 2009
- Chandler, J; Fryer, J. *Autodesk 123D Catch: how accurate is it?*, Revista Geomatics World, pgs 28 a 30, 2013
- Chua, C. K., Chou, S.M., Lin S.C., Eu, K.H. Lew, K.F. *Rapid Prototyping Assisted Surgery Planning*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 9, 1998
- Daschbach, Abella; McNichols. *Reverse Engineering: A Tool for process planning*. 17th International Conference on Computers and Industrial Engineering. Elsevier Science Ltd. Vol. 29, No. 1-4, pp. 637-640. Setembro 1995.
- Falcón-antenucci, R.; Pellizzer, E.; Carvalho, P.; Silva, J.; Moraes, S. *Avaliação das Tensões na Interface Implante/Coroa*. Rev. Cir. Traumatol. Buco-Maxilo-fac., Camaragibe v.8, n.3, p. 49 - 56, jul./set. 2008
- Nagamune, Kouki. *Development of Force Measurement System by Embedding Force Sensor to Insert of Knee Prosthesis*. World Automation Congress. 2010.
- Prasanth, S. P. Sathya. Dhanalakshmi, V. *Comparison of Data Capturing Techniques and Analysis of Part Model in Reverse Engineering*. Thiagarajar College of Engineering, Madurai, India.
- Raja, V.; Fernandes, K. J. *Reverse Engineering: an industrial perspective*. Londres: Editora Springer, 2008.
- Rathnayaka, K.; Momot, K.I.; Noser, H.; Volp, A.; Schuetz, M.A.; Sahama, T.; Schmutz, B. *Quantification of the accuracy of MRI generated 3D models of long bones compared to CT generated 3D models*. Medical Engineering & Physics 34 p.357– 363, 2012.
- Remondino, F.; *From Point Cloud To Surface: The Modeling And Visualization Problem*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10. 2003
- Roe, John Andrew. *Mechanical Testing and Measurement of a Cemented, Polished, Tapered Femoral Implant*. Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the award of Doctor. School of Engineering Systems, Queensland University of Technology, Brisbane, 2011.
- Roland DG Corporation, *Roland Modela MDX-20 and MDX-15 User's manual*. Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JAPAN. 72 p
- Silva, F. *Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência*. 2011. Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Vaz, F.; Araújo, C. *MUSEU VIRTUAL INTERATIVO: Técnicas para Digitalização e Exposição*. Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE. Ano 7 n. dezembro de 2013.
- Volpato, Neri, *Prototipagem Rápida: Tecnologia e Aplicações*, São Paulo: Editora Blucher, 2007.
- Wego, W. *Reverse engineering: Technology of Reinvention*, CRC Press – Taylor & Francis, Florida, USA, 2011.
- Wholers, T., *Rapid prototyping and manufacturing: State of the industry - Annual World Wide Progress Report*; 2006.

TECHNICAL ASSESSMENT FOR SCANNING APPLIED IN REVERSE ENGINEERING

Augusto Moura Martins¹, augusto.mmartins@yahoo.com.br

Paulo Henrique Rodrigues Guilherme Reis², paulohrodriguesgr@hotmail.com

Breno Ferreira Lizardo², bflizardo@gmail.com

Paulo Eustáquio de Faria^{1,2}, paulofaria@ufmg.br

Juan Carlos Campos Rubio^{1,2}, juan@ufmg.br

¹ Mechanical Engineering Program - Engineering School UFMG

² Postgraduate Program in Production Engineering – Escola de Engenharia UFMG
Belo Horizonte – MG – CEP 31270-901

Abstract: *Considering the current manufacturing challenges, agility and versatility are established as essential characteristics to product development. In this context, reverse engineering tools gain significant importance, as they are able to reproduce the complex geometric shapes of certain objects as well as leverage the technological actions for the manufacture of products from the scanning of a previous physical model. However, there are several methods of scanning reverse engineering, and each has benefits and disadvantages vary according to the application context. In this scenario of uncertainty this study aims to present and compare the main physical object scanning techniques contrasting the geometric aspects of each scan. As a tool for the implementation of this research was used the Roland MDX-20 machine, which works with a controlled probe via CNC, representing by contact scanning method, the 123D Catch of Autodesk software, which works by the principle of photogrammetry and scanning laser, representing the non-contact scanning method. As a result, it was attested that by contact scanning method represented more geometric fidelity evaluated object. Moreover, the scanning method presented without counted in both the scanning photogrammetry, as in laser scanning, significant loss of details of the physical object, but in less time. Finally, a piece will be prototyped 3D printer, allowing a comparison with the real object.*

Keywords: *scanning, CNC, Photogrammetry, Laser, Prototyping.*