

ESTUDO CONCEITUAL E DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO DE UM SCANNER TRIDIMENSIONAL BASEADO NA TRIANGULAÇÃO LASER DO TIPO FOLHA DE LUZ

Sidemar Roberto Ribeiro, sidemar_ribeiro@hotmail.com¹

Guilherme de Santana Weizenmann, guilherme.weizenmann@ifsc.edu.br¹

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Avenida Nereu Ramos 3450-D, Seminário, Chapecó-SC, 89813-000

Resumo: O presente trabalho trata do desenvolvimento de um protótipo de um scanner 3D, economicamente acessível, baseado no princípio da triangulação laser. Um scanner 3D é um equipamento capaz de digitalizar um objeto real, gerando uma nuvem de pontos, que por sua vez pode ser integrada com sistemas CAD/CAM para programação e usinagem destes. O processo de digitalização facilita, por exemplo, a fabricação de moldes ortopédicos personalizados, como de encostos e assentos para cadeiras de rodas. A validação do sistema se deu escaneando objetos genéricos, devido à limitação de tamanho da estrutura do protótipo. Realizou-se em torno de dez ensaios com dimensões variadas para avaliar o erro de medição do sistema. Os resultados demonstram que o protótipo ainda precisa de muitas melhorias, mas é um excelente ponto de partida para o desenvolvimento de novas pesquisas no campo da personalização de acessórios ortopédicos, entre outras aplicações, com baixo custo.

Palavras-chave: triangulação laser, digitalização 3D, moldes ortopédicos

1. INTRODUÇÃO

Superfícies livres são definidas como superfícies cuja geometria não pode ser representada por equações matemáticas definidas, sendo normalmente de difícil descrição analítica e, conseqüentemente, de difícil medição. Apesar das dificuldades na medição e fabricação de superfícies livres, seu emprego tem encontrado cada vez mais espaço na indústria e aplicações diferenciadas (Nerosky, 2001; Bonacorso, 2004).

Como exemplo de aplicação pode-se citar a fabricação de acessórios ortopédicos personalizados. Um cadeirante, por exemplo, passa várias horas do seu dia sentado sobre sua cadeira e, devido distribuição de pressão irregular nos encostos e assentos genéricos, acaba por desenvolver úlceras. A personalização dos encostos e assentos para cadeira de rodas, visando diminuir estes problemas, normalmente envolvem custos elevados que restringem o acesso de pacientes com menor renda (Prestes, 2011; Beretta, 2011; Silva, 2011).

A confecção de encostos personalizados, em sua grande maioria, é feita a partir de moldes produzidos em gesso para adequar-se ao usuário. A continuidade do processo de fabricação pode ser realizada aplicando-se técnicas de visão computacional, sendo possível gerar uma digitalização em 3D de objetos reais, integrando-a aos processos de desenho e manufatura auxiliado por computador, CAD/CAM e CNC (Marques Filho, 1999; Puhl, 2015).

O estudo para o desenvolvimento de equipamentos de medição dos moldes com baixo custo e fácil operação têm papel fundamental na melhoria do acesso a equipamentos personalizados e ergonômicos, sendo este o foco do presente trabalho.

2. TRIANGULAÇÃO DO TIPO FOLHA DE LUZ

Nos scanners que utilizam o princípio de triangulação laser, o escaneamento é feito relacionando-se uma fonte de luz (emissor laser) e o sensor da câmera. A estrutura deve ser montada de forma que a "folha de luz" do laser atravesse o campo de visão da câmera. A linha luminosa projetada sobre o objeto carrega informações sobre a sua geometria em uma determinada seção, como poder observado na Figura 1.

A imagem capturada pela câmera é interpretada, buscando identificar o centro da linha laser, para realizar a medição da geometria. A Figura 2 ilustra o perfil de intensidade de luz de uma coluna i , o ponto de maior intensidade em cada coluna é considerado o centro da linha (Buschinelli, 2007).

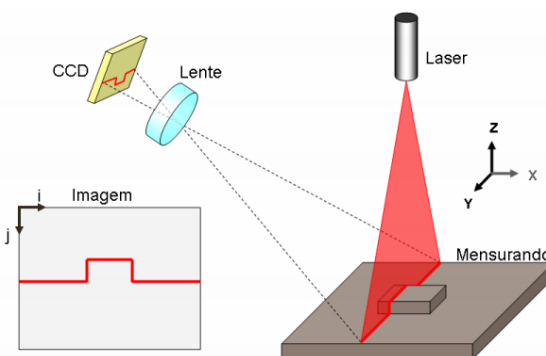


Figura 1. Esquemático de medição por triangulação laser com plano de luz (Buschinelli, 2007)

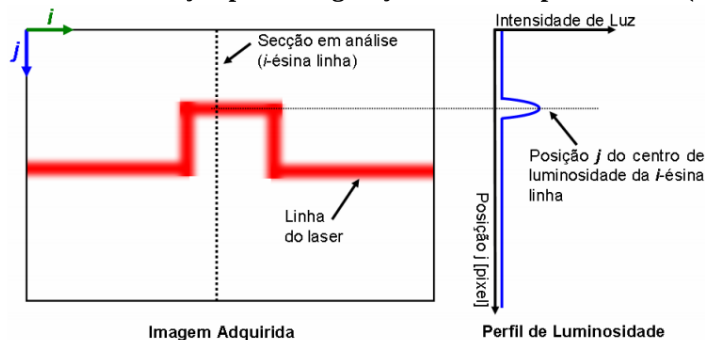


Figura 2. Detecção do centro de luminosidade da linha laser (Buschinelli, 2007)

Esta técnica obtém apenas informações bidimensionais da superfície, mas pode-se realizar a movimentação da peça ou do conjunto óptico para medição de várias secções, formando uma superfície tridimensional por varredura (Pinto et al. 2012, Nerosky 2001). Optou-se por essa técnica no presente trabalho por se tratar de um sistema robusto e de baixo custo e dessa forma trazer uma contribuição economicamente acessível (Puhl, 2015; Viviani, 2015).

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para o desenvolvimento do protótipo utilizou-se uma estrutura em aço inox para fixação dos seguintes componentes: Um emissor laser 5 volts, do tipo “folha de luz”, uma câmera USB comercial com resolução de 640x480 pixels, um fuso trapezoidal de passo 1/16” (1,58 mm) com 280mm de comprimento, um motor de passo modelo Nema KTC-HT23-394, um driver para controle do motor de passo modelo A4988, um microcontrolador ATmega 328, duas guias lineares de 15x15mm com patins. A estrutura foi montada conforme Figura 3.

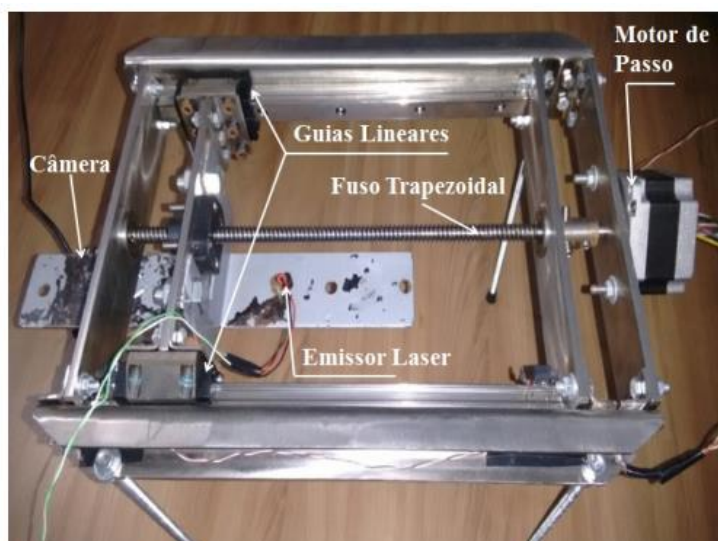


Figura 3. Protótipo do Scanner

Para o desenvolvimento do algoritmo de controle do sistema, utilizou-se a linguagem C# na plataforma do Microsoft Visual Studio 2015. Outro recurso utilizado foi a biblioteca EmguCV, (Emgu, n.d.), uma ferramenta *Open Source*, aplicada para o tratamento e processamento das imagens.

Ao ser dado o comando para iniciar, o sistema envia um comando via comunicação serial para o microcontrolador que aciona o laser. Em seguida captura uma imagem com a linha laser projetada sobre o objeto, conforme Figura 4 A. Na sequência, envia o comando para desligar o laser e captura outra imagem na mesma posição da anterior, conforme Figura 4 B. Faz-se uma subtração das imagens com o objetivo de se eliminar o ambiente e obter uma terceira imagem somente com a linha laser, que contém o perfil da geometria do objeto, Figura 4 C, a esta imagem são aplicados filtros de suavização (*SmoothBlur*) para diminuir ruídos aleatórios, provenientes de reflexos.

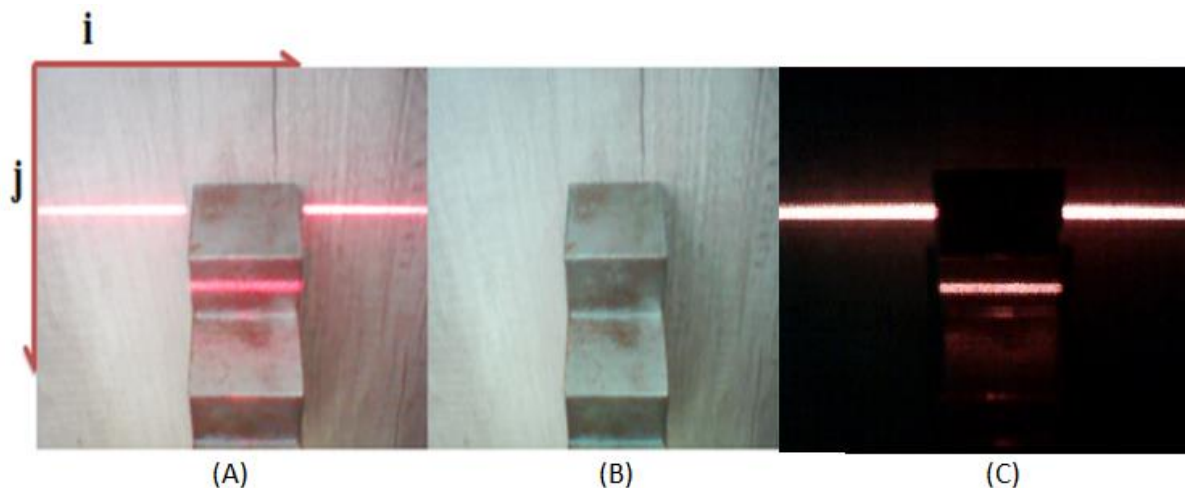


Figura 4. (A) Imagem com laser, (B) Imagem sem laser e (C) Resultado da subtração das imagens

O resultado da imagem filtrada é segmentado em colunas. Para cada coluna i , o sistema rastreia a linha j de maior intensidade para definir o pixel que se encontra mais próximo do centro da linha laser.

Após o processamento da imagem e da linha laser o sistema envia um comando ao microcontrolador que aciona o motor de passo de forma controlada e desloca o conjunto (câmera e emissor), repetindo-se todo o processo dentro de um *loop*, até que todo o objeto seja escaneado. As coordenadas de todos os pontos são salvas em um arquivo de texto (.txt) para serem posteriormente processadas pelo usuário.

Um fluxograma da sequência de funcionamento do sistema é apresentado na Figura 5.

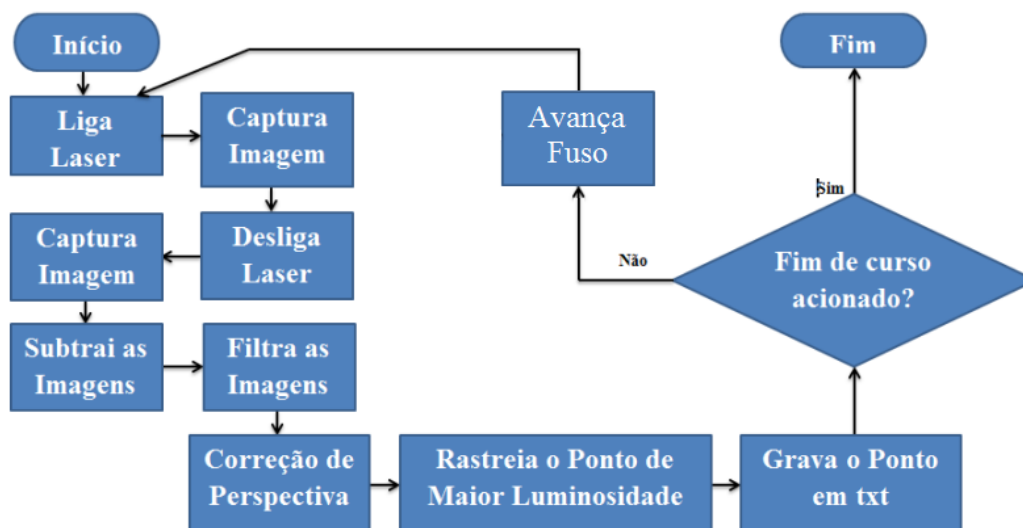


Figura 5. Fluxograma do funcionamento sistema

O software de operação do scanner foi desenvolvido com intuito para ser de fácil operação: pressionando-se o botão início, o processo é iniciado e através de chaves fim de curso, é controlado automaticamente até o final, cabendo ao usuário apenas o posicionamento do objeto e a partida do sistema.

A Figura 6 apresenta a interface de operação. Com o scanner conectado ao computador é possível acompanhar, em tempo real, a evolução do escaneamento. Na tela do computador são apresentadas três imagens: no canto superior esquerdo tem-se a imagem original com a linha laser projetada sobre o objeto, ao lado a imagem sem a linha laser e abaixo a imagem resultante, filtrada e corrigida. Na direita da tela é apresentado um gráfico com as mesmas medidas das imagens capturadas, no qual são plotados, em duas dimensões, os pontos de maior intensidade luminosa rastreados.

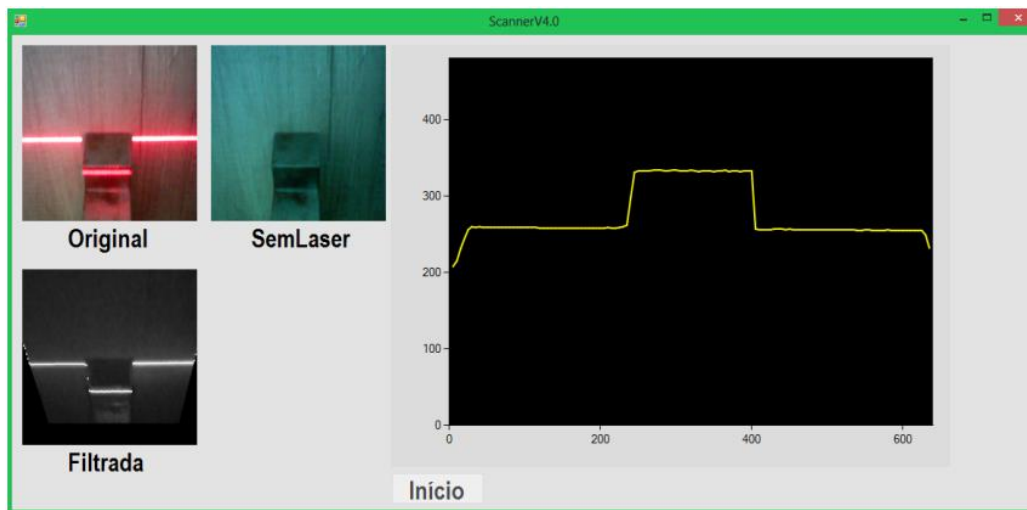


Figura 6. Interface de operação do sistema

4. METODOLOGIA PARA CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

A Figura 7 ilustra como a câmera enxerga a cena da imagem capturada. Como a projeção do laser em relação ao objeto é de 90° necessita-se fazer uma correção de perspectiva para que o campo de visão da câmera seja ortogonal ao plano de projeção do laser, para posteriormente ser realizada a conversão para unidades métricas.

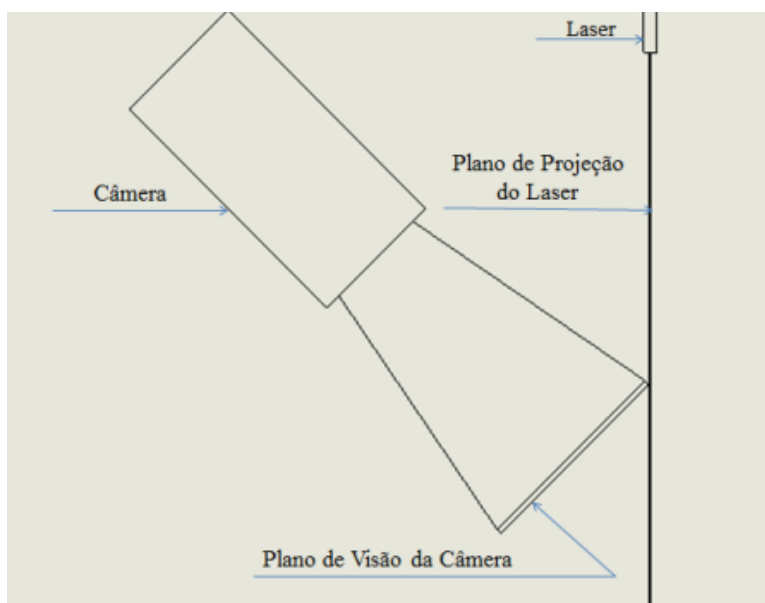


Figura 7. Plano de visão da câmera em relação ao laser

Sem haver a devida correção, quanto maior altura do objeto, mais se aproxima a linha laser da câmera e automaticamente o campo de visão fica menor, logo, mesmo que as dimensões do objeto sejam iguais, as dimensões projetadas serão maiores, como pode ser visto na Figura 9 A.

Existem diferentes metodologias para calibração de câmeras na literatura (Pinto et al. 2001). Porém, como no presente trabalho utilizou-se uma câmera comercial de baixo custo, cujos componentes como o modelo do sensor e do conjunto de lentes, são desconhecidos, optou-se por realizar o processo empiricamente. Para tanto, foi usinado um bloco, em ferro fundido, com diversas dimensões alternadas para ser usado como referência, Figura 8.

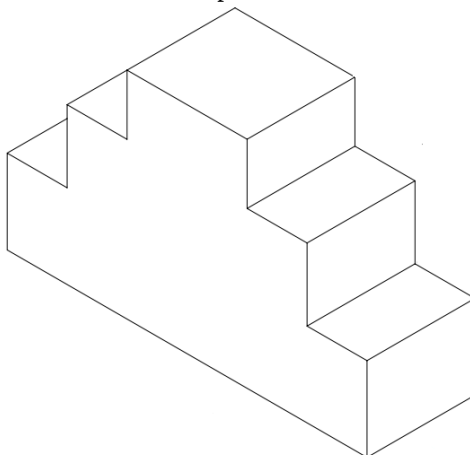


Figura 8. Geometria do bloco usado para calibração e testes

A correção foi feita medindo-se a mesma dimensão i em diferentes alturas j , aplicando uma inclinação no plano da imagem, repetidamente, até se atingir valores coerentes para diferentes alturas, conforme Figura 9 B.

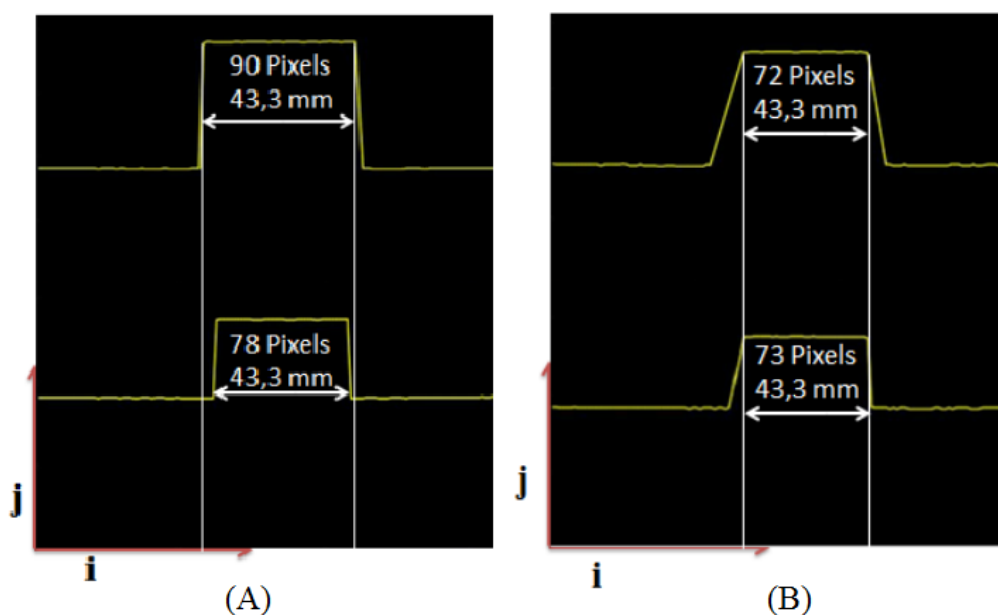


Figura 9. Escaneamento em alturas diferentes, antes da correção de perspectiva (A) e após correção de perspectiva (B)

5. TESTES E RESULTADOS

Foram realizados testes com a finalidade de verificar a eficácia do sistema desenvolvido. Como a câmera utilizada possui uma limitação de *frames* por segundo, a velocidade de avanço do conjunto ficou limitada e, como alternativa para agilizar o escaneamento, optou-se por segmentar cada imagem apenas 128 vezes ($\frac{1}{4}$ da resolução possível no eixo y) e com um avanço no eixo x de 1,58 mm (uma volta completa no fuso) entre cada ciclo de captura de imagem. Esta configuração gera, ao final de um escaneamento completo (cerca de 3 minutos), uma nuvem de 15616 pontos e possui como efeito colateral significativa piora na resolução do sistema. Para averiguação dos resultados o arquivo de texto foi aberto no *software* Meshlab, que permite uma visualização 3D da nuvem de pontos e dispõe de ferramentas de medição. Foram escaneados objetos variados, com superfícies livres, na Figura 10 é possível observar o resultado do escaneamento da mão de uma pessoa.

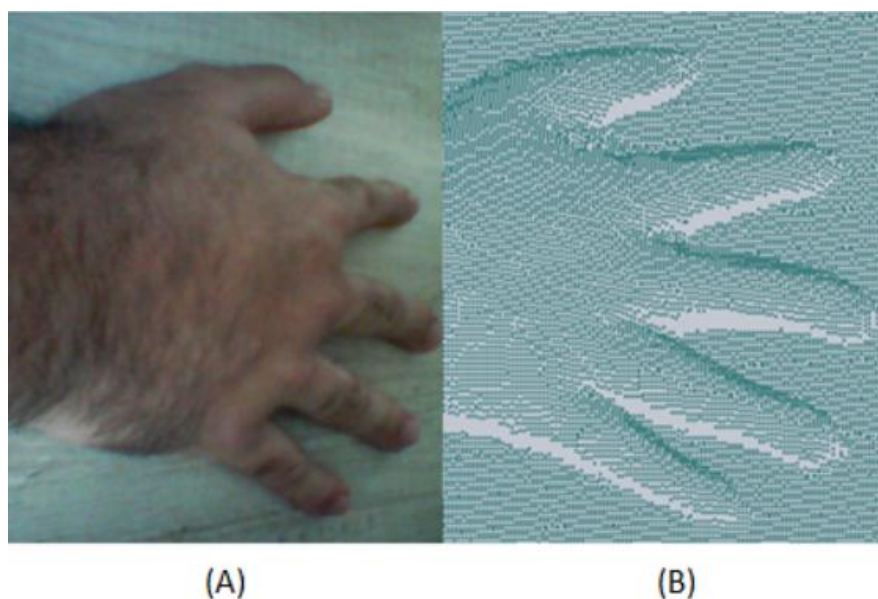


Figura 10. Membro escaneado real (A) e nuvem de pontos exibida no Meshlab (B)

Devido a dificuldade em se medir superfícies livre, para a verificação dos erros de medição, realizou-se o escaneamento do bloco padrão em posições variadas. Utilizou-se um paquímetro convencional, de resolução 0,05 mm, como referência para a obtenção das dimensões do bloco. Ao total foram realizadas 10 medições em secções aleatórias do bloco, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de medição

(Y)			(X)			(Z)		
Referência (mm)	Escaneada (mm)	Erro (mm)	Referência (mm)	Escaneada (mm)	Erro (mm)	Referência (mm)	Escaneada (mm)	Erro (mm)
43,30	44,44	1,14	25,10	24,64	-0,46	34,10	32,62	-1,48
43,25	44,44	1,19	25,20	26,18	0,98	30,00	29,61	-0,39
43,25	44,44	1,19	25,20	26,18	0,98	64,15	62,23	-1,92
34,10	34,72	0,62	25,20	26,18	0,98	43,30	42,49	-0,81
34,10	34,72	0,62	149,05	152,46	3,41	43,25	42,06	-1,19
64,20	63,89	-0,31	99,10	101,64	2,54	43,25	42,50	-0,75
25,00	23,61	-1,39	49,10	49,28	0,18	43,20	42,43	-0,77
89,10	90,28	1,18	49,05	49,28	0,23	43,20	42,49	-0,71
99,10	98,61	-0,49	64,10	64,68	0,58	43,20	42,92	-0,28
49,00	51,39	2,39	25,00	26,17	1,17	43,15	42,54	-0,61
Erro médio		0,61	Erro médio		1,06	Erro médio		-0,89
Desvio padrão		1,08	Desvio padrão		1,14	Desvio padrão		0,50

Como esperado, a variação do erro dos eixos x e y foram significativamente piores, devido as modificações da resolução com finalidade de agilizar o escaneamento.

6. CONCLUSÃO

Mesmo com componentes de baixíssimo custo, comparado a soluções comerciais, foi possível comprovar a eficácia da técnica da triangulação laser. O protótipo desenvolvido, foi capaz de escanear geometrias diversas com coerência, contudo, mostrou-se lento e apresenta erros e desvios padrão ainda incompatíveis para grande parte das aplicações industriais que exijam precisão.

Apesar de apresentar desvios padrão consideravelmente grandes, os resultados eram esperados devido as limitações do protótipo. Melhorando-se a rigidez mecânica do suporte do conjunto óptico, a correção de perspectiva, aumentando-se a quantidade de pontos adquiridos em cada imagem e diminuindo o deslocamento em cada ciclo do processo, é possível melhorar a precisão do sistema.

Dentre outros problemas encontrados, observou-se sombreamentos ao longo da linha laser quando há uma variação abrupta na altura, fato que pode ser melhorado com o aumento da distância entre o objeto e o emissor laser. Como esperado, verificou-se também que em superfícies reflexivas, como o alumínio e materiais de alto brilho, sistemas a laser encontram maiores dificuldades e que quando usado em ambientes escuros os resultados são mais satisfatórios do que em ambientes com interferência da luz externa.

Para a aplicação no desenvolvimento de equipamentos ortopédicos personalizados são necessários mais estudos quanto as necessidades de precisão e seriam necessários testes para avaliar a eficácia do protótipo atualmente.

Apesar das melhorias necessárias observadas, o conceito do scanner baseado em triangulação do tipo folha de luz funcionou perfeitamente, e confirmou-se como uma excelente alternativa para aplicações de baixo custo.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina pelos recursos para construção do protótipo.

8. REFERÊNCIAS

- Beretta, E., 2011, “Tecnologia Assistiva: Personalização em Massa Através do Design e Fabricação de assentos customizados Para Cadeira de Rodas” Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brasil.
- Puhl, E. B. e Schiquetti, F., 2015, “Scanner de Triangulação Laser Para Prototipagem 3d”, Anais da XVI Científicos, Rio do Sul – SC, Brasil.
- Bonacorso, N., 2004, “Automatização dos processos de medição de superfícies e de deposição por soldagem visando a recuperação de rotores de turbinas hidráulicas de grande porte”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, Brasil.
- Buschinelli, P. D. V., 2007, “Desenvolvimento de um sistema ótico por triangulação cônica para inspeção do perfil interno de dutos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil.
- Emgu, C. (n.d.). Emgu cv: Opencv in .net (c#, vb, c++ and more), Disponível em: <http://www.emgu.com>.
- Nerosky, L. A., 2001, “Medição de Formas Livres Através da Integração de um Sensor Óptico Tipo "Folha de Luz" em um Braço de Medição”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil
- Marques Filho, H. V., 1999, “Processamento Digital de Imagens”, Editora Brasport, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.
- Pinto, T., Silva, F., Albertazzi, A., 2012, “Projeto E Avaliação de um Sensor Óptico por Triangulação Laser Multilinhas para Medição Robotizada”, VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luís – MA, Brasil.
- Prestes, R., 2011, “Tecnologia Assistiva: Atributos de Design de Produto Para Adequação Postural Personalizada na Posição Sentada”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre- RS, Brasil.
- Silva, F., 2011, “Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, Brasil.
- Viviani, A., 2015, “Integração de um Sensor a Laser a um Manipulador Cartesiano de Soldagem Para o Seguimento de Juntas”, Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Brasil.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

CONCEPTUAL STUDY AND DEVELOPMENT OF A LOW-COST PROTOTYPE OF A THREE-DIMENSIONAL SCANNER BASED ON "LIGHT SHEET" LASER TRIANGULATION

Sidemar Roberto Ribeiro, sidemar_ribeiro@hotmail.com¹

Guilherme de Santana Weizenmann, guilherme.weizenmann@ifsc.edu.br¹

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Avenida Nereu Ramos 3450-D, Seminário

The present work is about the development of a prototype of an economically accessible 3D scanner based on the principle of laser triangulation. A 3D scanner is an equipment capable of scanning a real object, generating a points cloud, which in turn can be integrated with CAD / CAM systems for programming and machining. The digitizing process turns easier, for example, the manufacturing of customized orthopedic molds, such as wheelchair backrests and seats. The validation of the system was made by scanning generic objects, due to the size limitation of the prototype structure. It was performed around ten tests with different dimensions to evaluate the measurement error of the system. The results demonstrated that the prototype needs improvements, but it is an excellent starting point for the development of new researches in the field of personalization of orthopedic accessories, among other applications, with low cost.

Keywords: laser triangulation, 3D scanning, orthopedic molds