

UTILIZAÇÃO DE PEÇA-PADRÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DOS RESULTADOS DE MEDIÇÃO OBTIDOS COM ESCÂNER 3D PORTÁTIL

Clarice Rodrigues de Oliveira Alves

Elvis Fernando de Oliveira

Sueli Fischer Beckert

Carlos Maurício Sacchelli

Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-600
oliveraclarice@gmail.com, elvis.fo@ufsc.br, sueli.f@ufsc.br, carlossacchelli@gmail.com

Resumo: A tecnologia de escaneamento 3D portátil permite capturar formas e contornos tridimensionais de um objeto físico e transformá-lo em um modelo digital, tendo grande aplicação na engenharia reversa e no controle da qualidade. Como outros sistemas de medição, tem-se também a necessidade de monitorar a qualidade dos resultados de medição obtidos. Este trabalho tem como objetivo analisar a tendência, a estabilidade e a precisão com este tipo de equipamento de medição, tendo como referência uma peça-padrão cujas medidas foram obtidas em uma máquina de medição por coordenadas. Para o desenvolvimento do trabalho experimental, foi utilizado um escâner 3D portátil do fabricante Creaform, que através da triangulação em refletores ópticos determina sua posição relativa à peça. Assim depois de coletados, os dados são editados, compartilhados e remodelados com o auxílio de softwares que permitem a captura de curvas, texturas e detalhes de superfícies simples e complexas. Este trabalho está sendo realizada no Laboratório de Metrologia do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Por se tratar de uma fase inicial do projeto de avaliação deste tipo de sistema de medição, foi utilizada uma peça-padrão prismática com formas geométricas definidas, sendo controlados quatro comprimentos. As medições da peça padrão foram realizadas diariamente ao longo de um mês, sendo estas realizadas antes e após a regulagem do equipamento. A estabilidade foi avaliada com a construção de gráficos de controle e a tendência foi estimada com a comparação aos valores de referência obtidos na máquina de medição por coordenadas. A precisão foi avaliada através dos desvios-padrão obtidos com a série de medições realizadas, sendo estimada a repetibilidade. Os resultados obtidos nesta fase de estudo, demonstram que a utilização de peças-padrão para monitoramento da qualidade dos resultados é viável, pois permitem efetivamente verificar que o sistema de medição continua operando dentro das especificações estabelecidas para o seu uso.

Palavras-chave: Escâner 3D; análise do sistema de medição; peça-padrão, estabilidade

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vários avanços em relação a precisão, velocidade e qualidade tornaram a digitalização 3D conhecida em várias áreas, entre elas a engenharia, a arqueologia e a medicina. Os escâneres 3D podem se classificados em 2 grupos: com contato físico e sem contato físico (BATRA, KUMAR, 2021). Entre os equipamentos utilizados para medição sem contato, os escâneres 3D têm sido utilizados no ambiente industrial, seja para realizar o controle de qualidade de produtos como para realização de engenharia reversa (SIMMONS, 2001) (JAVOID et al., 2021).

Os escâneres 3D portáteis estão sendo muito utilizados devido a sua flexibilidade, portabilidade e eficiência, sendo capazes de digitalizar diversos modelos, de geometria simples até superfícies mais complexas e transformá-las em um modelo digital (KERSTEN et al., 2018). No caso de escâneres baseados na triangulação a laser, eles trazem vantagens relacionadas a precisão, estrutura simples e velocidade de medição (PEIRAVI, TAABBODI, 2010). Sansoni et al. (2009) também considera como vantagem a sua relativa insensibilidade às condições de iluminação e aos efeitos da textura da superfície.

Sendo um sistema de medição, os escâneres 3D portáteis também necessitam ser avaliados quanto a sua adequação à tarefa de medição requerida. A norma ISO 9001 (ABNT, 2015) destaca em um dos seus requisitos que a organização deve determinar e prover os recursos necessários para assegurar resultados válidos e confiáveis para verificar a conformidade de produtos. Neste sentido, a norma IATF 16949 (IATF, 2016), que apresenta os requisitos do sistema de gestão da qualidade para produção automotiva, complementa que devem ser conduzidos estudos estatísticos para fazer a análise dos sistemas de medição. Largamente utilizado é o Manual MSA (AIAG, 2010) para conduzir os estudos de avaliação dos processos de medição.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta para realizar o monitoramento da qualidade das medições realizadas com um escâner 3D portátil, utilizando uma peça-padrão. Para isto serão estudadas as propriedades estatísticas de tendência, estabilidade e repetibilidade do sistema de medição.

Na sequência serão apresentados os fundamentos estatísticos aplicados, e posteriormente descritos o desenvolvimento experimental e os resultados obtidos na aplicação.

2. ANÁLISE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO

De acordo com o Manual MSA (AIAG, 2010), a qualidade dos dados de medição é definida pelas propriedades estatísticas das múltiplas medições obtidas de um sistema de medição operando em condições estáveis. E entende-se aqui sistema de medição como o conjunto de instrumentos, operações, métodos, software, pessoal e ambientes para quantificar uma unidade de medição. Entre as propriedades estatísticas mais comumente utilizadas para caracterizar a qualidade dos dados estão a localização e variação. A tendência está relacionada a localização dos dados em relação ao valor de referência, enquanto a variação refere-se a dispersão dos dados.

2.1 Tendência

A tendência é usada para descrever o erro de localização e é avaliada a partir de condições de operação repetitivas em um padrão de referência.

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM (INMETRO, 2012), a tendência de medição é entendida como a estimativa dum erro sistemático, sendo a componente do erro de medição que, em medições repetidas, permanece constante ou varia de maneira previsível.

A tendência é estimada a partir da diferença entre a média das medidas obtidas com o sistema de medição e o valor de referência (Fig. 1). O valor de referência é um valor medido dum padrão com incerteza de medição desprezível ou um valor convencional (INMETRO, 2012).

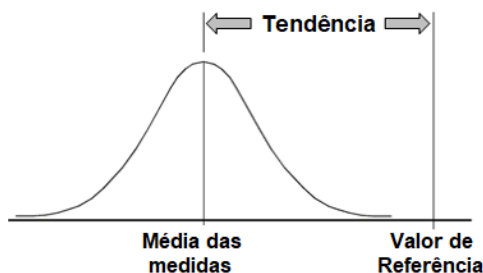


Figura 1. Tendência do Sistema de Medição (AIAG, 2010)

As causas mais comuns para a tendência excessiva podem ser o desgaste do equipamento, o erro de linearidade, a aplicação incorreta do instrumento, a habilidade do operador, entre outras (Alves e Luz, 2017). Destaca-se que a tendência do sistema de medição não está relacionado apenas ao erro do instrumento de medição, pois diferentes fatores podem ocorrer durante a realização da medição, que se diferenciam das condições da calibração propriamente dita. Assim, a realização de testes práticos permite estimar a tendência do processo de medição.

2.2 Estabilidade

A estabilidade pode ser entendida como a mudança da tendência ao longo do tempo (AIAG, 2010). Ou seja, um processo de medição estável mantém sua localização no decorrer do tempo. Para a avaliação da estabilidade do sistema de medição usualmente são utilizados gráficos de controle.

Os gráficos de controle utilizados para monitorar a estabilidade dos sistemas de medição são os mesmos aplicados no controle de processo, tradicionalmente conhecidos com Gráficos de Shewhart. O Manual CEP (AIAG, 2005) apresenta os modelos clássicos empregados nas organizações. Nesta aplicação, é utilizado o Gráfico dos Valores Individuais, uma vez que em cada coleta de dados é somente realizada uma digitalização da peça padrão.

Para determinação dos limites de controle do gráfico dos valores individuais, após a realização de n medições, tem-se os limites de controle inferior e superior calculados a partir das equações Eq. (1) e Eq. (2), respectivamente.

$$LIC = \bar{x} - 2,659 \overline{Rm} \quad (1)$$

$$LSC = \bar{x} + 2,659 \overline{Rm} \quad (2)$$

sendo: $\bar{x}$ a média obtida entre n medições realizadas;

$\overline{Rm}$ a média das amplitudes obtidas entre 2 medições consecutivas.

No monitoramento da estabilidade, é esperado que as medidas obtidas estejam dentro dos limites de controle estabelecidos no gráfico de controle e que não seja identificado nenhum padrão de anormalidade.

2.3 Repetibilidade

De acordo com a Vocabulário Internacional de metrologia – VIM (INMETRO, 2012), as condições de repetibilidade de medição tratam de um conjunto de condições, as quais incluem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo instrumento de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante curto período de tempo. De forma similar, o Manual MSA (AIAG, 2010) relaciona a repetibilidade como a variação entre as medições obtidas com um mesmo instrumento quando usado várias vezes por um mesmo avaliador, enquanto medindo idêntica característica em uma mesma peça. Fica claro que a repetibilidade está associada a dispersão das medições, e por isso a medida estatística relacionada é a variância, ou de forma mais prática, o desvio-padrão. A Fig. 2 representa a faixa de repetibilidade, sendo usualmente aplicado um nível de confiança de 95% a 99,7%, considerando o comportamento de uma distribuição normal de probabilidade.

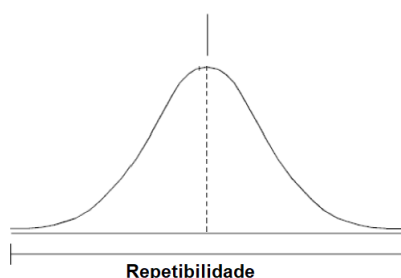


Figura 2. Condição de repetibilidade do sistema de medição
(Fonte: AIAG, 2010)

Diferentes métodos de cálculo podem ser aplicados para determinação da repetibilidade (Re). Para aplicação nesta atividade, a repetibilidade será calculada para um nível de confiança de aproximadamente 95%, através da Eq. (3), tendo como referência os conceitos apresentados por Albertazzi e Sousa (2008).

$$Re = t_{95,45\%}.S \quad (3)$$

sendo: t o fator de abrangência considerando a distribuição de Student;
 s o desvio padrão amostral.

2.4 Análise crítica dos resultados

Para avaliar se o sistema de medição atende aos critérios de aceitação, é relevante avaliar sua estabilidade através do gráfico de controle. Quanto as medidas obtidas para tendência e repetibilidade, estas não deveriam ser superiores aos erros máximos admissíveis para aplicação. De forma simplificada, a análise quanto ao atendimento ao critério de aceitação é dada na Eq. (4).

$$|Td| + Re \leq EMA \quad (4)$$

A tendência (Td) corresponde a diferença entre a média das medidas obtidas no estudo de estabilidade, (Re) a repetibilidade do sistema de medição e (EMA) é o erro máximo admissível para o sistema de medição.

3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho está sendo desenvolvido no Laboratório de Metrologia do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para isto, periodicamente foram realizadas medições em uma peça-padrão, sendo então tratados os dados e avaliados os resultados.

O equipamento em avaliação foi um escâner 3D portátil, modelo HANDYSCAN 307 do fabricante Creaform, e como padrão foi sendo utilizada uma peça usinada, de forma prismática, sendo avaliadas as duas dimensões externas, e duas distâncias entre centro de furos (Fig. 3).

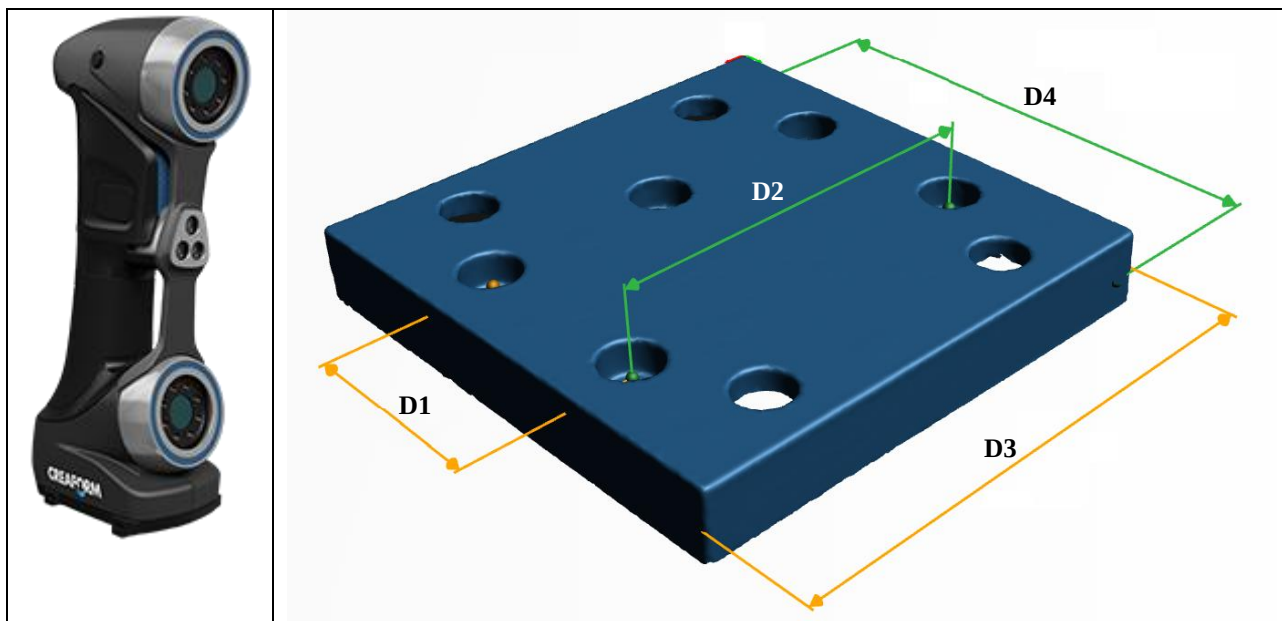


Figura 3. Escâner 3D utilizado e peça digitalizada
(Fonte: Autores)

Usualmente, antes de iniciar as digitalizações, a recomendação é realizar a regulagem do equipamento, através da digitalização de uma placa com alvos (Fig. 4), cujas distâncias já são previamente conhecidas.

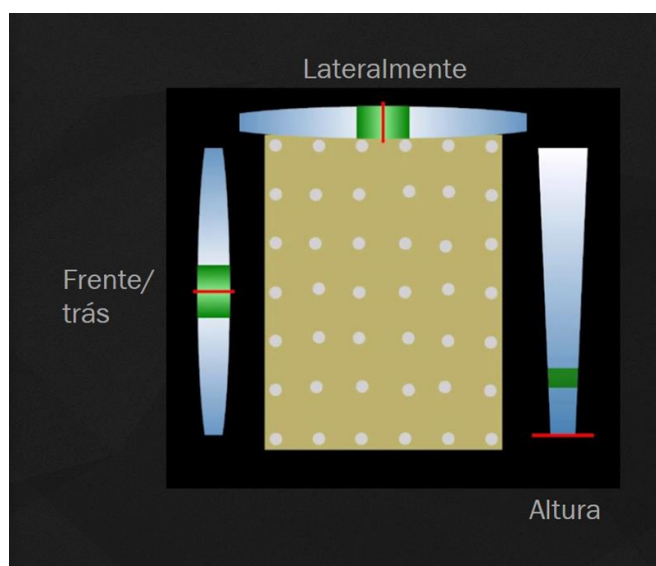


Figura 4. Esboço da Placa de Alvo utilizada para regulagem do Escâner 3D
(Fonte: Creaform)

Para avaliar o efeito desta regulagem, a peça-padrão foi digitalizada antes e após a regulagem na placa de alvos. Foram realizadas medições diárias ao longo de um mês para cada situação. A partir dos dados obtidos, foram realizadas as análises de estabilidade, de tendência, de repetibilidade e o atendimento aos critérios de aceitação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados coletados, inicialmente foi analisada a estabilidade das medições ao longo de 1 mês. Para o estudo, foram consideradas dimensões entre 60 mm e 165 mm. A Fig. 5 apresenta os gráficos das medidas obtidas nas digitalizações realizadas antes da regulagem do equipamento na Placa de Alvos, juntamente com os limites de controle calculados a partir das medidas obtidas.

Observam-se comportamentos distintos nas dimensões avaliadas. As dimensões D1 e D2 (distância entre centros de 2 furos) mostraram-se estáveis e sem nenhum padrão de anormalidade. Em destaque a dimensão D1 que apresentou menor dispersão entre as medidas coletadas.

A dimensão D3 apresentou um ponto além dos limites de controle, e uma aparente mudança na variação das medidas coletadas a partir daquele ponto. Também é possível observar um padrão de anormalidade na dimensão D4 nas Observações 14 e 16, que se encontram próximas do limite de controle. Observa-se também uma dispersão maior nas medidas das dimensões maiores.

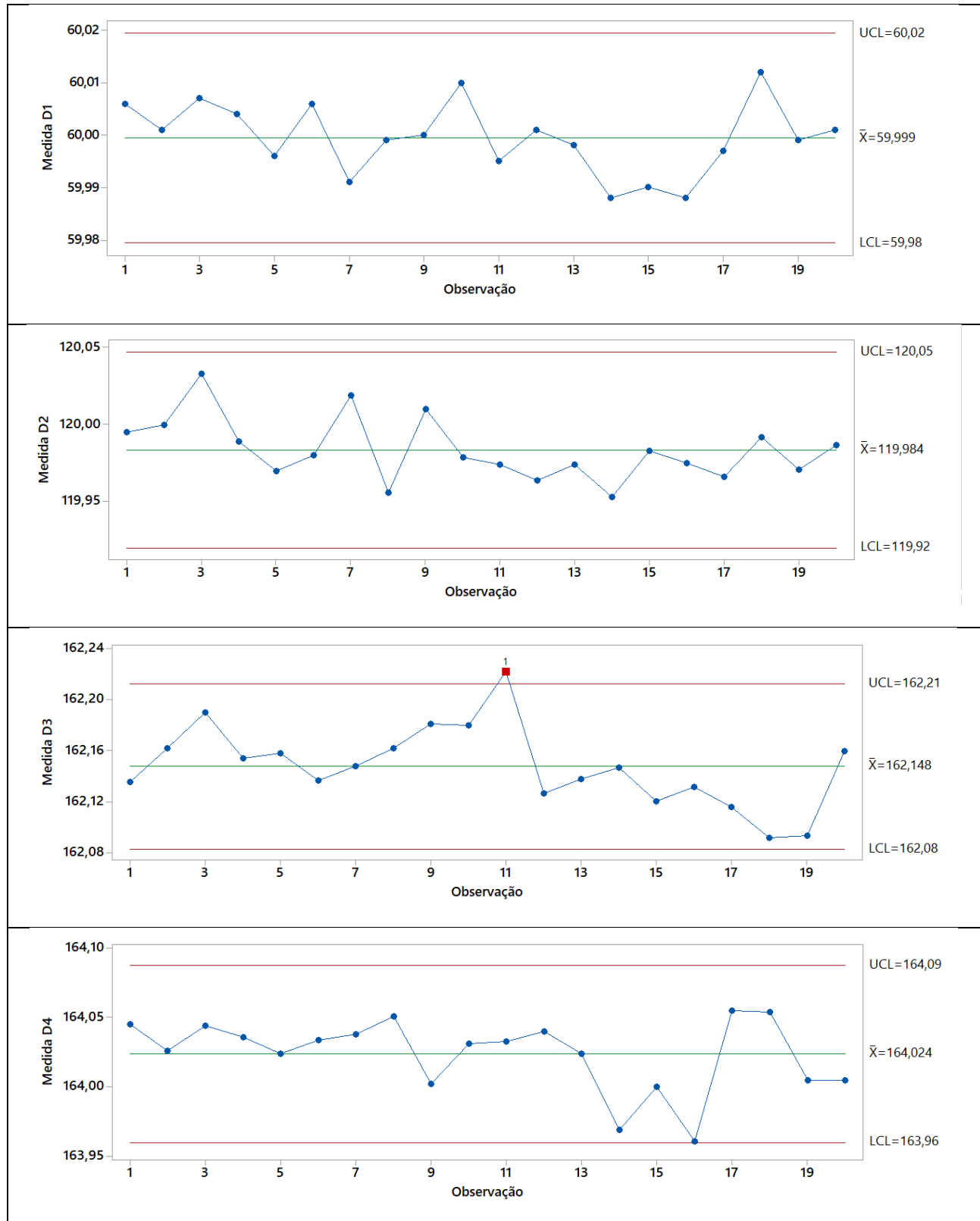


Figura 5. Gráficos de controle obtidos para as medições realizadas antes da regulação do equipamento (em mm)
(Fonte: Autores)

Na Tabela 1 são apresentadas as tendências obtidas para as dimensões avaliadas, bem como o desvio-padrão e a repetibilidade, sendo todas apresentadas em mm.

Tabela 1. Medidas estatísticas obtidas para medições realizadas antes da regulação do equipamento (em mm)

Dimensão	Média	Valor de referência	Tendência (Td)	Desvio-padrão (s)	Repetibilidade (Re)
D1	59,999	59,920	0,079	0,007	0,015
D2	119,984	119,998	-0,014	0,020	0,042
D3	162,148	162,086	0,062	0,032	0,068
D4	164,024	163,976	0,048	0,026	0,054

De forma similar foram tratados os dados obtidos após a regulação do equipamento na placa de alvos. A Fig. 6 apresenta os gráficos de controle obtidos para as 4 dimensões controladas. Em nenhum dos gráficos é verificado um padrão de anormalidade, demonstrando que o sistema se manteve estável no período avaliado.

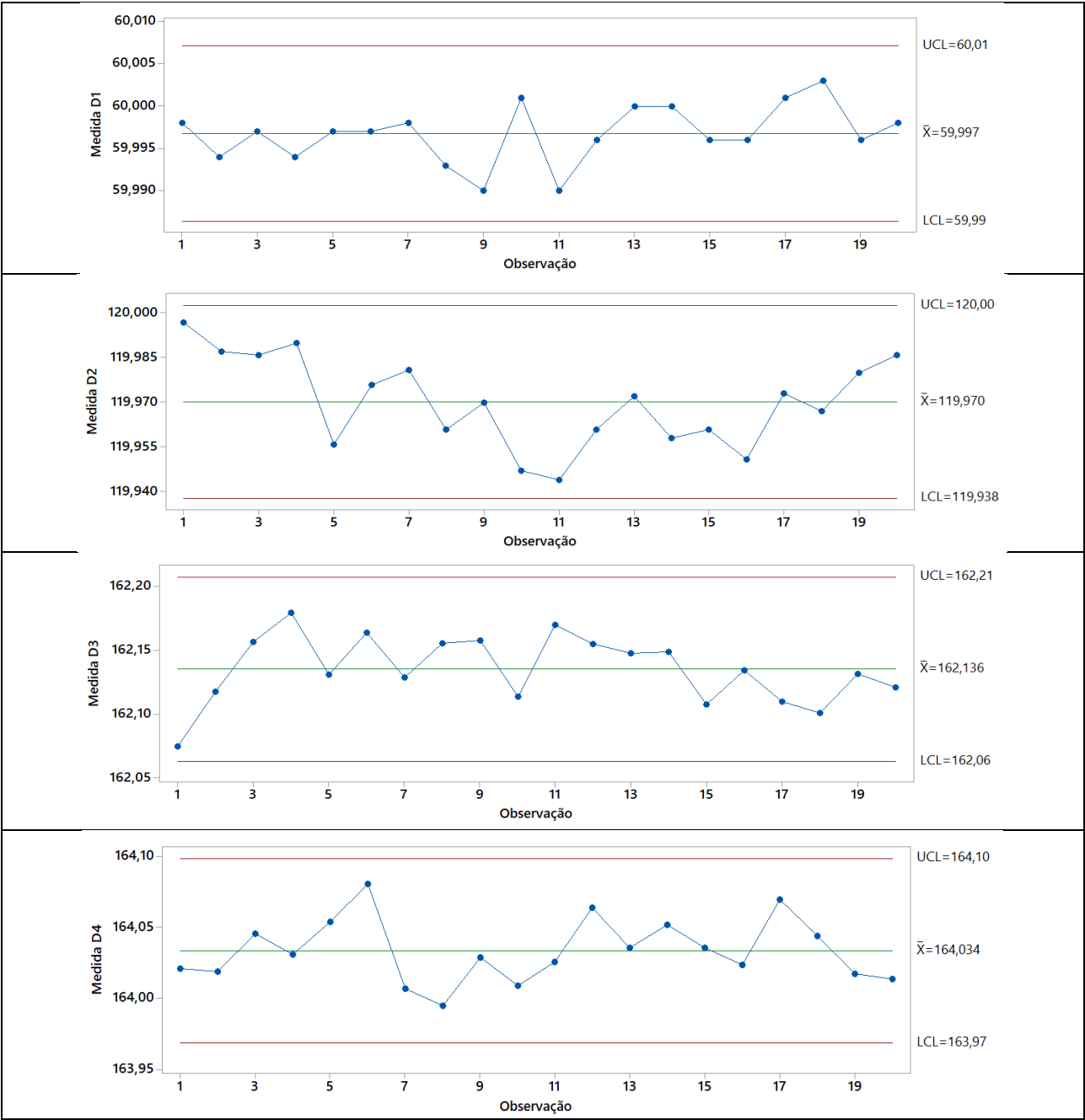


Figura 6. Gráficos de controle obtidos para as medições realizadas após a regulação do equipamento (em mm)
(Fonte: Autores)

Na Tab. 2 são apresentadas as tendências obtidas para as dimensões avaliadas, bem como o desvio-padrão e a repetibilidade, sendo todas apresentadas em mm. Observa-se que os resultados não foram significativamente diferentes aos obtidos na análise inicial antes da regulagem do equipamento na placa de alvos. Uma inferência pode ser realizada, devido o equipamento ter sido mantido em condições ambientais controladas, as dimensões controladas serem pequenas e haver uma dispersão dos resultados, resultante também de imperfeições da peça-padrão utilizada.

Tabela 2. Medidas estatísticas obtidas para medições realizadas após a regulagem do equipamento (em mm)

Dimensão	Média	Valor de referência	Tendência (Td)	Desvio-padrão (s)	Repetibilidade (Re)	Td +Re
D1	59,997	59,920	0,077	0,0035	0,007	0,084
D2	119,970	119,998	-0,028	0,015	0,031	0,059
D3	162,136	162,086	0,050	0,027	0,056	0,106
D4	164,034	163,976	0,058	0,022	0,046	0,104

Conforme fabricante, o equipamento utilizado no estudo tem uma especificação volumétrica para a precisão de $\pm(0,020 + 0,060 \text{ mm/m}) \text{ mm}$ (Creaform, 2022). Em relação a peça-padrão utilizada, foi evidenciado que a mesma apresentava erros geométricos nas faces de medição, que deveriam ser considerados ao estabelecer o erro máximo admissível para o sistema de medição. Neste sentido, considerando as limitações da peça-padrão e as condições de repetibilidade, estabeleceu como erro máximo admissível para o sistema de medição o limite de 0,10 mm.

Conforme pode-se observar na última coluna da Tab. 2, as medidas ficaram no limite dos critérios de aceitação. A recomendação para aplicação deste procedimento para o monitoramento do sistema de medição é assegurar que os erros de forma e orientação sejam desprezíveis na fabricação da peça-padrão e, como um processo continuado, seja avaliada a estabilidade após a regulagem do equipamento na Placa de Alvos.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma sistemática para monitorar os resultados de medição obtidos em Escâneres 3D Portáteis, através da avaliação da tendência, estabilidade e repetibilidade. Nesta primeira etapa utilizou-se uma peça padrão prismática disponível no laboratório de metrologia que teve as medidas de referência obtidas em uma máquina de medição por coordenadas. Já haviam sido identificadas variações na peça, o que não permitiria nesta etapa um nível de exatidão mais elevado, pois os pontos utilizados na medição da referência eram discretos e poucos, enquanto o Escâner 3D opera com uma malha de pontos para definir os elementos geométricos. No entanto, observou-se uma convergência nas medidas obtidas, sejam de localização como de dispersão, o que demonstra que a proposta tem propriedade para ser utilizada.

A recomendação para a segunda etapa de estudos é utilizar peça-padrão de dimensões maiores, e com erros geométricos menores, de forma que elementos geométricos criados na máquina de medição por coordenadas e no Escâner 3D sejam mais uniformes e assim apresentem uma melhor repetibilidade e permitam verificar de forma mais convergente as tendências do sistema de medição.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Rota 2030 – Linha IV “Ferramentarias Brasileiras Mais Competitivas” e a Fundep, pelo apoio financeiro no projeto “Melhoria no projeto de ferramentas de injeção de alumínio”.

7. REFERÊNCIAS

- Automotive Industry Action Group, 2010. *Análise do Sistema de Medição, MSA. Manual de Referência*. AIAG, 4ª edição.
- Automotive Industry Action Group, 2005. *Controle Estatístico do Processo, CEP. Manual de Referência*, AIAG, 2ª edição.
- ALBERTAZZI, A. G.; SOUSA, A. R., 2008. *Fundamentos de metrologia científica e industrial*. Manole, Barueri, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. *ABNT NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos*. ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- Alves, F. R. R.; Luz, M. P., 2017. Análise dos sistemas de medição em uma empresa de trefilação de tubos de aço. *Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Joinville, Brasil.
- Batra, V.; Kumar, V., 2021. Developments in Three-Dimensional Scanning Techniques and Scanners. *Emerging Trends in Mechanical Engineering, Select Proceedings of ICETMIE 2019*. Springer Singapore.
- Creaform. *HandySCAN 3D|SILVER Series*. Dezembro 2022 <<https://www.creaform3d.com/pt/handyscan-3d-silver-series>>.
- Javaid, M.; Hallem, A.; Sing, R. P.; Suman, R., 2021. Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and it's analytical applications. *Sensor International*, Vo. 2. <<https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100114>>.

- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, 2012. *Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados*. INMETRO, Rio de Janeiro, Brasil. < https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/documentos-tecnicos-em-metrologia/vim_2012.pdf/view>.
- International Automotive Task Force, 2016. *IATF 16949: Quality management system requirements for automotive production and relevant service parts organizations*. IATF, 2016.
- Kersten, T. P.; Lindstaedt, M.; Starosta, D., 2018. *Comparative geometrical accuracy investigations of hand-held 3d scanning systems*. ISPRS. <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-487-2018>>.
- Peiravi, A.; Taabbodi. B., 2010. A Reliable 3D Laser Triangulation-based Scanner with a New Simple but Accurate Procedure for Finding Scanner Parameters. *Journal of American Science*, Vol. 6, n. 5. <<http://www.dx.doi.org/10.7537/marsjas060510.03>>.
- Simmons, K. P., 2001. *Body measurements techniques: A comparison of three-dimensional body scanning and physical anthropometric methods*. Doctoral Thesis, North Carolina State University.
- Sansoni, G.; Trebeschi, M.; Docchio, F., 2009. State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. *Sensors*, Vol. 9, n. 1, p. 568–601.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

USE OF A STANDARD PART FOR MONITORING THE QUALITY OF MEASUREMENT RESULTS FROM A PORTABLE 3D SCANNER

Clarice Rodrigues de Oliveira Alves

Elvis Fernando de Oliveira

Sueli Fischer Beckert

Carlos Maurício Sacchelli

Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89219-600
oliveraclarice@gmail.com, elvis.fo@ufsc.br, sueli.f@ufsc.br, carlossacchelli@gmail.com

Abstract. *Portable 3D scanning technology allows capturing three-dimensional shapes and contours of a physical object and transforming it into a digital model, having great application in reverse engineering and quality control. Like other measurement systems, there is also a need to monitor the quality of the measurement results obtained. This work aims to analyze bias, stability and repeatability with this type of measuring equipment, having as reference a standard piece whose measurements were obtained in a coordinate measuring machine. For the development of the experimental work, a portable 3D scanner from the manufacturer Creaform was used, which, through triangulation in optical reflectors, determines its position relative to the part. Thus, after being collected, the data are edited, shared and remodeled with the help of software that allows the capture of curves, textures and details of simple and complex surfaces. This work is being carried out at the Metrology Laboratory of the Technological Center of Joinville (CTJ), of the Federal University of Santa Catarina (UFSC). As this is an initial phase of the evaluation project for this type of measurement system, a prismatic standard piece with defined geometric shapes was used, controlling four lengths. Measurements of the standard part were performed daily over a month, which were made before and after equipment adjustment. Stability was evaluated by building control charts and bias was estimated by comparing with the reference values obtained from the coordinate measuring machine. Repeatability was evaluated through the standard deviations obtained with the series of measurements performed. The results obtained in this phase of the study demonstrate that the use of standard pieces for monitoring the quality of the results is feasible, as they effectively allow verifying that the measurement system continues to operate within the specifications established for its use.*

Keywords: 3D scanner; measurement system analysis; standard piece, stability.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.