



Análise dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica

Measurement systems analysis in the machining sector of a metalworking company

Morgana Pizzolato

Carla Hartmann Sturm

Filipe De Medeiros Albano

Diego Rosa Lakus

Resumo: Este artigo apresenta a utilização da metodologia de Análise dos Sistemas de Medição (MSA) para verificar o desempenho metrológico dos instrumentos de medição do setor de usinagem de uma empresa metal mecânica de médio porte. Este estudo de caso abordou três etapas: caracterização dos instrumentos de medição, planejamento, coleta e análise dos dados, e, por fim, foram propostas ações de melhorias. O estudo foi focado na área dimensional e demonstrou que é possível aplicar a MSA no setor de usinagem. Os resultados da análise dos sistemas de medição indicaram problemas de estabilidade, tendência, linearidade, repetibilidade e reprodutibilidade. Dessa forma, recomendou-se implantar ações de melhorias para aprimorar a qualidade desses sistemas de medição, através de calibrações e limpezas periódicas dos instrumentos de medição, além de treinamentos com os operadores.

Palavras-chave: Análise dos Sistemas de Medição; Usinagem; Empresa metal mecânica.

Abstract: This paper aims to use Measurement System Analysis (MSA) methodology to verify the metrological performance of measuring instruments in the machining sector of a medium-sized metalworking company. This case study addressed three stages: characterization of all measuring instruments, planning, data collection and analysis, and finally, improvement actions were proposed. The study was focused on the dimensional area and it demonstrated that it is possible to apply the MSA in the machining sector. The results of the measurement system analysis indicate problems of stability, bias,

linearity, repeatability and reproducibility. Therefore, the implementation of the suggested improvement actions is necessary to enhance the quality of this measurement systems through periodic calibration and cleaning of the measurement instruments besides training the operators.

Keywords: Measurement System Analysis; Machining; Metalworking Company.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da competição do mercado e do aumento das exigências dos consumidores, as organizações buscam a melhoria contínua e a qualidade em seus processos produtivos (Silva, Kovaleski, & Gaia, 2012). Vale ressaltar que qualidade é fundamental para o crescimento das empresas e também é um requisito básico exigido pelos clientes em qualquer processo (Mainardes, Lourenço, & Tontini, 2010).

Assim, para uma empresa permanecer no mercado, atender as exigências dos clientes e produzir produtos de qualidade, a mesma deve buscar sistemas e metodologias que visam à adequação e melhoria de seus processos (Amaral *et al.*, 2011). Montgomery (2009) define um produto de alta qualidade como sendo aquele que apresenta conformidade com as especificações. Para que as especificações sejam verificadas, faz-se necessária a realização de medições. Dessa forma, pode-se dizer que a qualidade está diretamente ligada ao processo de medição, pois esse permite verificar, medir e avaliar se o produto está em conformidade com suas especificações. Assim, por meio do processo de medição é possível comprovar qual característica de qualidade medida atende às especificações solicitadas pelo cliente (Duarte, 2008).

O processo de medição envolve instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, pessoal e ambiente, os quais, segundo o Automotive Industry Action Group [AIAG] (2010), configuram um sistema de medição. Os sistemas de medição estão presentes em diversas indústrias. Um exemplo são as empresas do setor metal mecânico, que na sua grande maioria possuem um setor de usinagem, no qual são fabricados produtos de precisão e alto valor agregado que necessitam de sistemas de medições capazes de verificar se as especificações dos produtos são atendidas.

Caso o produto não esteja de acordo com as especificações, as consequências geradas podem ser insatisfação do cliente, retrabalho, custos e menor lucratividade. Por esses motivos, faz-se necessário garantir que o sistema de medição esteja adequado para seu uso e garanta o resultado da medição. Entretanto, os sistemas de medição estão sujeitos a diversas fontes de variação que podem prejudicar a confiabilidade dos resultados, podendo levar a uma decisão errada quanto à qualidade do produto (AIAG, 2010). Então, como garantir que o sistema de medição utilizado pela empresa é adequado? Como saber se os instrumentos de medição utilizados são adequados para o uso pretendido?

Por meio da Análise de Sistemas de Medição (MSA) é possível quantificar a variabilidade do sistema de medição, permitindo ao gestor verificar a adequação dos instrumentos de medição para o uso pretendido, além de indicar a capacidade dos mesmos de fornecer resultados confiáveis (AIAG, 2010).

Deste modo, tem-se como objetivo desta pesquisa avaliar a qualidade dos sistemas de medição de um setor de usinagem de uma empresa metal mecânica de médio porte situada no Rio Grande do Sul.

2 QUALIDADE DE PRODUTOS

Para Feigenbaum (1994), a qualidade do produto é um conjunto de características de engenharia e de manufatura que determinam o grau com que o produto em uso irá satisfazer as necessidades do cliente.

Na mesma linha de satisfação do cliente, Slack *et al.* (2013, p. 416) definem qualidade como "a conformidade consistente com as expectativas dos clientes". Esses autores completam que a qualidade é medida por meio de características do produto do tipo variáveis (que podem ser medidas quantitativamente) e atributos (características qualitativas). Sendo assim, para a avaliação da qualidade do produto baseada em variáveis é essencial o uso de instrumentos de medição para identificar o valor dessas características (Paladini, 2009).

Uma forma de garantir a conformidade e as especificações do produto no âmbito industrial é por meio de técnicas baseadas em conceitos estatísticos (Posso & Estorilio, 2009). Segundo Montgomery (2009), para analisar problemas da qualidade e melhorar o desempenho dos processos de produção são usadas, em geral, três técnicas: o controle estatístico de processo, o planejamento de experimentos e a amostragem de aceitação.

Fernandes (2011) afirma que a qualidade depende da normalização e da metrologia, não existindo qualidade se não houver medição dos atributos-chave. Assim, pode-se dizer que a metrologia é fundamental no controle de qualidade industrial e que o sistema de medição deve ser capaz de assegurar que as medições efetuadas sejam precisas e confiáveis (International Organization for Standardization [ISO] & United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], 2009).

Para o desenvolvimento e crescimento das empresas manufatureiras é necessário qualidade e confiabilidade do produto, fatores que dependem da análise e padronização do processo de medição (Silva, 2012). A cultura metrológica é considerada uma estratégia para que as empresas possam crescer, aumentando a produtividade e a qualidade, reduzindo custos e eliminando desperdícios (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia [INMETRO], 2012a).

De acordo com o INMETRO (2012b), o sistema de medição é um conjunto de um ou mais instrumentos de medição que fornecem as informações dos valores medidos, dentro de intervalos

especificados. Entretanto, AIAG (2010) amplia a visão do sistema de medição para instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, pessoal e ambiente.

Os processos de medição estão sujeitos a fontes de variação e tem-se como fatores responsáveis por essa variabilidade: desgaste de componentes do instrumento de medição, posição em que o item é colocado no instrumento de medição, condições ambientais, falta de treinamento dos operadores e falta de calibração do instrumento de medição (Werkema, 2006).

Na indústria, para realizar medições da grandeza comprimento, os instrumentos básicos mais utilizados são: micrômetros, paquímetros e relógios comparadores (Mitutoyo, 2015). Suga (2007) apresenta alguns fundamentos e princípios básicos sobre esses instrumentos de medição. Em síntese, os instrumentos de medição têm como objetivo principal adquirir dados de medição das partes produzidas para decidir sobre sua qualidade com foco em atendimento às especificações. Esses dados de medição podem ser utilizados de diversas maneiras, como em estudos estatísticos que orientam um melhor entendimento dos processos produtivos e sua consequente melhoria (AIAG, 2010).

Os estudos estatísticos também permitem avaliar o grau de confiabilidade dos dados gerados pelo sistema de medição e são a base para a tomada de decisões, justificando assim a importância do estudo e da avaliação estatística dos dados de medição nas empresas (Curcio *et al.*, 2010). Na indústria de transformação, um dos estudos estatísticos utilizado é a Análise dos Sistemas de Medição, o método *Measurement Systems Analysis* (MSA) (Reitz *et al.*, 2009).

3 ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO (MSA)

A Análise dos Sistemas de Medição (MSA) é uma metodologia estatística que permite estudar e analisar as condições de operação de um sistema de medição, analisar o seu comportamento e oferecer aumento da confiança e certeza dos dados obtidos (Lima, Ferreira, & Barbosa, 2010).

Para analisar o sistema de medição, foi desenvolvido o Manual de Referência por um Grupo de Trabalho de Análise dos Sistemas de Medição, aprovado por diversas companhias do setor automotivo e patrocinado pelo *Automotive Industry Action Group* (AIAG). O sistema de medição pode ser do tipo de variáveis ou atributos e replicáveis ou não replicáveis (AIAG, 2010). Portanto, o objetivo do MSA é avaliar a qualidade do sistema de medição e verificar se o mesmo é adequado e capaz de controlar determinado processo ou produto (Gonçalves *et al.*, 2014).

A escolha do sistema de medição pode considerar a importância de determinar a rejeição ou não do processo ou produto, o que está relacionado com a criticidade que os mesmos apresentam. A análise dos sistemas de medição pode ser realizada por meio dos seguintes passos (AIAG, 2010):

- 1) Identificar o problema: definir de forma clara as questões do sistema de medição, como a variação de medição e da sua contribuição no processo.
- 2) Identificar a equipe: o número de membro irá depender da complexidade do sistema de medição, podendo envolver no máximo 10 membros.

- 3) Fluxograma do sistema de medição e do processo: verificar os fluxogramas existentes e analisar as informações sobre o sistema.
- 4) Análise de causa e efeito: a equipe deve identificar as possíveis variáveis que contribuem ao problema.
- 5) Planejar – Fazer – Estudar – Agir (PDSA): usar como guia para planejar os experimentos, coletar os dados, estabelecer a estabilidade e gerar as hipóteses.
- 6) Solução possível e comprovação da correção: documentar e registrar a tomada de decisão e validar a solução encontrada para o sistema de medição.
- 7) Institucionalizar a mudança: aplicar as modificações necessárias para o problema não mais ocorrer.

Os sistemas de medição de variáveis replicáveis podem ser analisados quanto à estabilidade, tendência, linearidade, repetibilidade e reprodutibilidade. Conforme AIAG (2010), estabilidade é a variação total das medidas obtidas do sistema de medição em uma única peça ou peça padrão ao longo do tempo o que fornece a variação da tendência no decorrer do mesmo.

A tendência, de acordo com INMETRO (2012b, p. 22) é a “estimativa de um erro sistemático” que é a medida do erro encontrado em um sistema de medição. Já a linearidade é a diferença da tendência ao longo do tempo de operação esperada do instrumento de medição (Werkema, 2006).

Quanto à repetibilidade, define-se como a variabilidade “do operador” (variação obtida por um único operador) utilizando o mesmo instrumento de medição e método enquanto medindo uma mesma peça. Em relação à reprodutibilidade, afirma-se que é a variabilidade “entre operadores” a qual pode ser definida como a variação das médias realizadas por diferentes operadores, com o mesmo dispositivo de medição, medindo a mesma característica de uma única peça (AIAG, 2010). Assim, de acordo com Portal Action (2018), a repetibilidade e reprodutibilidade (R&R), “é a soma das variações devido à falta de repetitividade e reprodutibilidade”.

Segundo Werkema (2006), esses estudos podem gerar ações como: critério para aceitar novos instrumentos de medição, base para avaliar um dispositivo considerado deficiente, nível de aceitação para um processo de produção e a probabilidade maior de aceitar uma peça com o valor verdadeiro. O detalhamento de cada estudo do sistema de medição de variáveis replicável é apresentado nas seções subsequentes.

4 METODOLOGIA

Para realizar a pesquisa foram executadas as etapas apresentadas na sequência:

Etapas 1 – Caracterizar instrumentos de medição do setor escolhido: foi realizado um levantamento dos instrumentos de medição existentes na usinagem, verificando os tipos, quantidade, resolução, situação de operação em que se encontram e tolerâncias que eles devem medir. Essa etapa contempla os passos 1 a 4 da metodologia apresentada por AIAG (2010).

Etapa 2 – Planejar e realizar a coleta de dados seguido pela análise dos mesmos: o planejamento para a coleta de dados, bem como sua realização, e a análise estatística dos mesmos foram feitos nesta etapa, contemplando assim, a parte inicial do passo 5 da metodologia AIAG (2010) – estudos de estabilidade, tendência, linearidade e R&R.

Etapa 3 – Propor melhorias no sistema de medição: após análise dos dados, conclui-se a respeito do sistema de medição e propor ações de melhoria – parte final do passo 5 da metodologia AIAG (2010).

Sendo assim, este estudo contempla somente os cinco primeiros passos do AIAG (2010) uma vez que não foi realizada a comprovação de que as soluções propostas para melhoria do sistema de medição resultaram em efeitos positivos para o mesmo por conta do tempo disponibilizado pela empresa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização dos instrumentos de medição no setor de usinagem da empresa aconteceu por meio de entrevistas com os operadores do setor, onde foi possível identificar os tipos, a resolução, a faixa de medição e as quantidades de instrumentos de medição utilizados por cada um.

Ao todo, o setor de usinagem tem 33 instrumentos de medição dimensional de diferentes faixas de medição e resoluções, sendo eles paquímetros e micrômetros. Desse total, apenas sete estão com a calibração em dia, o restante ou estava com a calibração atrasada (10) ou nunca foram calibrados (16), embora todos os instrumentos de medição estavam em uso pela empresa. Os instrumentos de medição devem estar calibrados para ser realizada a análise do sistema de medição. Entretanto, durante a realização do estudo, a empresa não possuía recursos financeiros suficientes para manter em dia a calibração de todos os seus instrumentos de medição.

A partir de observações e conversas informais com colaboradores do setor, evidenciou-se que os tornos CNC são responsáveis pela maior produção do setor. Além de possuírem alta produtividade, esses equipamentos produzem as peças mais críticas do processo em relação à complexidade e exigências do cliente, denominada nesse estudo de Peça X. Em observação no setor e conforme dados fornecidos pela empresa, foi possível identificar que no mês de setembro de 2016, por exemplo, a mesma apresentou aproximadamente R\$ 4.000,00 de prejuízo com as peças refugadas por problemas dimensionais. Portanto, a fabricação da Peça X é o principal processo do setor da usinagem.

Os tornos CNC são as únicas máquinas da usinagem que operam durante 8h48min por dia em cinco dias da semana. Quando as tolerâncias não são indicadas na cota do desenho do produto/projeto, são utilizados os valores de tolerância fornecidos pela NBR ISO 2768-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 2001).

Levando em consideração todos os aspectos mencionados, a aplicação do estudo foi realizada com os instrumentos de medição utilizados pelos dois operadores (Operador A e Operador B) dos tornos CNC, os quais sempre utilizam os mesmos instrumentos de medição.

Dos 33 instrumentos de medição da usinagem, 11 são utilizados nos tornos CNC, os quais são do tipo paquímetro e micrômetro digital. Desses, realizou-se a análise dos sistemas de medição nos mais utilizados, sendo: dois paquímetros digitais (Paquímetro 1 e 2), com faixa de medição de 0 a 150 mm, com resolução de 0,01 mm e calibração em dia, e dois micrômetros digitais (Micrômetro 1 e 2) na faixa de medição de 25 a 50 mm e resolução com 0,001 mm. Destaca-se que os micrômetros não estavam calibrados no período das coletas de dados.

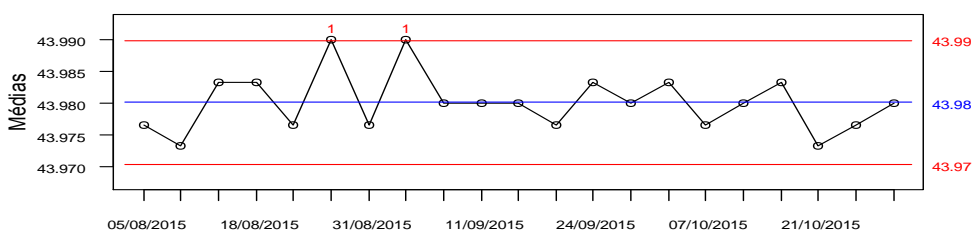
Para realizar o planejamento da coleta de dados, foram considerados os estudos a serem conduzidos: estabilidade, tendência, linearidade e R&R (repetibilidade e reprodutibilidade) conforme AIAG (2010). Ressalta-se que as análises estatísticas foram realizadas no *software* de estatística *Action*.

Os valores de referência das peças padrão foram estabelecidos através de uma máquina de medição tridimensional calibrada com resolução de 0,0005 mm.

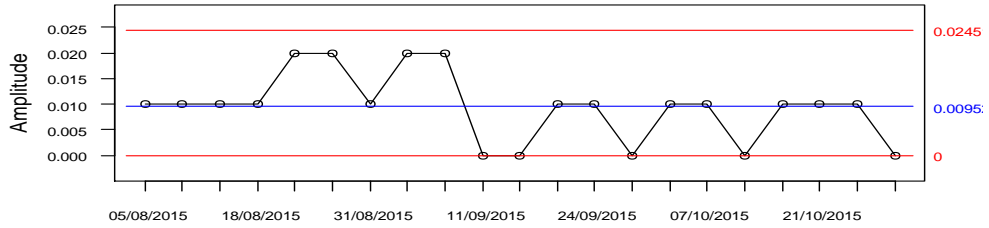
5.1 ESTUDO DE ESTABILIDADE

Para determinar a estabilidade dos sistemas de medição deve-se escolher uma peça padrão, determinar seu valor de referência e medi-la ao longo do tempo com o instrumento de medição do estudo. A coleta dos dados para o estudo de estabilidade ocorreu a cada dois dias de trabalho em diferentes horários durante 13 semanas. A análise da estabilidade pode ser realizada utilizando os gráficos de controle de \bar{X} (média) e da R (amplitude) ou gráficos da \bar{X} e do s (desvio padrão) (AIAG, 2010). Para este estudo, foram realizadas as análises utilizando tanto os gráficos de controle de \bar{X} e R quanto os gráficos de \bar{X} e s . Entretanto, como não houve diferença nos resultados da estabilidade, são apresentadas neste artigo apenas os gráficos da \bar{X} e R .

Um sistema de medição é considerado com boa estabilidade quando não apresenta causas especiais (AIAG, 2010). Para este estudo foram consideradas causas especiais pontos fora dos limites de controle superior e inferior nos gráficos da média e da amplitude. Nas **Erro! Fonte de referência não encontrada., Erro! Fonte de referência não encontrada., Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentados os gráficos de controle da \bar{X} e R para os sistemas de medição analisados.

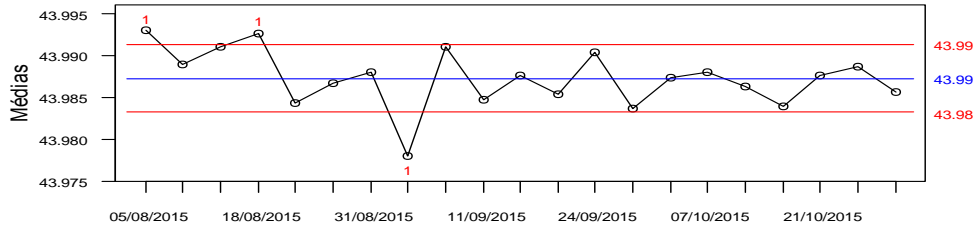


(a) Gráfico da média \bar{X}

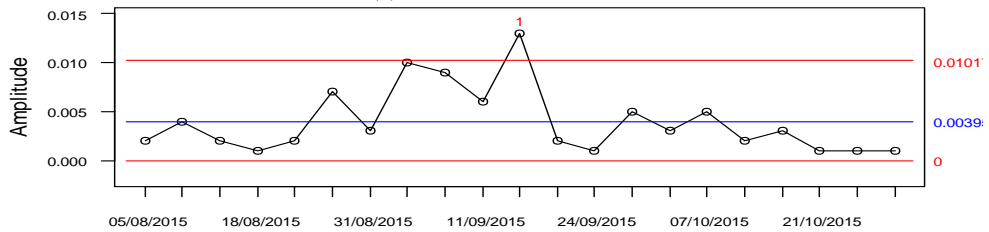


(b) Gráfico da amplitude R

Figura 1 – Gráficos de controle do Paquímetro 1 e Operador A: (a) média \bar{X} ; (b) amplitude R

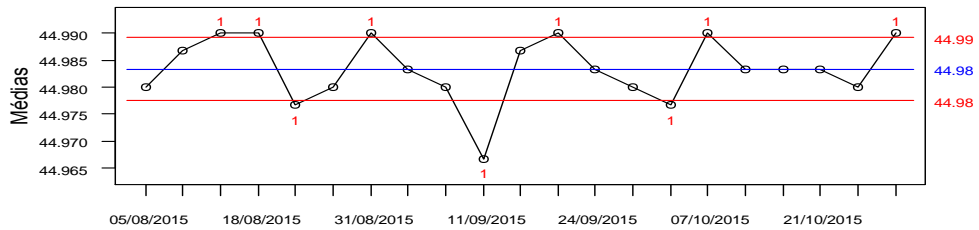


(a) Gráfico da média \bar{X}

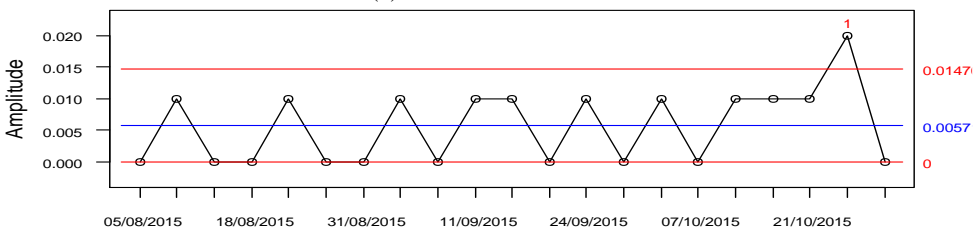


(b) Gráfico da amplitude R

Figura 2 – Gráficos de controle do Micrômetro 1 e Operador A: (a) média \bar{X} ; (b) amplitude R

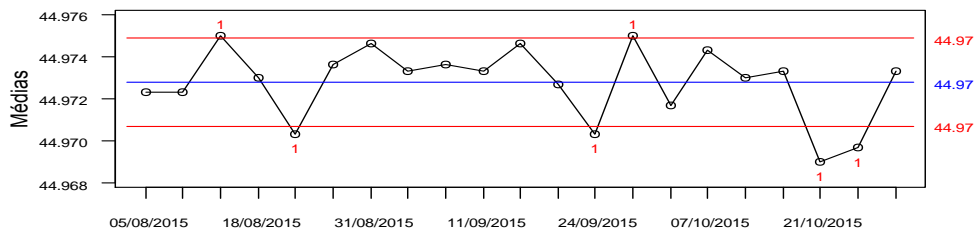


(a) Gráfico da média \bar{X}

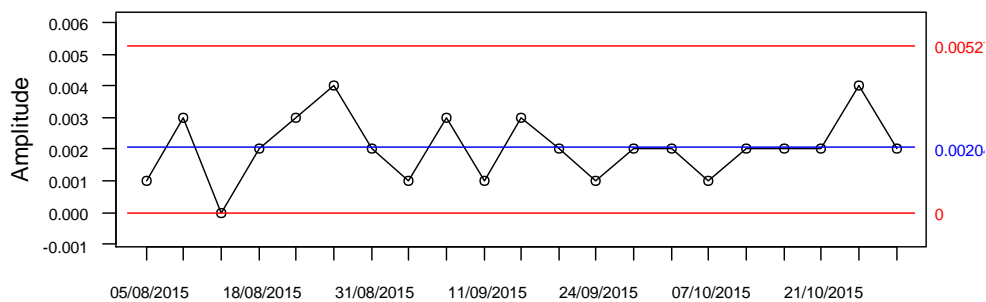


(b) Gráfico da amplitude R

Figura 3 – Gráficos de controle do Paquímetro 2 e Operador B: (a) média \bar{X} ; (b) amplitude R



(a) Gráfico da média \bar{X}



(b) Gráfico da amplitude R

Figura 4 – Gráficos de controle do Micrômetro 2 e Operador B: (a) média \bar{X} ; (b) amplitude R

Analisando as **Erro! Fonte de referência não encontrada., Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível observar que todos os sistemas de medição têm problemas de estabilidade, uma vez que existem pontos acima ou abaixo dos limites de controle em pelo menos um dos gráficos de controle de cada sistema de medição. Esse resultado pode indicar que o ajuste dos instrumentos de medição não está mantido, que o instrumento de medição está com desgaste excessivo (pela idade do instrumento), além da falta de manutenção ou de limpeza e desfavoráveis condições ambientais (como temperaturas abaixo de 10°C ou acima de 35°C).

No caso do sistema de medição Paquímetro 2 e Operador B (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), além de pontos fora dos limites de controle, o gráfico de controle da amplitude apresenta mais de 30% das amplitudes iguais a zero o que, de acordo com Portal Action (2018), indica evidência de que o instrumento de medição não tem resolução adequada para esta medição.

De acordo com AIAG (2010), se os sistemas de medição não apresentam estabilidade adequada, a partir da identificação das causas, deve-se estabelecer ações corretivas e então, repetir o estudo de estabilidade até que se obtenha o resultado desejado. Entretanto, por conta do tempo disponibilizado pela empresa para a realização deste estudo, optou-se por dar continuidade à análise dos sistemas de medição com os estudos de tendência e linearidade:

5.2 ESTUDO DE TENDÊNCIA E LINEARIDADE

Tendência é a diferença entre um valor de referência e a média observada das medições enquanto a linearidade mede a variação da tendência para diferentes valores de referência na faixa de interesse (AIAG, 2010; Portal Action, 2018).

Problemas de tendência e linearidade têm como causas prováveis: desgaste, falta de ajuste e/ou calibração vencida do instrumento de medição, manutenção precária, falta de habilidade do operador, fadiga e condição ambiental inadequada (AIAG, 2010).

Para conduzir o estudo foram selecionadas cinco peças ($g = 5$) cujas medidas atendem a faixa (25 a 50 mm) e determinaram-se seus valores de referência. Em seguida, o operador que utiliza o instrumento de medição mediu cada peça 12 vezes.

A análise da tendência e da linearidade acontece a partir da construção de um gráfico entre os dados dos valores de referência e os valores medidos. Com os pontos medidos é obtido, por meio da análise de regressão linear, um modelo com seu respectivo intervalo de confiança. Por meio da análise do gráfico, um sistema de medição é considerado bom para a linearidade quando a linha de tendência zero estiver completamente contida dentro do intervalo de confiança construído. Já para a tendência, além de observar a dispersão dos pontos no gráfico, também se deve analisar o percentual da repetibilidade (VE%), o qual é considerado aceitável para valores iguais ou inferiores a 10% (AIAG, 2010). A VE% é calculada pelo *software* e apresentada em forma de tabela de dados.

Nas **Erro! Fonte de referência não encontrada., Erro! Fonte de referência não encontrada., Erro! Fonte de referência não encontrada. e Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Tabela 1, são apresentados os gráficos que permitem analisar a linearidade de cada sistema de medição com a respectiva tabela gerada pelo *Action* que fornece subsídios para a análise da tendência.

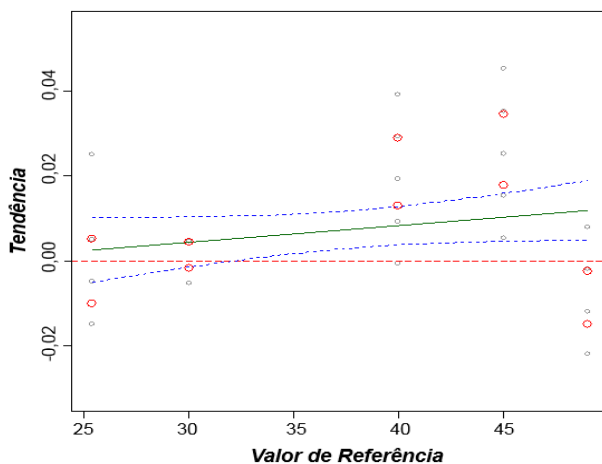


Figura 5 – Gráfico da linearidade Paquímetro 1 e Operador A

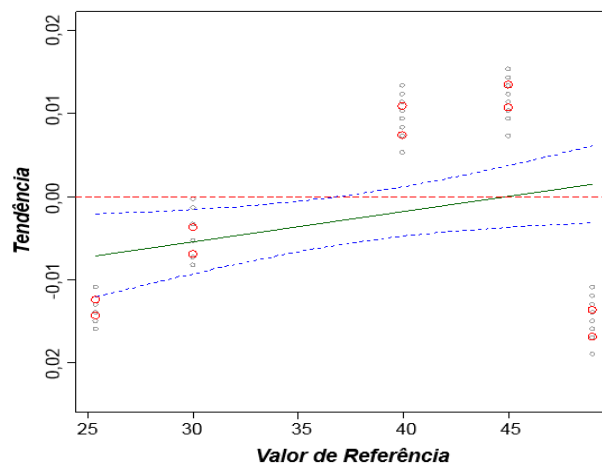


Figura 6 – Gráfico da linearidade Micrômetro 1 e Operador A

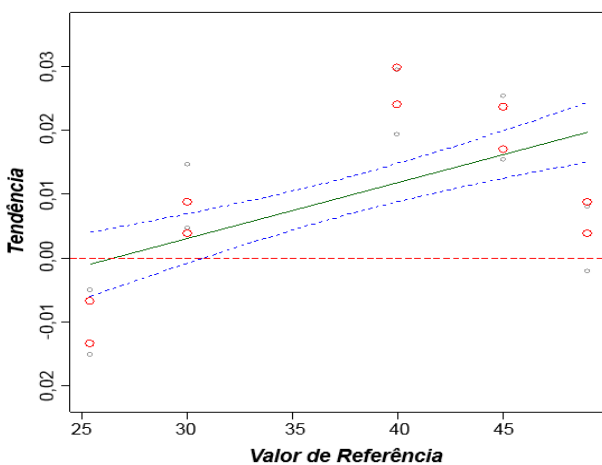


Figura 7 – Gráfico da linearidade Paquímetro 2 e Operador B

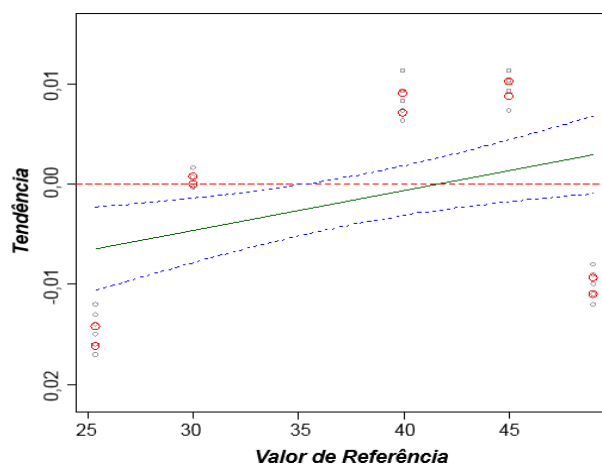


Figura 8 – Gráfico da linearidade Micrômetro 2 e Operador B

Em nenhum dos quatro gráficos de linearidade a linha da tendência zero ficou dentro do intervalo de confiança para a grande parte dos valores de referência dos sistemas de medição

analisados. Como mencionado anteriormente, isso indica problemas na linearidade do sistema de medição. Um sistema tem uma linearidade adequada quando sua tendência é a mesma ao longo da faixa do sistema de medição, essa situação poderia levar a linha de tendência zero a ficar dentro do intervalo de confiança.

Também se deve analisar o contexto da aplicação desses sistemas de medição observando os cinco pontos da faixa de medição utilizados para analisar a linearidade (25, 30, 40, 45 e 49 mm). Para pontos até 30 mm, a tolerância é de $\pm 0,2$ mm, enquanto para pontos acima de 30 mm possui tolerância de $\pm 0,3$ mm (ABNT, 2001). As tendências ao longo da faixa de medição apresentaram valores entre -0,02 e +0,04 mm (Tabela 1). Essa questão indica que, mesmo que estatisticamente os valores de linearidade não estejam adequados, tecnicamente isso não seja problema visto que os valores obtidos são consideravelmente inferiores ao limite da especificação. Observando os gráficos da linearidade também foi possível verificar que a dispersão dos dados é diferente nos cinco valores de referência e nos quatro sistemas de medição. Uma dispersão grande está relacionada a problemas de repetibilidade que também foi analisado observando o valor do VE%.

Em relação à tendência deve-se analisar a Tabela 1 para os quatro sistemas de medição em estudo. Conforme recomendado por AIAG (2010), a tendência pode ser considerada adequada para valores de VE% até 10%. Com exceção do sistema de medição Paquímetro 1 e Operador A, todos os outros possuem valores de VE% para os cinco valores de referência inferiores a 10%, de acordo com informações da Tabela 1. Esse mesmo sistema de medição possui dois pontos com VE% abaixo de 10% e os outros três acima.

Essa situação confirma o que foi comentado na análise da linearidade, que apesar de a análise gráfica indicar problemas de linearidade e conseqüentemente tendência, a análise numérica indica que esses problemas podem não ter significado técnico em virtude dos sistemas de medição ser utilizados para medições com faixas de tolerância maiores (0,4 e 0,6 mm).

Tabela 1 – Resultados do estudo de tendência dos sistemas de medição

Sistema de medição	Média (mm)	Tendência (mm)	Limite Inferior (mm)	Limite Superior (mm)	VE %
Paquímetro 1 e Operador A	25,3725	-0,0025	-0,0102	0,0052	18,2315
	29,9967	0,0013	-0,0018	0,0045	7,3855
	39,9917	0,0210	0,0129	0,0291	12,6730
	45,0108	0,0262	0,0178	0,0345	13,1137
	48,9733	-0,0087	-0,0149	-0,0024	9,8473
Micrômetro 1 e Operador A	25,3615	-0,0134	-0,0144	-0,0125	2,2576
	29,9900	-0,0053	-0,0069	-0,0037	3,7839
	39,9798	0,0092	0,0074	0,0109	2,7579
	44,9967	0,0121	0,0107	0,0135	2,2208
	48,9666	-0,0153	-0,0169	-0,0137	2,5346
Paquímetro 2 e Operador B	25,3650	-0,0100	-0,0133	-0,0067	7,8335
	30,0017	0,0063	0,0039	0,0088	5,8387
	39,9975	0,0268	0,0240	0,0297	4,5227
	45,0050	0,0203	0,0170	0,0237	5,2223
	48,9883	0,0063	0,0039	0,0088	3,8925
Micrômetro 2 e	25,3598	-0,0152	-0,0161	-0,0142	2,2913

Operador B	29,9958	0,0004	0,0000	0,0008	0,9324
	39,9788	0,0081	0,0071	0,0091	1,5448
	44,9942	0,0095	0,0087	0,0103	1,1934
	48,9718	-0,0102	-0,0110	-0,0093	1,3371

5.3 ESTUDO DE REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE

Repetibilidade e reprodutibilidade (R&R) é a soma das variações obtidas com cada estimativa (Portal Action, 2018). As possíveis causas são a variação entre peças, instrumentos, padrões, métodos, operadores e ambiente e erro de aplicação ou então falta de treinamento do operador (AIAG, 2010).

Quando a repetibilidade for maior que a reprodutibilidade, as causas podem ser a falta de manutenção no instrumento de medição, fixação ou posição de medições incorretas ou muita variação na própria peça. Caso a reprodutibilidade for maior que a repetibilidade, possíveis ações são: treinamento adequado para o operador sobre o sistema de medição e disponibilidade de um dispositivo de medição com demonstrações claras (AIAG, 2010).

O estudo de R&R foi realizado apenas para o Micrômetro 1 com dois operadores porque esse é o instrumento de medição mais utilizado entre os quatro em estudo e em virtude do tempo fornecido para realização da coleta de dados.

De acordo com AIAG (2010), nos estudos de R&R deve-se ter $n \times k \geq 15$, sendo n é o número de peças e k o número de operadores. Para tanto, esse estudo foi realizado com dois operadores (A e B) e com oito peças, o que fornece $n \times k = 16$. Outro ponto importante na coleta de dados para o estudo do R&R é identificar as peças de forma que os operadores não consigam diferenciar entre elas. Esse cuidado evita a tendência natural dos participantes obter o mesmo resultado que já observaram na medição anterior da peça. Além disso, outro cuidado nesse tipo de estudo é a aleatorização da coleta de dados para evitar confundir os efeitos principais do experimento. Por fim, definiu-se que cada peça seria medida três vezes pelo mesmo operador com o mesmo instrumento de medição.

O estudo do R&R foi realizado com a Análise de Variância (ANOVA). Para determinar aceitabilidade do sistema de medição, são considerados os percentuais relativos à variação total (VT), que pode ser advinda da tolerância da peça ou do desvio padrão do processo. O resultado obtido no cálculo do R&R é comparado com os critérios definidos por AIAG (2010) onde se %RR for menor que 10% o sistema de medição é aceitável, se %RR estiver entre 10% e 30% o sistema de medição pode ser aceito desde que o cliente aceite e se %RR for maior que 30% o sistema de medição não pode ser aceito. Sua variabilidade excessiva compromete a separação entre peças boas e ruins quando utilizado para verificar o atendimento as especificações.

O passo final para conclusão da aceitabilidade do sistema de medição é a determinação do número de distintas categorias (ndc) que o processo de medição pode ser dividido. O valor de ndc deve ser maior ou igual a 5 para ser aceitável para um sistema de medição utilizado para verificar o atendimento as especificações de peças críticas.

Antes de realizar o estudo do R&R por meio da ANOVA procedeu-se a verificação da normalidade dos dados. Os dados coletados foram testados com o *software Action* e verificou-se que os mesmos não seguiam a distribuição normal. Assim, foi utilizada a transformação *Box-Cox*, também pelo *Action*, para normalizar os dados.

A partir da normalização dos dados, foram realizados os estudos de R&R e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA)

ANOVA	GDL	Soma dos quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	Pr(>F)
Peças	7	$8,1871 \times 10^{-12}$	$1,16959 \times 10^{-12}$	69,014512	$5,56953 \times 10^{-20}$
Operadores	1	$5,04695 \times 10^{-14}$	$5,04695 \times 10^{-14}$	2,97809	0,09232
Repetibilidade	39	$6,60931 \times 10^{-13}$	$1,69469 \times 10^{-14}$		

Depois de realizar a ANOVA, observou-se que não existe interação entre peça e operador e, dessa forma, foi realizada outra ANOVA onde colocou-se a soma quadrada da interação no erro (repetibilidade), gerando assim a ANOVA da Tabela 2. A inexistência de interação entre peça e operador é um resultado esperado, pois indiferente da peça e do operador, as medidas obtidas possuem valores aproximados. Comparando os fatores peças e operadores, percebe-se que apenas o fator peça é considerado significativo, pois o seu p-valor é menor que o nível de significância de 0,05 ($\alpha = 5\%$). Esse também é um resultado esperado, pois tratando-se de um sistema de medição, deseja-se que a maior parte da variabilidade tenha origem nas peças e não dos operadores.

Na sequência, deve-se analisar a Tabela 3 dos percentuais obtidos em relação à variação total (VT). Para esse estudo foi utilizado como VT a tolerância relacionada ao valor medido (para uma dimensão de 25,4 mm a faixa de tolerância da norma é 0,4 mm).

Analisando os valores fornecidos pela Tabela 3 observa-se que a repetibilidade (28,4%) tem maior variação que a reprodutibilidade (8,1%). Isso indica que as causas da variabilidade estão relacionadas ao instrumento de medição, como falta de calibração, ajuste, manutenção e limpeza.

Tabela 3 - Porcentagem da variação total

Descrição	Desvio padrão	% em relação a VT
Repetibilidade	$1,3018 \times 10^{-07}$	28,4
Reprodutibilidade	$3,7373 \times 10^{-08}$	8,1
Operadores	$3,7373 \times 10^{-08}$	8,1
Peças	$4,3829 \times 10^{-07}$	95,5
Repetibilidade e reprodutibilidade	$1,3544 \times 10^{-07}$	29,5
Total	$4,5875 \times 10^{-07}$	100,0

Outro número importante é a variação das peças (95,5%) que, como já mencionado, é esperado que esse valor seja alto, pois indica que o processo de fabricação tem maior variação do que o sistema de medição. Por fim, tem-se para o R&R um valor de 29,5% colocando-o na faixa de possível aceitação, desde que o cliente da empresa concorde com isso e considerando os custos envolvidos para os ajustes necessários.

Além da análise numérica, também é possível fazer uma análise gráfica a partir das saídas fornecidas pelo software *Action*. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentado um *Boxplot* entre operadores o que pode indicar que o Operador 2 (B) produz medidas com maior variabilidade que o Operador 1 (A). Esse resultado pode estar relacionado ao método de medição utilizado pelos operadores, o que indica treinamento inadequado ou inexistente.

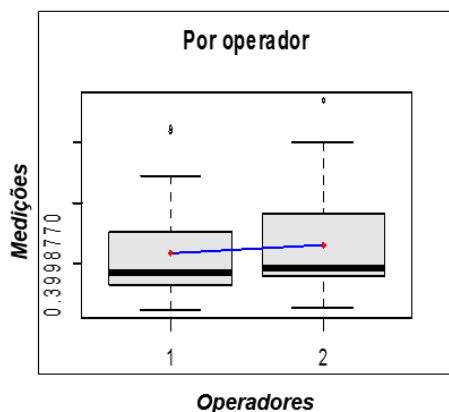


Figura 9 – *Boxplot* para operadores

Por fim tem-se o valor de *ndc* calculado pelo *software* que foi igual a 4, o que indica que o número de discriminação de categorias desse instrumento de medição não é adequado para medição de peças críticas. Entretanto, vale ressaltar que a resolução do micrômetro é de 0,001 mm, o que é considerada uma resolução boa para esse tipo de equipamento. Dessa forma, é possível concluir que o *ndc* calculado tenha relação com a falta de calibração ou até mesmo com o mau uso do instrumento de medição.

5.4 AÇÕES PROPOSTAS PARA MELHORIA DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Como observado durante a análise dos dados, os sistemas de medição utilizados no setor de usinagem podem ser melhorados. Recomenda-se que a empresa realize, inicialmente, o ajuste dos instrumentos de medição e sua posterior calibração trimestral. Depois de realizadas três calibrações sucessivas, se os resultados da calibração permanecerem bons, a frequência de calibração pode ser aumentada para cada quatro, cinco e até seis meses. Para tanto é necessário que sejam definidos os critérios de aceitação dos instrumentos de medição depois de calibrados. Com isso, será possível identificar se os instrumentos de medição atendem o uso pretendido. Em caso contrário, os mesmos deverão ser realocados para medições em outros tipos de peças ou outro setor.

Além disso, os operadores responsáveis pelos instrumentos de medição devem realizar limpeza e ajustes diários para garantir a qualidade dos resultados das medições, sugerindo-se, ainda, a elaboração de um procedimento operacional com todas as orientações necessárias. A limpeza, além de aumentar a vida útil do instrumento de medição, permite ao operador verificar qualquer defeito e evitar que seu uso prejudique a decisão sobre as peças de atenderem às especificações ou não.

Ainda sobre os operadores é necessário realizar um treinamento para reciclagem em relação ao método de medição utilizado por eles, pois ao fazer uso do *boxplot*, constatou-se que os operadores realizam medições de forma diferente (operador 2 apresenta maior variabilidade que o operador 1). Esse treinamento pode abordar temas como manuseio, uso, manutenção, limpeza e armazenamento.

Quanto à aplicação da MSA na empresa, a maior dificuldade encontrada foi a disponibilidade dos operadores durante o turno de trabalho, visto que são necessárias várias coletas de dados para realizar os estudos. Também se teve dificuldade em motivar os operadores e fazê-los reconhecer a importância da coleta dos dados para obter bons resultados tanto durante o estudo.

Ainda assim, foi possível verificar a qualidade do sistema de medição utilizando a metodologia do MSA, destacando-se que para melhorar a qualidade do mesmo, o primeiro passo é implantar as melhorias sugeridas que podem levar a diminuição de custos e aumento da qualidade e da produtividade.

6 CONCLUSÃO

Este artigo teve por objetivo verificar a qualidade dos sistemas de medição no setor de usinagem de uma empresa metal mecânica de médio porte. Iniciou-se realizando uma caracterização dos instrumentos de medição do setor onde foi identificada a necessidade de realizar o estudo em quatro sistemas de medição: dois paquímetros digitais, e dois micrômetros digitais.

Aplicando a metodologia de Análise dos Sistemas de Medição (AIAG, 2010), foi identificado que o sistema de medição utilizado no setor de usinagem não possui uma boa adequação e qualidade, visto que no estudo de estabilidade os mesmos apresentaram problemas. Os resultados indicaram que a calibração e o ajuste dos instrumentos de medição não estavam sendo mantidos, além de possuírem desgaste excessivo e falta de manutenção e de limpeza.

Em relação à tendência e linearidade, as análises gráficas e numéricas também indicaram falhas no sistema de medição. Contudo, evidenciou-se a importância da análise técnica para decidir sobre os sistemas de medição, considerando que os mesmos são utilizados para medições com faixas de tolerâncias maiores.

Quanto ao estudo de R&R foi possível identificar que a repetibilidade tem maior variação que a reprodutibilidade, indicando que os dispositivos de medição apresentam falta de calibração, ajuste, manutenção e limpeza. Além disso, analisando os fatores peças e operadores, percebeu-se que a maior parte da variabilidade é proveniente das peças. Contudo, de acordo com a análise gráfica dos dados entre operadores, os resultados indicaram que o método de medição utilizado pelos dois operadores não está adequado.

Foram propostas ações de melhorias para atuar nas principais causas e adequar todos os sistemas de medição do setor. Dessa forma, o objetivo geral de verificar a qualidade dos sistemas de medição foi alcançado, bem como propor melhorias ao setor.

Também foram elencadas como principais dificuldades para realizar esta pesquisa a disponibilidade de tempo dos operadores para realizar as medições durante o turno de trabalho e mostrar aos mesmos a importância de uma boa coleta para obter resultados confiáveis na análise.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). *NBR ISO 2768-1 Tolerâncias gerais. Parte 1: Tolerâncias para dimensões lineares e angulares sem indicação de tolerância individual*. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Amaral, R. A., Biasio, R., Cruz, M. R., & Camargo, M. E. (2011). Implementação de um sistema de gestão da qualidade: estudo de caso em uma empresa do segmento metal mecânico. *Anais do Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 7.
- Automotive Industry Action Group. (2010). *Análise do Sistema de Medição – MSA* (4ª ed.). São Paulo: Trad. Instituto da Qualidade Automotiva.
- Curcio, M., Oisiovi, R., Accorsi, R., & Pereira, M. (2010). *Aplicando a estatística em processos laboratoriais*. São Paulo: Banas Qualidade.
- Duarte, N. S. F. (2008). Sistema de Gestão de Medição: importante, mas nem sempre reconhecido. *Revista Metrologia & Instrumentação*, 7(56).
- Feigenbaum, A. V. (1994). *Controle da qualidade total*. (4ª ed.). São Paulo: Makron Books.
- Fernandes, W. A. (2011). *O Movimento da Qualidade no Brasil*. São Paulo: Essencial Idea Publishing.
- Gonçalves, J. B., Caten, C. S. T., Jung, C. F., & Pacheco, D. A. J. (2014). Implicações do uso integrado do estudo de MSA e CEP na produtividade industrial. *Espacios (Caracas)*, 35(9), 2.
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2012a). *Sistema Internacional de Unidades: SI*. Duque de Caxias: INMETRO/CICMA/SEPIN.
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2012b). *Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM): Conceitos fundamentais e gerais e termos associados*. Duque de Caxias: INMETRO.
- International Organization for Standardization, United Nations Industrial Development Organization. (2009). *Construindo confiança: a caixa de ferramentas de avaliação da conformidade*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Lima, J. T., Ferreira, T. F., & Barbosa L. (2010). Measurement Systems Analysis (MSA): garantindo a consistência dos controles nos processos de fabricação. *Revista Banas Qualidade*, 19(26), 74-79.
- Mainardes, E. W., Lourenço L., & Tontini, G. (2010). Percepções dos Conceitos de Qualidade e Gestão pela Qualidade Total: estudo de caso na universidade. *Revista Eletrônica de Gestão Organizacional*, 8(2), 279-297.
- Mitutoyo Sul Americana. *Catálogo de produtos básicos para metrologia dimensional*. Disponível em: <http://www.mitutoyo.com.br/site/produtos/pdf/PB313_web_baixa.pdf>. Acesso em: mai. 2015.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. (4ª ed). Rio de Janeiro: LTC.
- Paladini, E. P. (2009). *Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos*. (2ª ed). São Paulo: Atlas.
- Portal Action. *Análise dos Sistemas de Medição*. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/en/node/48>>. Acesso em: jan 2018.
- Posso, R., & Estorilio, C. (2009). Identificação dos Fatores de Influência na Aplicação do Método Failure Mode and Effect Analysis – FMEA de Processo: um estudo em produtos estampados. *Produto & Produção*, 10(2), 87-107.
- Reitz, F. J., Borba, O., Drumond, J., & Beckert, S. F. (2009). Aplicando o MSA na medição da rugosidade superficial. *Revista Banas Qualidade*, 18(19), 118-125.
- Silva, J. C., Neto. (2012). *Metrologia e controle dimensional*. Rio de Janeiro: Elsevier.

- Silva, L. C. S., Kovalski, J. L; & Gaia, S. (2012). Gestão da qualidade do produto no processo de produção industrial: um estudo de caso em uma indústria de bebidas. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 4(1), 55-67.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., & Betts, A. (2013). *Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico*. (2^a ed). Porto Alegre: Bookman.
- Suga, N. (2007). *Metrologia Dimensional - A Ciência da Medição*. Mitutoyo Sul Americana Ltda.
- Werkema, M. C. C. (2006). *Avaliação de Sistemas de Medição*. Belo Horizonte: Werkema Editora.