

Avaliação do sistema de medição aplicado a uma empresa siderúrgica

Lara Barbosa de Oliveira Prado¹; 0000-0002-9685-4187

Marcela Ferreira Lopes¹; 0000-0002-5910-2189

Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira¹; 0000-0002-6580-7687

Sérgio Ricardo Batos de Mello¹; 0000-0002-4468-5879

Bruno Carlos Amaral da Silva¹; 0009-0006-2894-7249

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

lara.prado@foa.org.br

Resumo: O estudo conhecido como *Measurement Systems Analysis* (MSA), ou Análise do Sistema de Medição, é uma análise estatística focada em sistemas integrados de qualidade. Seu objetivo é mensurar e avaliar a estabilidade de um sistema de medição por meio de estudos estatísticos que analisam tanto a localização (tendência e linearidade) quanto a dispersão (repetibilidade e reprodutibilidade). Buscando entender e detalhar a variação presente no sistema de medição esse trabalho apresenta a realização da análise do sistema de medição de uma empresa siderúrgica a fim de cumprir um dos requisitos exigidos pela norma de qualidade voltada para o setor automobilístico e seus respectivos fornecedores, *International Automotive Task Force*, IATF 16949:2016 e contribuir para manter a certificação da dessa empresa que possui como problema de pesquisa, a baixa confiabilidade no processo de medições de comprimento das barras de aço, que é um dos produtos fabricados pela empresa siderúrgica, aplicados ao setor automotivo. O trabalho foi baseado em um estudo de caso desenvolvido em uma siderúrgica multinacional que atua como fornecedora, os dados coletados a partir das medições dos operadores e foram analisados com o software Minitab. A metodologia aplicada permitiu mensurar os dados das medições com precisão, confirmando a estabilidade do processo de medição, a consistência entre os operadores e a probabilidade de erro, resultando em uma avaliação clara e confiável da eficácia do sistema de medição.

Palavras-chave: Estabilidade. Tendência. Linearidade. R&R

INTRODUÇÃO

Conforme ressaltado por Melo (2017), assegurar a conformidade com a norma IATF 16949 (2016) é fundamental para empresas que visam a comercialização na cadeia automotiva.

Segundo Lobo (2019), os sistemas de qualidade foram desenvolvidos para sanar a exigência de clientes em alguns segmentos de mercado, onde o custo da não qualidade do material recebido era muitas vezes superior ao preço do material adquirido.

A análise estatística de um sistema de medição, é conduzida com objetivo de detalhar a variação dos resultados do sistema de medição em situações reais, tais técnicas envolvem estudos de localização, explorando a tendência, linearidade e estabilidade, e estudos de dispersão amostral, que avaliam repetitividade e reprodutibilidade, com o objetivo de garantir que o sistema de medição esteja em conformidade com as especificações (SILVA, 2011).

A norma IATF 16949 (2016), no item 7.1.5.1.1, estabelece os requisitos para os recursos de monitoramento do Sistema de Medição que as organizações certificadas devem atender. Os resultados obtidos são acompanhados no Plano de Controle, onde os critérios de aceitação devem obedecer ao manual de referência para measurement system analysis (MSA).

De acordo com o Automotive Industry Action Group, AIAG (2010), o Sistema de Medição abrange diversos componentes que integram e enfatizam sua importância na obtenção de medições precisas e confiáveis, sendo fundamental para os processos de manufatura que geram dados consistentes. As medições devem ser realizadas de três a cinco vezes ao dia, considerando o conhecimento do sistema, a frequência de recalibração e as condições de operação. É crucial registrar as medições em diferentes momentos para refletir as condições reais de uso. Após a coleta, os dados devem ser plotados em uma carta de controle X & R ou X & S para análise (AIAG, 2010).

A tendência refere-se à diferença entre o valor de referência e a média das medições, representando a medida do erro sistemático em um sistema de medição que reflete sua contribuição para o erro total. Essa medida resulta da combinação de todas as fontes de variação. A linearidade diz respeito à variação da tendência dentro do intervalo de operação esperado do equipamento. Pode-se entender a linearidade como a alteração na tendência



em diferentes pontos da escala do equipamento de medição (AIAG, 2010).

A Reprodutibilidade e Repetitividade (R&R) representam a variação na precisão de um sistema de medição. A Reprodutibilidade é variabilidade entre avaliadores, é geralmente definida como a variação na média das medições feitas por diferentes avaliadores usando o mesmo instrumento de medição ao medir a mesma característica em uma peça idêntica e a Repetitividade refere-se à variação nas medições obtidas com um instrumento de medição, quando este é usado repetidamente pelo mesmo operador para medir uma característica idêntica em uma mesma peça (AIAG, 2010).

Uma regra geral para aceitação R&R está representada no Quando 1.

Quadro 1: Critérios de aceitação R&R

R&R	Decisão	Comentários
Porcentagem menor que 10%	Geralmente considerado como sistema de medição aceitável	Recomendado especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando é necessário apertar o controle do processo
Porcentagem entre 10% e 30%	Pode ser aceitável para algumas aplicações	Decisão deve basear-se, por exemplo, na aplicação do sistema, custo do dispositivo de medição, custo do retrabalho ou reparo. Deve ser aprovado pelo cliente.
Porcentagem acima de 30%	Considerado como inaceitável	Todos os esforços devem ser feitos para melhorar o sistema de medição. Essa condição deve ser tratada pelo uso de uma estratégia adequada de medição; por exemplo, utilizando a média dos resultados de muitas leituras de uma mesma característica da peça a fim de reduzir a variação de medição final.

Fonte: Adaptado pelos autores de AIAG (2010)

O cumprimento dos requisitos supracitados é essencial à certificação da empresa na norma IATF 16949:2016, e este estudo discute sobre a aplicação e atualização do plano de controle estatístico na produção de barra de aço para uso em peças automotivas com a finalidade de garantir a certificação à norma. A empresa analisada se destaca como uma das principais siderúrgicas de aços longos e planos no cenário mundial. Seu portfólio abrange uma vasta gama de produtos siderúrgicos que atendem a setores variados como construção civil, automotivo, eletrodomésticos, energia e embalagens.



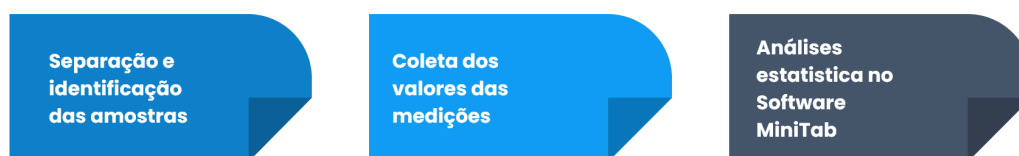
MÉTODOS

Foi empregada uma pesquisa de natureza aplicada, cujo propósito reside na validação ou refutação de hipóteses. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa com o objetivo de avaliar se o Sistema de Medição da empresa siderúrgica está em conformidade com as especificações do Manual MSA.

A escolha da variável a ser analisada parte da solicitação do cliente foi baseada em suas especificações e analisando todas as possíveis falhas na FMEA - Análise de Modo e Efeitos de Falha (IATF, 2016), já que o corte abaixo do comprimento especificado pode impactar negativamente os indicadores dos clientes. Após definir o sistema e meio de medição (trena) para o comprimento das Barras de Aço, foram selecionadas amostras das barras de aço para a aplicação do estudo de MSA, focando nas análises estatísticas de estabilidade, tendência, linearidade, reprodutibilidade e repetitividade.

A coleta dos dados das medições a serem analisadas, foram realizadas nas equipes A, B, C e D, durante três diferentes turnos. As medições para os estudos de estabilidade, tendência e linearidade foram conduzidas pelo inspetor X, enquanto os estudos de reprodutibilidade e repetitividade foram realizados pelos inspetores X, Y e Z. A Figura 1 representa o fluxo de condução do estudo.

Figura 1: Fluxo para coleta dos dados



Fonte: Os autores (2025)

Para realizar o estudo foram selecionadas dez amostras, separadas e identificadas para que os operadores não as reconhecessem. A barra utilizada no estudo de estabilidade foi marcada como 1, azul. As barras para os estudos de tendência e linearidade, com comprimentos distintos, foram identificadas em amarelo e numeradas de 1 a 5. Para os estudos de reprodutibilidade e repetitividade, foram identificadas 10 barras na cor vermelha.

A coleta de dados para o estudo de estabilidade foi realizada pelo operador X, que mediu o



comprimento da mesma barra ao longo de 30 dias, realizando três medições por turno. As medições foram feitas sem que o operador soubesse que se tratava da mesma barra, conforme o procedimento estabelecido.

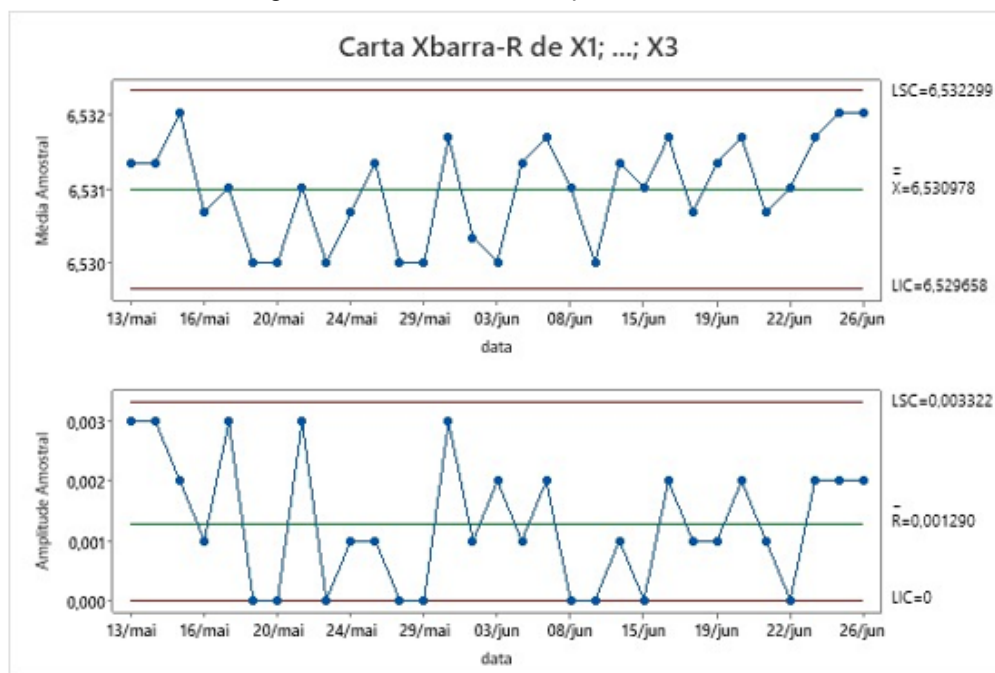
Os dados de tendência e linearidade foram coletados através das medições realizadas pelo operador X, medindo cinco barras com comprimentos diferentes três vezes ao dia durante dez dias, totalizando trinta medições.

A coleta dos dados de repetitividade e reprodutividade foram realizadas pelo operador X, Y e Z realizando uma medição de cada amostra por três dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os resultados do estudo de estabilidade da medição com base no parâmetro de comprimento. Foi analisado uma amostra das barras de aço com 6,500 m. A Figura 2, representa a carta de controle do tipo Xbarra-R, onde no primeiro gráfico, a linha central representa a média das médias das medições (\bar{X} barra). Com base nesse valor, o software MiniTab calcula os limites de controle superior (6,532 m) e inferior (6,529 m), representados pelas linhas vermelhas.

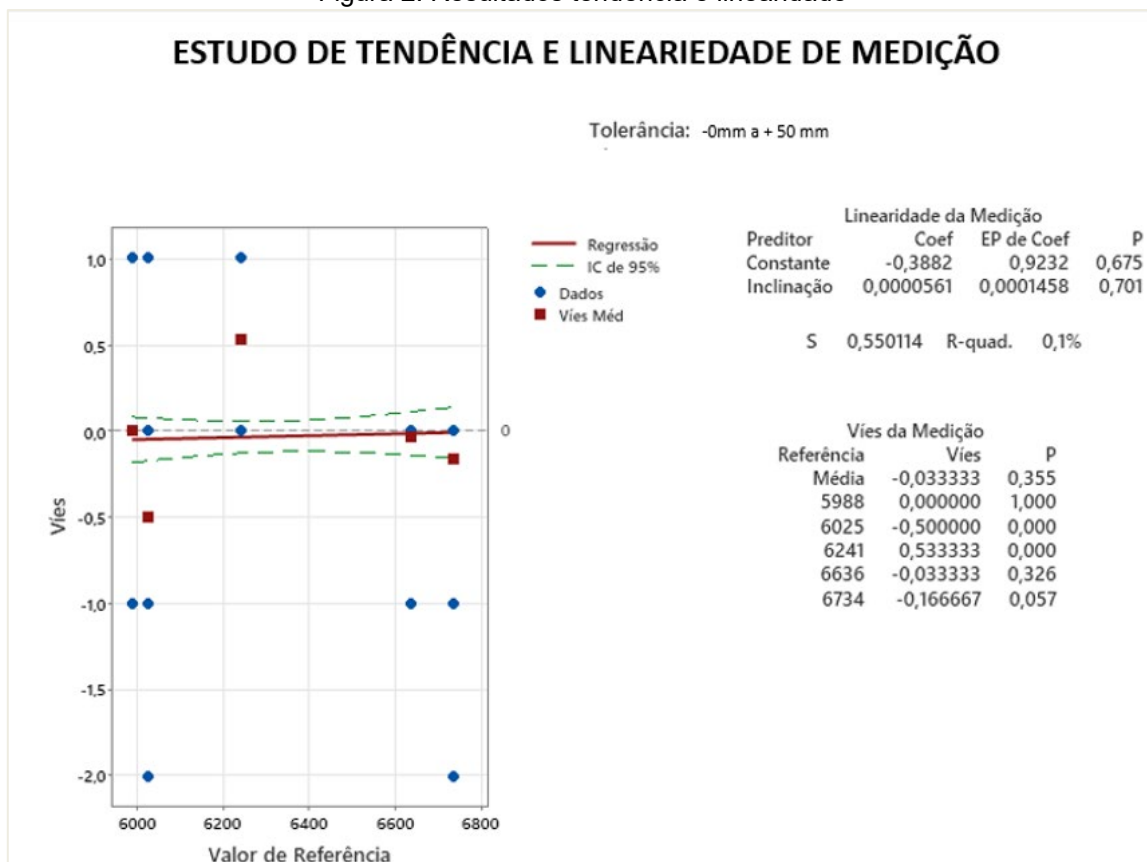
Figura 1: Carta de controle para estabilidade



Fonte: Os autores (2025)

Os pontos azuis no gráfico da Figura 2 representam as médias amostrais, e nenhum deles ultrapassou os limites de controle estabelecidos. O segundo gráfico mostra as amplitudes amostrais, com a linha central representando a amplitude média \bar{R} . Com base nesse valor, o software MiniTab calcula os limites de controle superior e inferior, os pontos azuis indicam que as amplitudes amostrais também não excederam esses limites.

Figura 2: Resultados tendência e linearidade



Fonte: Os autores (2025)

Na Figura 3 são apresentados os resultados do estudo de tendência e linearidade das medições com base no parâmetro de comprimento, onde os pontos azuis apresentados no gráfico representam as medições realizadas, onde o eixo vertical indica o viés de medição (erro de medição) em relação aos valores de referência de cada barra. Os pontos vermelhos, por sua vez, indicam o viés médio.

A seguir, na Figura 4 são apresentados os resultados do estudo de R&R das medições com base no parâmetro de comprimento.



Figura 3: Resultados R&R



Fonte: Os autores (2025)

Os resultados apresentados na Figura 4 foram obtidos através do método ANOVA que Segundo a AIAG (2010), é uma técnica estatística comum para avaliar o erro de medição e outras fontes de variabilidade em estudos de sistemas de medição.

CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido conclui que a avaliação do sistema de medição de comprimento das barras de aço, com base no manual de referência da AIAG (2010), demonstra eficácia.

Por meio das análises estatísticas de estabilidade aplicadas aos dados apresentados a avaliação do comportamento da carta de controle X/R, ilustrada na Figura 2, conclui-se que o sistema de medição do comprimento das barras de Aço opera de maneira estável e consistente.

Em termos de linearidade, o fato de a linha de regressão estar próxima à linha central (0,0000) e dentro do intervalo de confiança de 95% (linhas tracejadas em verde) sugere que o sistema de medição não apresenta problemas de linearidade, outra confirmação é o p-

valor da inclinação que é maior que 0,05mm, portanto, não se rejeita a hipótese nula (a linearidade é aceitável).

A variação total do estudo de R&R, resultou em 9,47%, comprovando a consistência das medições entre os três operadores, de acordo com os critérios de aceitação descritos no manual MSA AIAG de 2010, representados pelo Quadro 1, que estipula que essa variação deve ser inferior a 10%.

Conclui-se que o Sistema de Medição de comprimento das Barras de Aço possui confiabilidade e opera de forma efetividade, comprovando que os inspetores de qualidade são capazes de distinguir barras aprovadas das barras não conformes, sendo aprovado na auditoria interna da IATF 16943:2016, aumentando as chances de aprovação do requisito na auditoria externa de recertificação na norma.

REFERÊNCIAS

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP. **Measurement systems analysis reference manual**, 4th ed. Detroit, MI: Automotive Industry Action Group, 2010.

INTERNATIONAL AUTOMOTIVE TASK FORCE 16949. **Automotive Quality Management System Standard**, 2nd ed. Detroit, MI, 2016.

LOBO, R. N. **Gestão da qualidade**. Saraiva Educação S.A, 2019.

MELO, T. F. **Adequação das ferramentas essenciais para a qualidade automotiva na IATF 16949 e nos requisitos específicos das montadoras**. 2017.

SILVA, W. L. **Experiência na implantação da rotina de análise de sistemas de medição em uma indústria de auto peças**. Educação & Tecnologia, v. 7, n. 2, 2011.