

Tema: Gestão de Manutenção

## A INSPEÇÃO TRIDIMENSIONAL COMO FERRAMENTA DE TRABALHO NO CONTROLE DE QUALIDADE\*

Olívia Cristina Petriz Monteiro<sup>1</sup>  
Anderson Ferreira Leandro<sup>2</sup>  
Robson Barbosa Batista<sup>3</sup>

### Resumo

A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) possui uma Oficina de Manutenção Mecânica Central que fornece serviços de reparo, fabricação e manutenção de conjuntos mecânicos e componentes. A usinagem é um dos setores de maior demanda durante o reparo na Oficina e é considerada o grande gargalo entre as etapas de reparo/fabricação. Na busca por uma melhora na qualidade do atendimento e dos serviços prestados, o trabalho teve como objetivo identificar e implementar um novo sistema de medição para o Controle de Qualidade da Oficina Mecânica, reduzindo a demanda de inspeções dimensionais e geométricas para o setor de Usinagem. Com a compra dos instrumentos de medição tridimensional, o Laser Tracker e o Braço de Medição, foi possível aumentar a disponibilidade da usinagem, diminuir o tempo de inspeção de peças, acelerar o processo de decisão dos reparos, reduzir o tempo de entrega dos equipamentos, aumentar a confiabilidade das inspeções, além de e efetuar eventuais serviços de medição em campo.

**Palavras-chave:** Inspeção tridimensional.

### A THREE-DIMENSIONAL INSPECTION AS A WORK IN QUALITY CONTROL

#### Abstract

The National Steel Company (CSN) has a Central Office Maintenance Mechanics that provides repair, manufacturing and maintenance of mechanical components and assemblies services. Machining is one of the most demanding sectors during repair Office and is considered a major bottleneck between the stages of repair/manufacturing. In the search for an improved quality of care and services, the study aimed to identify and implement a new measurement system for the Quality Control of the Mechanical Workshop, reducing the demand for dimensional and geometric inspection for the machining industry. With the purchase of three dimensional measuring instruments, the Laser Tracker and Measurement Arm, it was possible to increase the availability of machining, reduce the time of inspection of parts, speed up decision making repairs, reduce the delivery time of the equipment, increasing the reliability of inspections, as well as any services and make field measurements.

**Keywords:** Three-dimensional inspection.

<sup>1</sup> Engenharia Mecânica/, Engenheira Mecânica, Engenheira de Manutenção PL, Gerência de Oficinas Mecânicas, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ Brasil.

<sup>2</sup> Curso Técnico de Mecânica, Técnico de Mecânica, Técnico de Oficinas, Gerência de Oficinas Mecânicas, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Curso Técnico de Mecatrônica, Técnico de Mecatrônica, Técnico de Desenvolvimento II, Gerência de Oficinas Mecânicas, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

A CSN possui cerca de 40.000 itens mecânicos reparáveis cadastrados em sua planta localizada na Usina Presidente Vargas (UPV), em Volta Redonda-RJ. A utilização de recursos próprios para a prestação de serviços de manutenção faz com que a Oficina Mecânica seja um setor estratégico para a UPV, principalmente se tratando na manutenção de equipamentos críticos e em reparos de emergência.

Na Oficina Mecânica, a Desmontagem, Caldeiraria, Soldagem, Tratamento Térmico, Usinagem, Montagem Mecânica e Controle de Qualidade constituem as etapas de execução de um reparo/fabricação. O reparo de conjuntos mecânicos é complexo e feito em várias etapas que normalmente dependem umas das outras. Qualquer atraso irá afetar as etapas futuras, contribuindo para a demora na entrega do serviço ao cliente ou alterando a programação de outros serviços.

A Usinagem possui cerca de 70 máquinas operatrizes (torno, fresa, retífica, mandriladora, centro de usinagem, etc.) e é dividida em Usinagem Central ou de Grande Porte e Usinagem Leve, de pequeno porte. Estes setores são os principais gargalos de produção durante o processo de reparo devido ao alto volume de serviços, a complexidade das peças reparadas, a grande rotatividade de mão de obra dos operadores de máquinas, etc.

Buscando uma melhoria contínua nos serviços e atendimentos prestados pela Oficina Mecânica, o trabalho teve foco inicial em identificar problemas e buscar soluções para o setor de Usinagem. Com a aplicação da ferramenta PDCA, os problemas foram levantados e a utilização das máquinas operatrizes para inspeção dimensional e geométrica foi identificado como uma necessidade estratégica de melhoria para atuação naquele momento. Contudo, o objetivo deste trabalho é a implementação de um novo sistema de medição para o Controle de Qualidade da Oficina Mecânica de forma a absorver a demanda de inspeções para a Usinagem.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a condução deste trabalho, foi utilizada a ferramenta PDCA. Segundo Celso *et al.* [1] o método PDCA é utilizado pelas organizações para gerenciar os seus processos internos de forma a garantir o alcance de metas estabelecidas, tomando as informações como fator de direcionamento das decisões. Slack [2] diz que o conceito de melhoramento contínuo implica, literalmente, em um processo sem fim, questionando repetidamente os trabalhos detalhados de uma operação. A natureza repetida e cíclica do melhoramento contínuo é chamada de ciclo PDCA, sendo que este compromisso da equipe é fundamental para que esta atitude torne corriqueiro na empresa. A tabela 1 mostra as fases de implementação da ferramenta PDCA.

**Tabela 1.** Fases de implementação do PDCA [2]

P (Plan de Planejar) – Envolve o exame do atual método ou da área problema estudada, envolvendo coleta e análise dos dados de modo a formular um plano de ação que se pretende para melhoria de desempenho;
D (Do de fazer) – Implementar o plano na operação;
C (Check de verificar) – A nova solução implementada é avaliada, para ver se resultou no melhoramento de desempenho esperado;
A (Act de agir) – A mudança é consolidada ou padronizada

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Para auxílio na identificação dos problemas que afetam o desempenho da usinagem, foi utilizado como ferramenta de apoio o Diagrama Ishikawa. Com essa ferramenta, as causas foram agrupadas e organizadas com clareza, conforme a Figura 1.

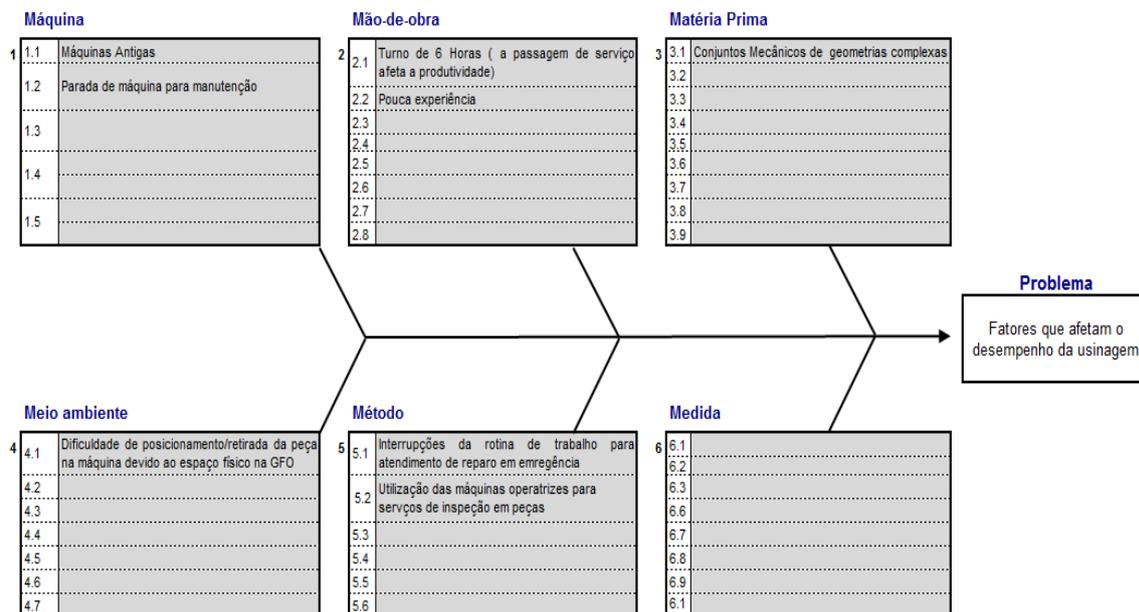


Figura 1. Diagrama de Ishikawa.

Com a análise dos problemas levantados, a utilização das máquinas operatrizes para serviços de inspeção em peças foi o problema selecionado para atuação neste trabalho. Para uma melhor análise do problema, é preciso entender o papel do Controle de Qualidade dentro da Oficina Mecânica.

O Controle Dimensional e Geométrico é de extrema importância na fabricação e reparo. A identificação de características dimensionais de peças, subconjuntos ou mesmo equipamentos completos, tem como objetivo principal garantir a montagem, o bom funcionamento e a intercambialidade de peças e componentes.

O Controle de Qualidade na Oficina Mecânica tem a função de realizar inspeções de verificações da condição da peça a ser reparada, gerando laudos técnicos para definição dos serviços que serão feitos, assim como a inspeção final, que garante que a peça já reparada ou fabricada esteja conforme projeto e/ou solicitação do cliente.

Do ponto de vista metrológico, a inspeção dimensional e geométrica de peças como as recebidas para reparo pela Oficina Mecânica são críticas devido às geometrias complexas e ao grande porte dos componentes/equipamentos, o que leva a dificuldade da realização de inspeção por parte de instrumentos convencionais que o Controle de Qualidade possui (paquímetro, micrômetro, escala graduada, trena, etc.). Dentro deste contexto entram a utilização das máquinas operatrizes para inspeção.

A utilização das máquinas de usinagem para realizar inspeções em conjuntos mecânicos se dá pelo fato de que as máquinas possuem sistemas de medição em coordenadas X,Y e Z, destinadas à operação de usinagem e esses sistemas são capazes de fazer verificações de desvios dimensionais e geométricos em peças em que os instrumentos convencionais do setor de inspeção são ineficazes devido ao tamanho, forma, etc. Logo, as máquinas que deveriam estar sendo utilizadas para

\* Contribuição técnica ao 69<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14<sup>o</sup> ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

usinagem, também estão sendo utilizadas para outros fins (inspeção dimensional e geométrica), se tornando gargalos que atrasam o fluxo normal do processo de reparo.

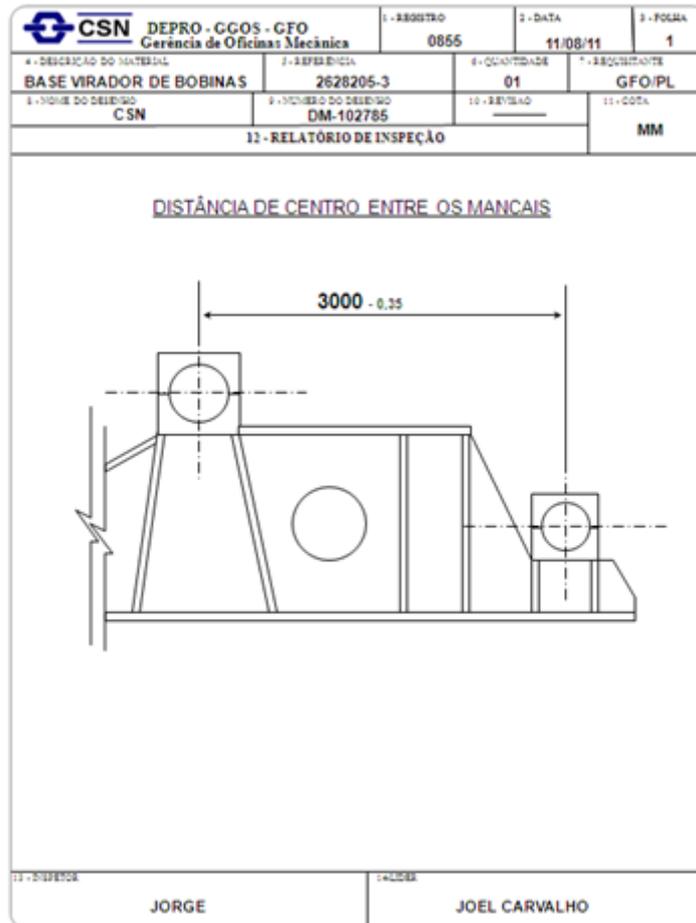
Na Figura 2, podemos observar a verificação da distância de centro entre mancais, do virador de bobinas, realizada na mandriladora. Além de interferir na produção da usinagem, as inspeções realizadas em máquinas são bastante demoradas, podendo demorar até 12 horas apenas para a inspeção.



**Figura 2.** Inspeção realizada em máquina operatriz (mandriladora).

Após a verificação, as informações são passadas ao Controle de Qualidade que é responsável por gerar o laudo dimensional, conforme Figura 3.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 3.** Laudo dimensional do virador de bobina.

Da mesma forma, o centro de trabalho Bancada de Risco, onde são executadas as traçagens de peças para usinagem, como mostrado na Figura 4, também recebe demanda de inspeção não realizada pelo Controle de Qualidade.



**Figura 4.** Traçagem de peças na Bancada de Risco.

A figura 5 representa uma inspeção de verificação de paralelismos sendo realiza na BR. Ou seja, tanto as máquinas operatrizes quanto a Bancada de Risco fogem do seu papel básico para atender a demanda não suprida pelo Controle de Qualidade.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

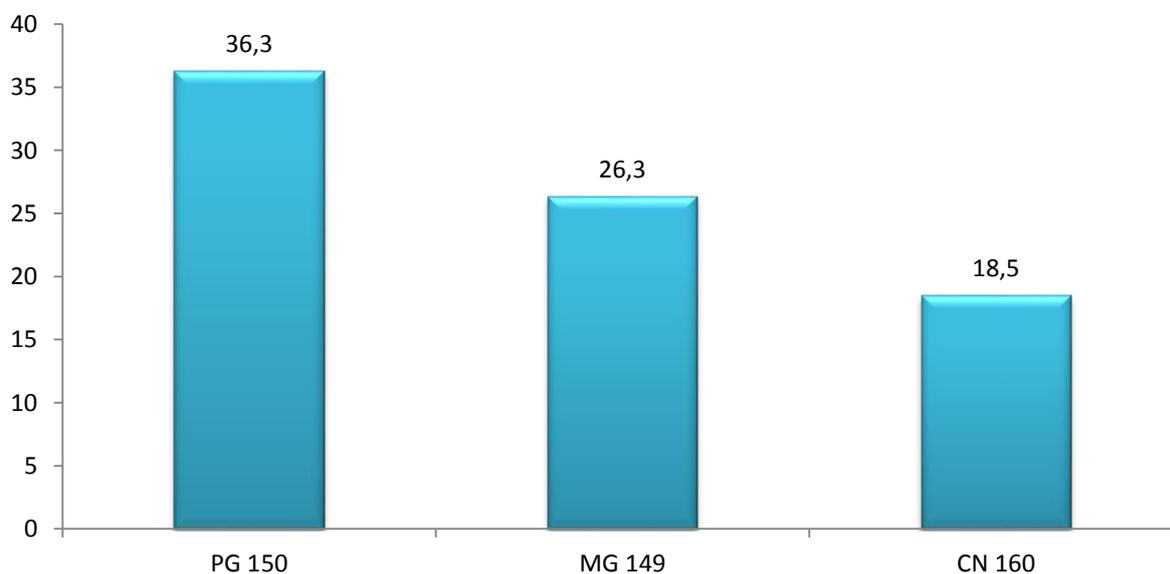


**Figura 5.** Verificação de paralelismo pela Bancada de Risco

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é implementar um novo sistema de medição para o Controle de Qualidade, de forma a reduzir a demanda de inspeção em máquinas operatrizes, que são gargalos na oficina, e em consequência, reduzir a demanda de inspeção na Bancada de Risco.

Como meta, o trabalho pretende reduzir até o final de 2013 70% do tempo de inspeção das máquinas MG149 (mandriladora), PG 150 (plaina) e CN160 (centro de usinagem) realizado em 2011. A Figura 6 mostra o gráfico que representa a demanda de inspeções nas máquinas MG149, PG150 e CN160 realizadas em 2011.

### Demanda de Inspeção em 2011 (media mês)



**Figura 6.** Demanda de Inspeção em 2011.

Conforme cronograma inicialmente estabelecido mostrado na Tabela 2, foi feito um estudo para conhecer novas tecnologias/instrumentos capazes de diminuir ou eliminar a realização de inspeção dimensional de peças em máquinas operatrizes e 'BR'. Esse estudo foi embasado em conhecimentos técnicos a respeito das tecnologias das atuais máquinas da oficina para que seja possível propor alternativas de melhorias.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 2.** Cronograma de implementação do projeto

O que? (Ação definida)	Quem? (Nome do responsável)	Onde? (Local onde se aplicará)	Como? (Como será a implantação)	Quando?	Status	
1	Procura do Benchmarking	Olivia/Robson	GFO	Estudo de novas tecnologias capazes de diminuir e/ou eliminar as atividades de inspeção de peças em máquinas operatrizes	abr/11	Concluído
2	Consulta de fornecedores	Olivia	GFO	Consultando sites de fornecedores e aplicações em outras empresas	maio/11	Concluído
3	Visita técnica de fornecedores	Olivia	GFO	Agendando visitas para conhecimento e possíveis testes dos novos equipamentos/instrumentos	jun/11	Concluído
4	Estudo de Viabilidade Econômica	Olivia/Luciano	GFO	Elaborando uma análise de ganhos e tempo de retorno do investimento	jul/11	Concluído
5	Escolha da melhor proposta e aprovação técnica	Olivia/Robson	GFO	Analisando as melhores opções de investimento	ago-/11	Concluído
6	Procedimentos de Compra	Olivia / Rangel	GFO	Criação de Código, RC, PD , Acompanhamento do Lead Time do Fornecedor	ago-dez/11	Concluído
9	Recebimento da aquisição e treinamento	Olivia e Equipe do Controle de Qualidade	GFO	Participando da entrega técnica do equipamento e realizando treinamento com o fornecedor.	jan/12	Concluído
10	Implementação da nova ferramenta de trabalho	Olivia /Anderson	GFO	Executando os novos procedimentos	jan/12	Concluído
11	Verificação dos resultados	Olivia	GFO	Realizando um novo levantamento de dados e verificando a redução do tempo de inspeção dimensional em máquinas operatrizes	mensal - até final de 2013	Concluído

Consultas, seleção de fornecedores e testes em equipamentos de medição foram feitos e duas soluções foram escolhidas o Laser Tracker e o Braço de Medição. Nestes equipamentos, foi identificado um potencial de redução de tempo de inspeção de 70 a 90% do tempo realizado pelas máquinas ou Bancada de Risco.

- O Laser Tracker

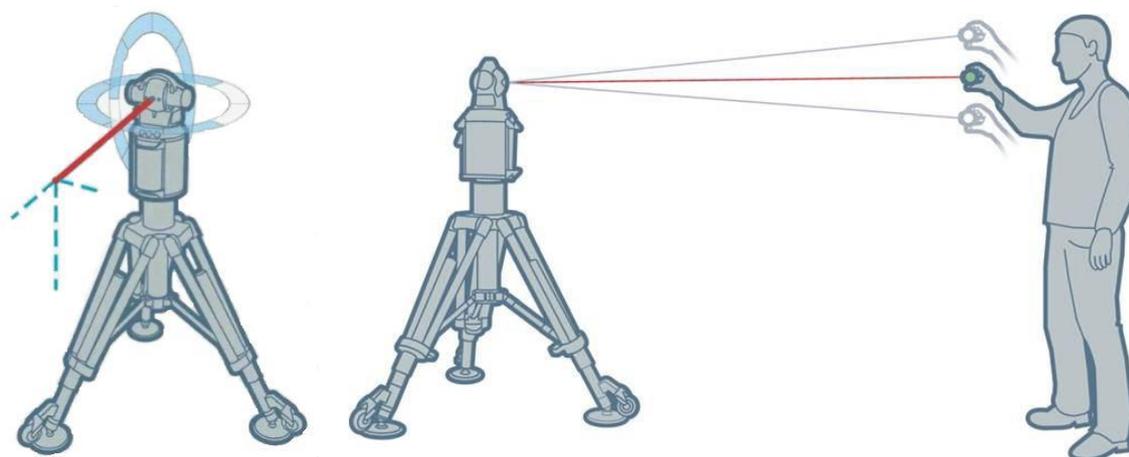
O Laser Tracker trabalha com um sistema de medição tridimensional portátil de contato e usa a tecnologia a laser para medir com precisão componentes e/ou máquinas por toda uma série de aplicações. O aparelho utiliza um medidor de distância a laser para rastrear a posição exata de um alvo retrorefletor, que é guiada ao longo do objeto a ser medido, conforme mostrado na Figura 7.



**Figura 7.** Equipamento de medição tridimensional Laser Tracker.

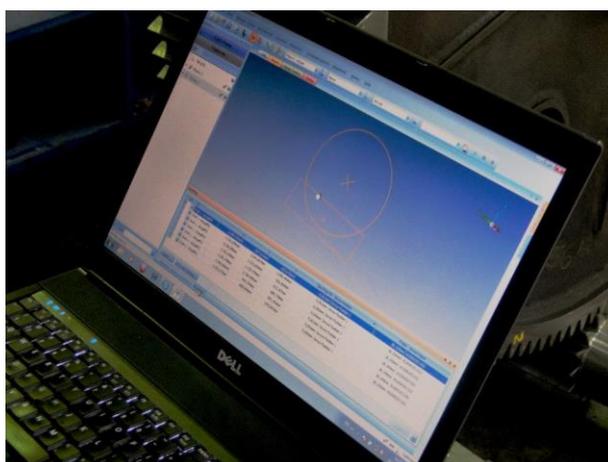
O equipamento mede dois ângulos e uma distância, como mostrado na Figura 8. Um feixe de laser é emitido para o alvo retrorefletivo, que faz o contato com a superfície a ser medida, enviando ao controlador a sua posição tridimensional. Através do software de medição, os valores são armazenados.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 8.** Princípio de funcionamento do Laser Tracker.

O software do Laser Tracker, o Cam Measure mostrado na Figura 9, realiza medições baseadas em recursos. Os recursos são elementos geométricos da peça. Você pode medir diretamente alguns elementos (por exemplo, um círculo que representa um diâmetro, um plano para representar uma superfície) ou construir a partir de elementos já medidos (por exemplo, ângulo entre superfícies medidas, comprimento entre pontos medidos). Com os elementos medidos ou construídos, você terá a representação geométrica da peça a ser inspecionada.



**Figura 9.** Software registrando os elementos medidos.

- O Braço de Medição

O Braço de Medição também é um sistema de medição tridimensional portátil, composto de eixos rotativos. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao laser tracker, porém ele executa as medições através do contato direto com a peça, sem emissão de feixe de laser. Na extremidade do braço de medição há um apalpador rígido. Portanto, para se medir as coordenadas de um ponto, deve-se posicionar manualmente o apalpador sobre o mensurando, conforme mostrado na figura 10. A comunicação do braço com o computador também é feita através de software.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



Figura 10. Medição realizada pelo Braço

Com a escolha dos novos sistemas de medição, a implementação da Medição Tridimensional no Controle de Qualidade da GFO foi dividida em duas etapas:

- 1º Etapa (Ago/11 a Jan/12): Aquisição do Laser Tracker (criação de código, pedido de compra, entrega técnica e treinamento)
- 2º Etapa (Abr/12 a Jan/13): Aquisição do Braço de Medição (criação de código, pedido de compra, entrega técnica e treinamento)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os resultados e benefícios alcançados, podemos citar:

- Redução do tempo de inspeção das máquinas (meta 70%) – Média mensal  
Em 2013, as máquinas PG 150, MG 149 e CN 160 atingiram 98%, 92% e 79% respectivamente de redução da demanda de conforme figura 11.

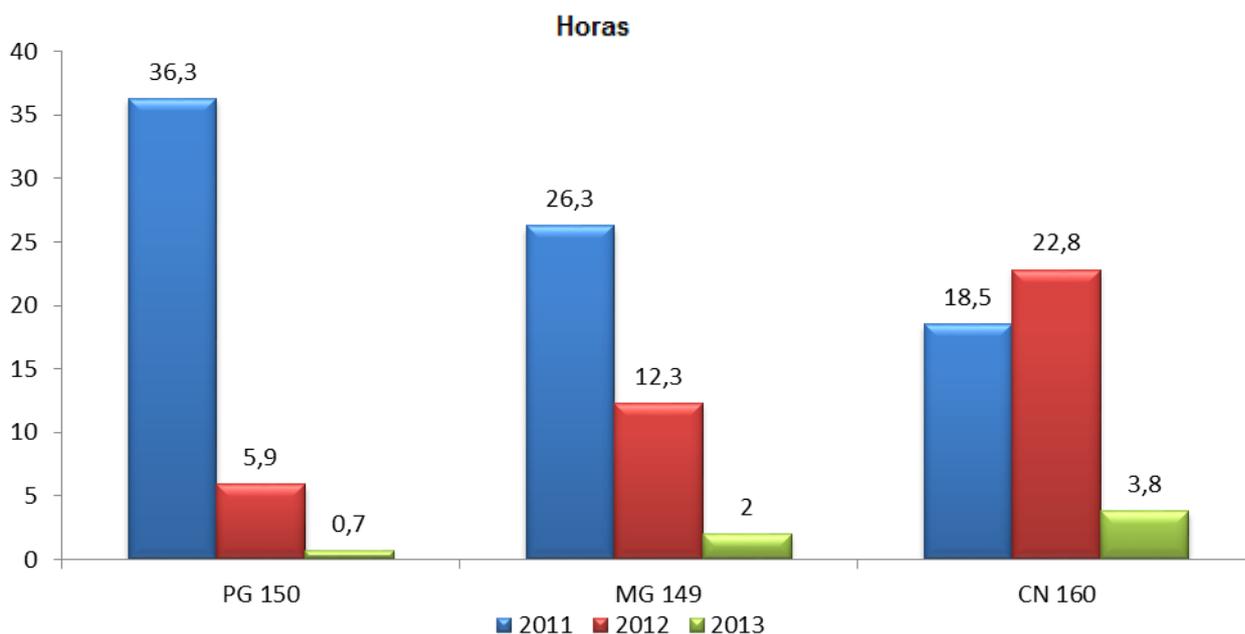


Figura 11. Redução de horas de inspeção em máquinas.

- Redução da demanda de inspeção na Bancada de Risco – Média mensal  
A Figura 12 mostra uma redução de 71% em 2013 na demanda de inspeções na Bancada de Risco, comparado aos anos de 2009, 2010 e 2011.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

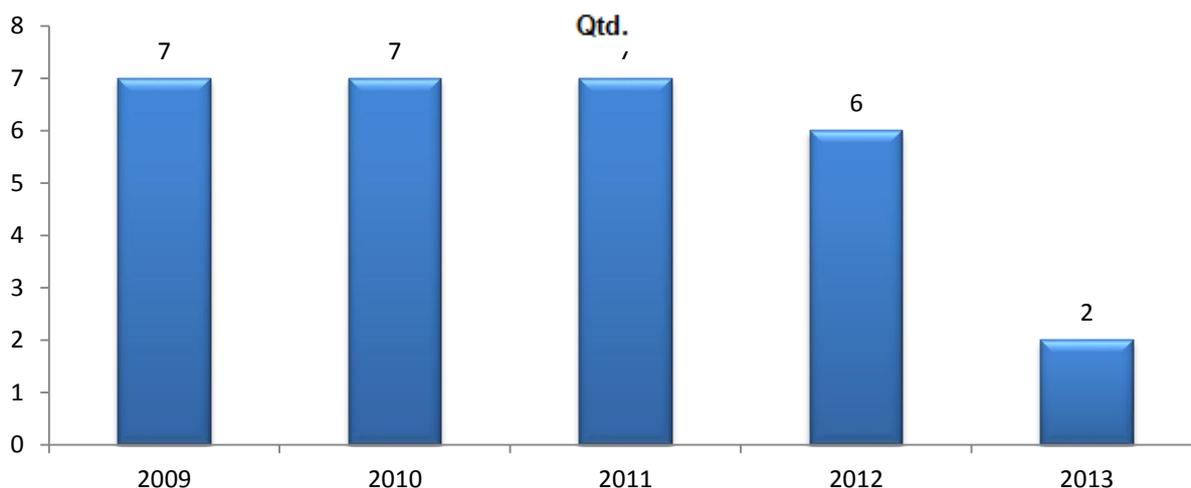


Figura 12. Redução da demanda de inspeção na Bancada de Risco.

- Absorção da demanda de Inspeção em Máquinas Operatrizes e Bancada de Risco (BR)

Em 2013, os novos equipamentos conseguiram absorver 59% da demanda total de inspeção que deveria ter sido realizada pelas máquinas operatrizes e Bancada de Risco, conforme mostrado na Figura 13. O índice de 59% é bastante significativo para a Oficina Mecânica, tendo em vista que um novo centro de trabalho foi criado e nenhuma mão de obra foi contratada para isto. Além do fato de que as inspeções no Laser Tracker e Braço de Medição são executadas apenas em horário administrativo, diferente das máquinas, onde algumas trabalham 24h.

#### Número de Inspeções de Conjuntos Mecânicos em Máquinas Operatrizes e BR X Laser Tracker

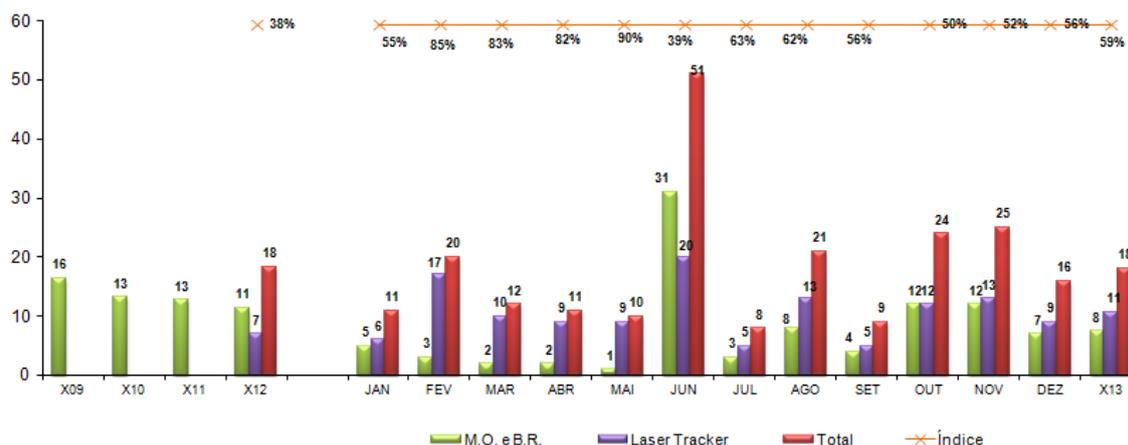


Figura 13. Absorção da demanda de inspeção.

- Diminuição do Tempo de Inspeção

A utilização do Laser Tracker e Braço de Medição reduziram significativamente o tempo de inspeção comprado com as máquinas e bancada. A Figura 14 mostra a verificação da concentricidade de dromos, que teve seu tempo de inspeção reduzido em 81%.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 14.** Verificação da concentricidade do dromo pelo Laser Tracker.

- Possibilidade de Medição em Campo

Os equipamentos portáteis trouxeram a possibilidade de medições em campo, trazendo como benefícios a oportunidade de diagnóstico das condições do equipamento sem a necessidade do envio à Oficina Mecânica, além da oportunidade de realizar diagnósticos que deveriam ser feitos através de contratação de firma externa. Podemos citar como exemplo a verificação dimensional da caixa refrigeradora do Aços Longos, onde a inspeção foi realizada no galpão de armazenagem do Longos, sem a necessidade de envio à Oficina, como mostrado na Figura 15. Foi possível diagnosticar com rapidez os desvios e programar o reparo com base nas informações do laudo.



**Figura 15.** Inspeção em campo realizada com o Laser Tracker.

- Aumento da confiabilidade e precisão das inspeções

Os novos equipamentos trouxeram maior confiabilidade nas medições, por se tratar de um equipamento preciso, com rastreabilidade e inovação tecnológica. Medidas que antes eram feitas com trenas, agora são verificadas com uma precisão muito maior e isso vem refletindo diretamente no índice de qualidade dos equipamentos reparados na oficina, como mostra na Figura 16.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

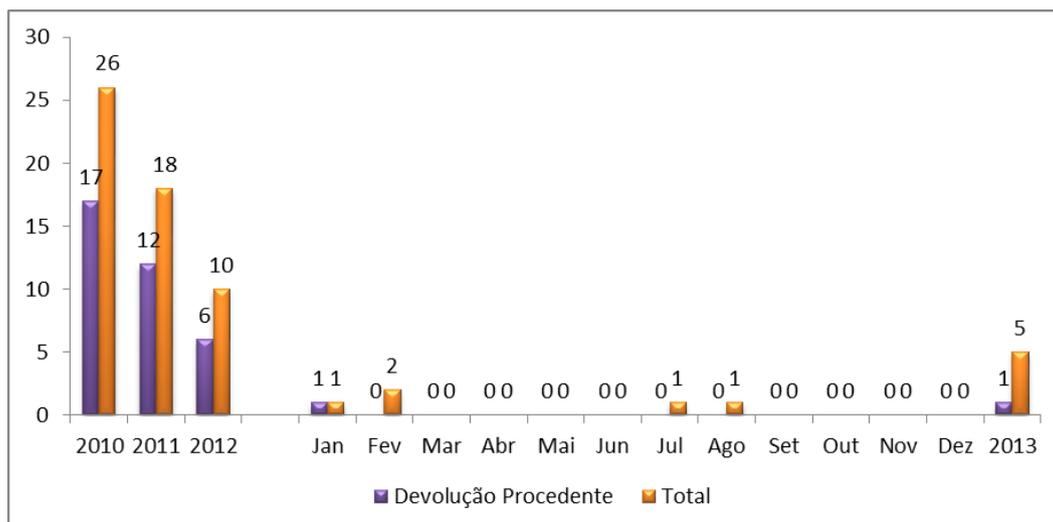


Figura 16. Número de devoluções de equipamentos reparados na GFO.

Como forma de padronização para a implementação das inspeções com os aparelhos adquiridos, um novo centro de trabalho foi criado para estes instrumentos e um procedimento de utilização foi estabelecido.

#### 4 CONCLUSÃO

O aumento da confiabilidade e precisão das inspeções realizadas, a diminuição o tempo de definição de reparo, o aumento da disponibilidade das máquinas para usinagem de equipamentos críticos, a redução do tempo de entrega dos equipamentos e em consequência a diminuição do tempo de parada de processo, para reparos programados e em emergência, trouxe vários benefícios para a Oficina Mecânica e seus clientes.

Para a implementação de uma nova tecnologia em substituição a procedimentos e máquinas existentes há décadas, foi preciso quebrar barreiras, preconceitos e acreditar na inovação.

A inovação trouxe novas oportunidades e desafios à Oficina Mecânica possibilitando a transformação de problemas em soluções.

#### Agradecimentos

- Agradecemos a todos os colaboradores da Gerência de Oficinas Mecânicas que acreditaram e incentivaram a implementação deste trabalho;
- Agradecemos aos técnicos de laboratório Luiz Carlos e Leandro Brigagão pela contribuição e interesse nas atividades de inspeção tridimensional;
- Agradecemos ao Colaborador Lescy Rômulo Braga Junior pelo incentivo na apresentação deste congresso.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Mariani CA, Pizzinato NA, Farah OE. Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: Um Estudo de de Casos. In: XII SIMPEP. 2005: 1 a 12.
- 2 Slack N, Cahmbers S, Harland C, Harrison A, Johnston R. Administração da Produção, São Paulo: Atlas; 1996.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.