

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
GABRIEL FONSECA E SILVA**

**UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS OPTOELETRÔNICOS E *SCANNERS* COMO
SOLUÇÃO METROLÓGICA NO CONTROLE DIMENSIONAL DE PEÇAS E
EQUIPAMENTOS**

**Varginha
2014**

GABRIEL FONSECA E SILVA

**UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS OPTOELETRÔNICOS E *SCANNERS* COMO
SOLUÇÃO METROLÓGICA NO CONTROLE DIMENSIONAL DE PEÇAS E
EQUIPAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Erik Vitor da Silva.

**Varginha
2014**

GABRIEL FONSECA E SILVA

**UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS OPTOELETRÔNICOS E *SCANNERS* COMO
SOLUÇÃO METROLÓGICA NO CONTROLE DIMENSIONAL DE PEÇAS E
EQUIPAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof. Esp. Erik Vitor da Silva

Prof. Esp.

Prof. Esp.

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio e dedicação de uma vida toda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus por todas as maravilhas que faz em minha vida.

Aos meus pais que sempre apoiaram o meu crescimento e batalharam pela minha educação.

Ao meu orientador Erik Vitor da Silva pelos conselhos e direcionamentos.

Aos doutores em engenharia Maurício Nogueira Frota e Gustavo Donatelli que me auxiliaram neste trabalho.

RESUMO

Este trabalho consiste de uma pesquisa sobre o contexto da metrologia científica e industrial, os desafios encontrados principalmente para medição de peças complexas e de grande porte, direcionando os estudos as técnicas de medições tridimensionais utilizando equipamentos optoeletrônicos e *scanners a laser*, como forma de apoio as empresas no acompanhamento da execução de implantações industriais, controle dimensional e controle de qualidade, através de um levantamento teórico abordando este assunto em diversas fontes, inclusive internacionais, para auxiliar na formação do contexto ideal. De forma que ao fim deste estudo, o contexto sobre medições tridimensionais, principalmente as sem contato seja amplamente abordado e apontado como a melhor opção atualmente para o ramo da metrologia tridimensional no setor industrial de manufatura, que é cada vez mais competitivo e exigente no que se refere ao controle de qualidade e de rastreabilidade dos processos.

Palavras-chave: Metrologia Tridimensional. *Scanners*. Controle Dimensional.

ABSTRACT

This paper consists of a survey of the context of scientific and industrial metrology, the challenges encountered primarily for measuring complex parts and large, directing studies the techniques of three-dimensional measurements using optoelectronic devices and laser scanners as a way to support the companies in monitoring the implementation of industrial deployments, dimensional control and quality control, through a theoretical survey covering this topic from several sources, including internationally, to assist in forming the ideal backdrop. So that at the end of this study, the context of three-dimensional measurements, especially contactless is widely discussed and touted as the best option currently for the branch of dimensional metrology in the industrial manufacturing sector, which is increasingly competitive and demanding in refers to the quality control and the traceability of processes.

Keywords: *Dimensional Metrology. Scanners. Dimensional control.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Instrumentos convencionais de metrologia.....	15
Figura 2 – Equipamentos optoeletrônicos para medição a <i>laser scanner</i>	15
Figura 3 – Sistema tridimensional de coordenadas.	16
Figura 4 – Rotores de turbinas tipo Pelton, Francis e Kaplan, respectivamente.	21
Figura 5 – Bico de injeção de combustível.....	22
Figura 6 – Detalhe das componentes geométricas de uma engrenagem.	22
Figura 7 – Engrenagem helicoidal.....	23
Figura 8 – Turbina tipo Pelton.....	23
Figura 9 – Medição de eixo para turbinas.	24
Figura 10 – Medição com paquímetro.....	27
Figura 11 – Medição com MM3C.....	27
Figura 12 – Apalpador em uma MM3C	28
Figura 13 – Escaneamento a <i>laser</i> para medição de diâmetro.	29
Figura 14 – Utilização de ultrassom para medição de diâmetro de uma tubulação.	30
Figura 15 – Câmeras fotográficas extraindo imagens simultaneamente, formando a triangulação.	31
Figura 16 – Princípio de funcionamento do rastreador interferométrico tridimensional	32
Figura 17 – Utilização de MM3C portátil pela Brilex.....	37
Figura 18 – Utilização do Scan Arm através de um braço de medição pela ARJ	38
Figura 19 – Utilização do <i>Scan Arm</i> através de um braço de medição pela Goldens'	39
Figura 20 – Utilização de <i>Laser Tracker</i> pela Marianna.	41
Figura 21 – Utilização do <i>Laser Tracker</i> pela Freightliner.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAD – *Computer-Aided Desing*

CAE – *Computer-Aided Engineering*

CAM – *Computer-Aided Manufacturing*

CAPP – *Computer-Aided Process Planning*

CCD – *Charge-Coupled Device*

CNC – Controle Numérico Computadorizado

CNI – Confederação Nacional da Indústria

iGPS – *Indoor Global Positioning System*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

MBD – *Model Based Definition*

MM3C – Máquinas de Medir por 3 Coordenadas

P&D – Pesquisa & Desenvolvimento

PSD – *Position Sensitive Diodo*

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 A METROLOGIA.....	13
2.1 Metrologia científica e industrial	13
2.2 Metrologia legal	13
2.3 A evolução da metrologia.....	14
2.4 O conceito de medição tridimensional.....	16
3 O USO DA METROLOGIA NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS	17
3.1 Rastreabilidade metrológica.....	18
3.2 Engenharia reversa	18
3.3 Controle de qualidade	19
3.4 Controle dimensional: implantação e alinhamento de equipamentos	20
4 OS DESAFIOS DA METROLOGIA.....	21
4.1 Medição de peças complexas	21
4.2 Medição de peças de grande porte.....	23
4.3 Ambientes agressivos ou desfavoráveis	24
4.3.1 Vibrações	24
4.3.2 Posicionamento de equipamentos.....	24
4.3.3 Alterações nos níveis de temperatura e umidade	24
4.3.4 Capacitação dos operadores	25
5 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL COMO SOLUÇÃO METROLÓGICA.....	26
5.1 Método de medição por contato	26
5.2 Método de medição sem contato.....	28
5.3 Tecnologias em equipamentos optoeletrônicos	28
5.3.1 Escaneamento <i>Laser</i>	28
5.3.2 Triangulação <i>Laser</i>	29
5.3.3 Perfilômetro	29
5.3.4 Ultrassom.....	29
5.3.5 Fotogrametria	30
5.3.6 iGPS.....	31
5.3.7 Rastreador interferométrico tridimensional.....	31
5.3.7.1 <i>Laser Tracker</i>	32
5.3.7.2 <i>Laser Radar</i>	32
5.3.7.3 <i>Laser Tracer</i>	32
5.4 Características	33
5.4.1 Grande capacidade dimensional	33
5.4.2 Precisão de medição	33
5.4.3 Facilidade de utilização	33
5.4.4 Alta portabilidade	33
5.4.5 Velocidade de trabalho	34
6 CASOS DE APLICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS OPTOELETRÔNICOS.....	36
6.1 Brilex Industries Inc.....	36
6.1.1 Problemas	36
6.1.2 Solução	36
6.2 ARJ Manufacturing	37
6.2.1 Problemas	37

6.2.2 Solução	38
6.3 Goldens' Foundry and Machine Company	38
6.3.1 Problemas	39
6.3.2 Solução	39
6.4 Marianna Airmotive Corporation	40
6.4.1 Problemas	40
6.4.2 Solução	40
6.5 Freightliner Custom Chassis Corporation	41
6.5.1 Problemas	41
6.5.2 Solução	41
7 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de se tomar medidas está presente em, praticamente, todos os ramos da atividade humana, ela pode ser notada na agricultura, pecuária, no comércio, na medicina, mas principalmente é claro nas engenharias.

O uso da metrologia nas engenharias, principalmente na mecânica, tem seu crescimento notável ao longo do tempo. Desde as primeiras peças mecânicas, equipamentos e ferramentas esta é uma ciência em constante uso e de grande importância, principalmente nos setores industriais aeronáuticos, automobilísticos, navais e em linhas de montagem rápida com produção em grande escala.

Atualmente, a metrologia tem papel cada vez mais importante nas empresas e indústrias de manufatura, desempenhando função de destaque no controle de qualidade dos processos e amplamente aplicada a Engenharia Reversa, com o uso das máquinas ópticas de medição tridimensional.

A metrologia na engenharia mecânica tem papel fundamental no que se tange o contexto de confiabilidade, de forma que sempre se trabalha pretendendo alcançar a melhor confiabilidade possível e garantida, auxiliando assim a montagem de todo processo e controle de rastreabilidade de ocorrências em manufatura.

Os métodos de medição tridimensional, principalmente sem contato, estão se tornando cada vez mais indicados para o controle geométrico de peças e até equipamentos completos na engenharia mecânica e da mesma forma os equipamentos que realizam este tipo de trabalho necessitam cada vez mais executar mais operações em menor tempo com consequente maior produção, do que se poderia ser alcançado pelos métodos convencionais e manuais, sempre procurando manter os padrões de incerteza dentro dos limites e com riqueza de detalhes. De outro ponto de vista, estas também necessitam de flexibilidade, de forma a tornar-se ideal para cada caso no qual se deseja aplicá-las, devido que em alguns casos não é possível efetuar o transporte do mensurado até o equipamento de medição, ou que seja necessário implantar o sistema de medição junto a determinado processo.

2 A METROLOGIA

A metrologia é uma palavra de origem grega (*metron*: medida; *logos*: ciência), pode ser definida como uma ciência que estuda as medições, abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos. (CNI, 2002, p. 6).

Segundo o VIM (2008, p. 25, grifo do autor), especificamente, a metrologia compreende todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a **incerteza de medição** e o domínio de aplicação.

Silva e Costa (2010, p. 1), definem como uma ciência de medição que abrange os aspectos teóricos e práticos que asseguram a exatidão nos processos produtivos e na transferência de custódia.

O INMETRO apresenta duas divisões da metrologia: a metrologia científica e industrial e a metrologia legal.

2.1 Metrologia científica e industrial

É uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país. (INMETRO, 2012).

A CNI (2002, p. 17) também descreve que a metrologia científica trata fundamentalmente dos padrões de medição internacionais e nacionais, dos instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas e, que a metrologia industrial abrange os sistemas de medição responsáveis pelo controle dos processos produtivos e pela garantia da qualidade e segurança dos produtos finais.

2.2 Metrologia legal

É a parte da metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos e métodos de medição, que são desenvolvidas por organismos competentes. (INMETRO, 2012).

É responsável pelos sistemas de medição utilizados nas transações comerciais e pelos sistemas relacionados às áreas de saúde, segurança e meio ambiente. (CNI, 2002, p. 18).

Seu principal objetivo é proteger o consumidor quando se trata das unidades de medidas, métodos e instrumentos de medição, levando-se em consideração as exigências técnicas e legais obrigatórias. (INMETRO, 2012).

2.3 A evolução da metrologia

O desenvolvimento metrológico vem ocorrendo ao longo dos tempos desde as primeiras necessidades de se medir ou contar algo, como por exemplo:

- a) Nos primeiros núcleos sociais, como aldeias, tribos, etc.;
- b) No desenvolvimento e ampliação da capacidade de se contar;
- c) No desenvolvimento da capacidade de se medir um objeto ou localização;
- d) Nas comercializações e trocas;
- e) Mais a frente com as novas descobertas tecnológicas;
- f) Com a consolidação das nações e sociedades modernas, e enfim;
- g) Com a globalização dos mercados e rompimento das fronteiras dos mercados exteriores.

A revolução industrial ocasionou um grande impulso à metrologia, devido a crescente demanda da fabricação em massa pelas indústrias automobilísticas e linhas de montagem diversificadas. Desta forma tornando-se necessário que todos os componentes e processos estejam em permanente sintonia.

No que se tange o conceito dimensional e executivo de ações de medição, a metrologia tem a necessidade de acompanhar constantemente as novas evoluções e exigências tecnológicas.

Na figura 1, estão ilustrados instrumentos de medição presentes no mercado a décadas, são instrumentos de uso limitado, alguns restritos a determinadas funções, onde, quando necessárias, as tomadas de medidas de um objeto necessitam de uma ação conjunta de vários destes. O que gera um acúmulo de incertezas de medição, demandando maior de tempo para execução das medições, maior número de ferramentas a serem aferidas e calibradas e a impossibilidade de comunicação direta com sistemas computacionais (CAD, CAE, CAM e CNC).

Figura 1 – Instrumentos convencionais de metrologia



Fonte: (INSTRUTEMP, 2007).

Na figura 2, estão ilustrados equipamentos optoeletrônicos de medição a *laser*, conhecidos como *Scanners*. Estes instrumentos estão capacitados com novas tecnologias de comunicação direta com sistemas computacionais e portadores de *softwares* dedicados a diversas tarefas da metrologia, possibilitando a medição tridimensional de objetos, principalmente sem a necessidade de contato com o mensurado.

Figura 2 – Equipamentos optoeletrônicos para medição a *laser scanner*

Fonte: (METROLOGIC, 2014).

Albertazzi e Souza (2008, p. 3) mencionam que o desenvolvimento da metrologia foi, é e sempre será impulsionado pela evolução tecnológica.

Segundo Estler et al (2002 apud AMORIM, 2011, p. 24) a evolução metrológica está intimamente ligada com os avanços computacionais, de forma que a combinação entre o aperfeiçoamento dos *hardwares* e *softwares* que auxiliam as medições tornaram possíveis coisas que eram apenas conceituais há trinta anos atrás.

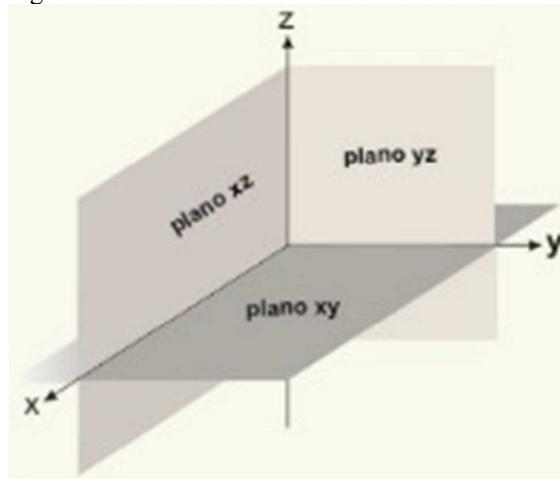
Com a era da nanotecnologia é possível reproduzir o metro com incertezas de 10^{-11} m, ou seja, 0,00000000001 m, mas este ainda não é o limite absoluto. (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008, p. 3).

2.4 O conceito de medição tridimensional

O espaço tridimensional é caracterizado por três eixos perpendiculares entre si, chamados: X, Y e Z, que definem um sistema coordenado de três dimensões. Portanto, um ponto qualquer no espaço pode ser projetado em um plano de referência onde se definem duas coordenadas, normalmente X, Y, sendo o terceiro plano responsável pela correspondente altura do ponto (Z), perpendicular ao primeiro plano.

O conceito de metrologia por coordenadas pode ser entendido como o conjunto de técnicas que determinam as dimensões geométricas através das coordenadas de pontos que compõem determinado elemento. (SOARES, 1996 apud BEREZA; MANEIRA; PIOVESANA, 2007, p. 4).

Figura 3 – Sistema tridimensional de coordenadas



Fonte: (UNESP, 2014).

3 O USO DA METROLOGIA NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS

O uso da metrologia está constantemente presente em diversos processos da engenharia mecânica: no estudo inicial de um projeto, no levantamento de dados em campo, durante um processo de idealização, na verificação de uma peça recém produzida, na solução de problemas em um processo produtivo, no controle de qualidade, etc.

Uma das principais funções da aplicação da metrologia em um processo produtivo é na verificação se a peça recém-produzida atende os requisitos funcionais e geométricos estabelecidos em projeto, ou seja, se esta está dentro das tolerâncias.

Para ressaltar, segundo Ferrante (1996 apud SILVA, 2006, p. 27) define-se tolerância como a máxima diferença dimensional permissível em qualquer das cotas da peça. Já Albertazzi e Souza (2008, p. 280) como a faixa de variação aceitável para uma característica de um produto, definida de forma a garantir a qualidade com que ele realiza a função para a qual foi desenhado.

As necessidades de medição também foram se modificando com o tempo. As medidas de comprimento passaram a ter uma segunda importância nos requisitos de grandes volumes quando a necessidade de alinhamento entre as peças e o nivelamento das grandes estruturas em relação ao solo se tornaram pontos chave na atividade de manufatura. (PUTTOCK, 1978 apud AMORIM, 2011, p. 24).

Oliveira (2003, p. 9), também menciona em sua pesquisa, que em um ambiente produtivo altamente competitivo e globalizado, a garantia da conformidade geométrica dos produtos é condição indispensável para assegurar a intercambialidade e funcionalidade dos produtos.

Da mesma forma a necessidade da melhoria contínua dos equipamentos que realizam a medição tridimensional é crescente, as exigências de maior velocidade de execução e apuração, o requerimento de maior confiabilidade na medição com redução cada vez maior das incertezas, de forma a garantir sempre a melhor solução e acompanhamento da qualidade dos produtos, pois atualmente muitos usuários exigem uma completa capacidade de rastreamento dos resultados.

Para tanto, cada vez mais, as ferramentas de medição estão se aprimorando em busca de melhor atender a demanda do mercado de medição tridimensional, principalmente através dos equipamentos optoeletrônicos e *scanners* de medição tridimensional.

Atualmente alguns setores tem grande solicitação da metrologia, podemos citar:

- a) Indústria aeroespacial: alinhamento e montagem de dispositivos, certificação de ferramentas e moldes, inspeção de peças finais;
- b) Indústria naval: alinhamento, certificação de ferramentas, moldes e gabaritos, inspeção de peças;
- c) Indústria automotiva: construção e certificação de ferramentas, alinhamento e inspeção de peças e dispositivos;
- d) Produção de moldes e ferramentas: inspeção de moldes e ferramentas, escaneamento de peças protótipo;
- e) Aplicações industriais em geral: inspeção em máquina, inspeção de primeiros artigos e inspeção periódica de peças;

Mais especificamente, também podemos citar algumas aplicações diretas de controle dimensional para alinhamento e nivelamento de máquinas e outros componentes, como:

- a) Turbinas de geração de energia hidráulica, gás e óleo;
- b) Pás eólicas de geração de energia;
- c) *Hyper* de compressores;
- d) Eixos da indústria de laminação, papel e celulose;
- e) Máquinas de usinagem CNC e convencionais.

3.1 Rastreabilidade metrológica

Segundo o VIM (2008, p. 26, grifo do autor), a rastreabilidade é a propriedade de um **resultado de medição** através da qual o resultado pode ser relacionado a uma referência por intermédio de uma cadeia ininterrupta e documentada de **calibrações**, cada uma contribuindo para a **incerteza de medição**.

Propriedade do resultado de uma medida ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, por meio de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas. (CNI, 2002, p. 12).

Vale ressaltar que, a rastreabilidade de um resultado da medição não assegura por si só que a incerteza de medição seja adequada para qualquer propósito, tanto quanto a ausência de erros humanos, sistemáticos ou de ambiente.

3.2 Engenharia reversa

A Engenharia Reversa pode ser descrita brevemente como um processo inverso ao convencional, no qual tomamos um objeto existente como modelo inicial, efetuamos o levantamento das informações sobre este, para então definirmos melhorias ou adaptações e chegarmos ao resultado final desejado, de forma inversa a engenharia convencional.

Ferneda (1999, p. ix), menciona em seu estudo que a engenharia reversa é o conceito de se produzir uma peça tomando como base um original ou modelo físico existente, sem o uso de desenhos técnicos.

Entendida como uma engenharia ao inverso, ela corresponde à desmontagem e análise de produtos, identificando os componentes e materiais que o compõe, com o objetivo de conhecer suas funções e o processo utilizado em sua fabricação. (BARTZ; STAUDT; SOUZA, 2005, p. 4).

Também utilizamos a engenharia reversa para avaliar um produto recém fabricado, de forma a verificar sua confiabilidade dimensional antes de entregá-lo ao cliente.

Outra forma seria como comparação, entre um produto próprio e de concorrentes antes de lançar uma nova ideia no mercado, o que chamamos de *benchmarking*. O *benchmarking* está intimamente ligado à engenharia reversa, uma vez que se comparam produtos e serviços com outros que são melhores na classe. (ARANSON, 1996 apud FERNEDA, 1999, p. 5-6).

O processo de engenharia reversa acelera a produção de protótipos na indústria mecânica, eletromecânica, eletrônica, etc. (LATERZA; SANTOS, 1993 apud FERNEDA, 1999, p. 41).

A engenharia reversa explora metodologias que usam equipamentos para medir objetos, reconstruir ou recuperar a geometria desses objetos e rapidamente fabricar os protótipos dos modelos. (CAI et al, 1996 apud FERNEDA, 1999, p. 7).

3.3 Controle de qualidade

A metrologia exerce importante papel nos Sistemas de Garantia da Qualidade (SGQ), formando uma base técnica para tomada de decisões nas avaliações dos produtos e processos. (SOARES JR., 1999, p. 5).

A padronização dos procedimentos metrológicos e a implementação de ações para a garantia da confiabilidade metrológica, tem se desenvolvido junto com a implantação de programas de garantia da qualidade. (SOARES JR., 1999, p. 1).

Onde a qualidade de cada produto ou serviço é um requisito fundamental para a sobrevivência de qualquer empresa. (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008, p. 279).

Albertazzi e Souza (2008, p. 282-283) também ressaltam que a falta de uma aplicação correta da metrologia dentro da qualidade gera o que podemos chamar de não-qualidade, e esta pode gerar custos altos as empresas, destacando os seguintes:

- a) rejeição errônea de produtos de boa qualidade por erros de controle de qualidade;
- b) aprovação errônea de produtos fora das especificações e tolerâncias;
- c) custos com retrabalho de peças ou serviços;
- d) indenizações e multas por perdas e danos dos clientes ou consumidores;
- e) perda de clientes para a concorrência melhor preparada.

3.4 Controle dimensional: implantação e alinhamento de equipamentos

O controle dimensional é um conjunto de métodos e práticas capaz de verificar de maneira eficiente as características dimensionais de peças, subconjuntos ou mesmo até equipamentos completos, objetivando garantir a montagem, um bom funcionamento e intercambialidade das peças. (GRANGEIRO, 2007, p. 16).

Extrusoras de plásticos, turbinas a vapor ou gás, bombas e compressores, entre muitos outros sistemas exigem folgas específicas e uniformes entre os componentes. A concentricidade dos componentes é crítica para estas máquinas, (MEAGHER, 2013, tradução nossa), exigindo um controle dimensional rígido para que o seu funcionamento seja o adequado.

4 OS DESAFIOS DA METROLOGIA

O desenvolvimento das tecnologias CAD, CAE, CAPP, CAM e CNC, que auxiliam desde a modelagem de sólidos 3D e superfícies, no planejamento da fabricação e montagem dos componentes, implica que os avanços metrológicos também necessitam de desenvolvimento equiparado para acompanhar essas tecnologias, pois estes avanços contribuem para o desenvolvimento e aplicação de peças cada vez mais complexas, em produtos de diferentes áreas, destacando-se nos setores automotivo, aeronáutico e eletroeletrônico. (GIGO, 1999 apud SOUZA; SCHNEIDER; MASS, 2011, p. 148).

Souza e Maurício (2011, p. 1), ressaltam que com o surgimento e crescimento das tecnologias de manufatura digital e do conceito MBD nas empresas, o uso dos desenhos 2D em papel caminha para a extinção, exigindo assim novas técnicas de modelagem 3D em um único modelo CAD a ser utilizado em todo o processo da manufatura, principalmente no processo de controle de qualidade e rastreabilidade da execução.

Dworkini e Ney (2006 apud SILVA, 2011, p. 21) destacam também os processos de fabricação a quente, onde a medição dimensional é necessária, mas inconveniente devido às dificuldades de se lidar com uma peça ainda quente, dificuldades estas relacionadas tanto quanto com o sistema de medição quanto à segurança operacional.

Lima (2006, p. 5) cita a necessidade de controle dimensional rígido também em peças fundidas, como turbinas do tipo Pelton, Francis e Kaplan, já que estas são projetadas utilizando de superfícies irregulares, conforme a figura 4.

Figura 4 – Rotores de turbinas tipo Pelton, Francis e Kaplan, respectivamente



Fonte: (LIMA, 2006).

4.1 Medição de peças complexas

Elementos de máquinas como engrenagens, possuem geometria complexa e normalizada por parâmetros geométricos pré-definidos, como passo e ângulo de pressão, que descrevem toda geometria orientadora do processo de fabricação e controle dimensional. (BRITO NETO, 2003, p. 5-6).

Dois exemplos podem ser vistos abaixo:

a) medição de bicos injeção de combustível, usualmente estes possuem diâmetros na faixa de 200 a 500 μm . (YAMANAKA, 2013, p. 3).

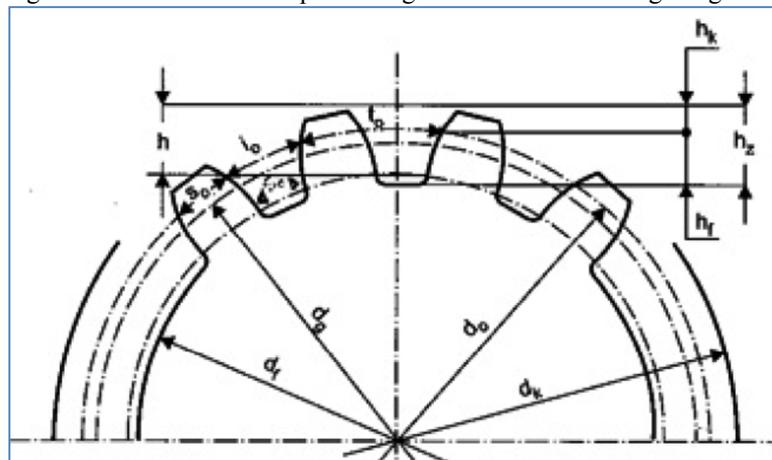
Figura 5 – Bico de injeção de combustível



Fonte: (YAMANAKA, 2013).

b) medição de engrenagens ou conjuntos de engrenagens, que geralmente são peças com geometrias complexas onde cada detalhe dos dentes possui suma importância na vida útil da mesma.

Figura 6 – Detalhe das componentes geométricas de uma engrenagem



Fonte: (MELCONIAN, 2009, p. 96).

Figura 7 – Engrenagem helicoidal



Fonte: (METALVALLEY, 2014).

4.2 Medição de peças de grande porte

A medição de peças com dimensão elevada, de grande porte e conseqüente peso elevado, para usos específicos como turbinas, geradores, tubulações, sempre apresentam desafios à metrologia, pois a utilização de equipamentos convencionais não atende adequadamente das necessidades e principalmente não garantem a confiabilidade metrológica exigida pelos processos de manufatura.

As figuras 8 e 9 exemplificam a complexidade encontrada em alguns casos.

Figura 8 – Turbina tipo Pelton



Fonte: (HACKER, 2014).

Figura 9 – Medição de eixo para turbinas



Fonte: (OASIS, 2014).

4.3 Ambientes agressivos ou desfavoráveis

Na maioria dos ambientes de produção, os sistemas de medição estão sob constantes variações de ambiente. Tais como:

4.3.1 Vibrações

Podemos citar as vibrações constantes causadas por equipamentos em funcionamento próximas aos locais onde estão sendo efetuadas as medições, como: prensas, esteiras transportadoras, pontes rolantes, guinchos, etc.

4.3.2 Posicionamento de equipamentos

Muitas das vezes o local onde se necessita aplicar um sistema de medição está circundado de objetos e até ferramentas de produção, dificultando a operação e efetuação das medições necessárias.

4.3.3 Alterações nos níveis de temperatura e umidade

A alteração da temperatura ambiente é uns dos principais agentes agressores quando o assunto é medição de precisão, principalmente por ser um agente invisível e muitas das vezes incontrolável, podendo sobre mudanças repentinas e inesperadas.

4.3.4 Capacitação dos operadores

A capacitação dos operadores é um fator que obrigatoriamente deve ser controlado e monitorado pelos setores responsáveis pelo controle de qualidade, pois o sucesso de todo o processo depende da aplicação correta de cada ferramenta. Sendo que seria impossível assegurar que as incertezas de medição estão dentro das tolerâncias se o próprio operador não for qualificado o bastante para executar o processo da forma correta.

5 DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL COMO SOLUÇÃO METROLÓGICA

Segundo Albertazzi e Souza (2008, p. 91) um sistema de medição é o meio pelo qual as medições são efetuadas. É construído de forma que permita a comparação do mensurando com a unidade de medição e indique o número de vezes mais a fração da unidade de medição que está contida dentro do mensurado.

A tecnologia de digitalização tridimensional surgiu no final da década de 80, financiada pela Marinha Norte-Americana através de um projeto chamado RAMP (*Rapid Acquisition of Manufactured Parts*). Seu objetivo era reduzir o tempo e custo para reprodução de peças da marinha. (MURY, 2000, p. 13).

Uma das principais ferramentas de engenharia reversa é o redesenho do modelo inicial, para tanto se faz necessário à medição deste modelo para seu conhecimento dimensional físico. Uma excelente opção para este levantamento dimensional é a digitalização tridimensional, ou seja, obter uma sequência de pontos no espaço. (GONZÁLEZ, 1995 apud FERNEDA, 1999, p. 12).

Assim, sistemas de alta tecnologia para aquisição de imagens e dados, como o *scanner 3D a laser*, *softwares* vetoriais e sistemas CAD/CAE/CAM tornam-se ferramentas fundamentais para esta função. O processo de digitalização tridimensional através de *scanner 3D* permite obter com grande precisão detalhes de superfícies, texturas e objetos. Através dos modelos 3D digitalizados podem ser realizadas análises de superfícies, medidas de rugosidade, desgaste e centro de gravidade, construção de moldes, etc., e aplicar os resultados com grande fidelidade em produtos inovadores. (SILVA, 2006, p. 20).

Existem vários métodos com os quais se podem extrair dados de uma superfície. Esses métodos podem ser classificados em duas grandes categorias: métodos por contato e métodos sem contato. (BIDANDA et al, 1991 apud FERNEDA, 1999, p. 12).

Neste trabalho abordaremos com ênfase os métodos de medição sem contato.

5.1 Método de medição por contato

Esta forma de medição ou digitalização caracteriza-se pelo simples fato que existe o contato entre a peça a ser medida e a ferramenta utilizada para a aquisição das dimensões, facilmente visualizada na utilização de um paquímetro ou em uma MM3C.

Figura 10 – Medição com paquímetro



Fonte: (MITUTOYO, 2005).

Figura 11 – Medição com MM3C



Fonte: (MITUTOYO, 2005).

Este é um método comumente utilizado em fábricas de pequeno porte e em peças de geometria simples, onde a medição de peças é feita manualmente utilizando-se calibradores, blocos de medição e escalas. Mas que no contexto industrial pode ser encontrada nos palpadores das MM3C.

Figura 12 – Apalpador em uma MM3C



Fonte: (MITUTOYO, 2005).

5.2 Método de medição sem contato

Esta forma de digitalização caracteriza-se pela aquisição das informações dimensionais sem que haja contato físico entre o objeto mensurado e a ferramenta, sendo amplamente utilizados os métodos ópticos de medição para esta função.

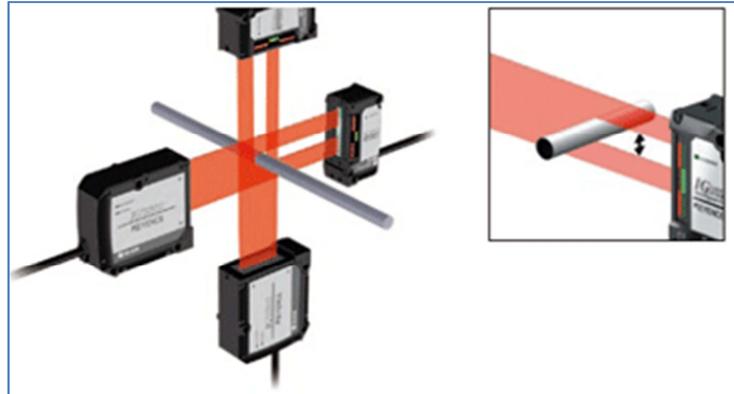
Um método óptico em processo de medição é definido como aquele em que o módulo transmissor produz e emite uma luz, que é recolhida fotoeletricamente por um módulo receptor. Isto produz sinais que são convertidos em uma forma conveniente e apresentados como informação dimensional pelo processamento eletrônico do sistema de medição. (YANNDAYAN; BURDEKYN, 1997 apud SILVA, 2011, p. 20-21).

5.3 Tecnologias em equipamentos optoeletrônicos

5.3.1 Escaneamento *Laser*

Este tipo de medição, se caracteriza pelo escaneamento por interrupção de luz, neste caso o *laser* não se move, a varredura é realizada com o desvio do feixe por um prisma de cinco lados em giro contínuo, na ordem de 1800 rpm, uma lente de colimação especial produz raios paralelos que varre o espaço de trabalho a uma taxa linear proporcional a velocidade de rotação do prisma, assim a posição dentro do espaço de trabalho alvo cilíndrico não é crítica. Esta medição é bastante utilizada para medição de diâmetro de componentes usinados ou extrudados. (DOEBELIN, 2004 apud SILVA, 2011, p. 30).

Figura 13 – Escaneamento a *laser* para medição de diâmetro.



Fonte: (KEYENCE, 2014).

5.3.2 Triangulação *Laser*

Um plano com raio *laser* é projetado sobre a superfície do mensurado e uma câmera digital capta a interseção entre a superfície e o *laser*, as coordenadas são obtidas por triangulação. (MARINHO; SILVA, 2009 apud SILVA, 2011, p. 33).

Os principais componentes de uma triangulação são uma fonte de luz colimada (geralmente um *laser* diodo) e uma unidade de detector constituído por uma lente de imagem e um detector sensível à posição (CCD linha ou PSD). (SCHWENKE et al, 2002 apud SILVA, 2011, p. 33).

5.3.3 Perfilômetro

Esta forma de medição é baseada no método de fenda de luz, ampliando o princípio da triangulação visto anteriormente.

Ao aplicar o método da fenda de luz com uma base óptico variável em um sistema variável de distância, o sistema de medição pode ajustar-se a diferentes distâncias de medição. O sistema de medição utiliza quatro cabeças de *laser* e uma câmera CCD, que são móveis ao longo da base, a forma do perfil é processada com base nas informações colhidas na CCD pela placa de controle do sistema. (SILVA, 2011, p. 35-36).

5.3.4 Ultrassom

Este sistema trabalha com uma onda acústica com frequência superior a faixa audível do ouvido humano.

Seu princípio básico é o tempo de voo. Neste método um pulso de ultrassom é transmitido em um meio, quando o pulso atinge um outro meio ele é totalmente ou parcialmente refletido, quando o som se propaga com uma velocidade conhecida o tempo decorrido entre o sinal de saída e entrada é uma medida proporcional a distância entre o sensor e o objeto. (SILVA, 2001, p. 43).

Este método é comumente utilizado em avaliação e supervisão de tubulações, quanto à medição de diâmetros para verificação da corrosão.

Figura 14 – Utilização de ultrassom para medição de diâmetro de uma tubulação



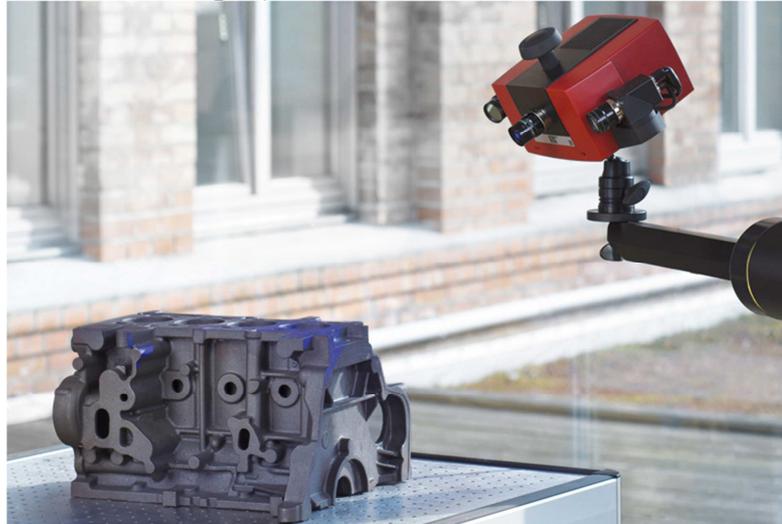
Fonte: (RB, 2014).

5.3.5 Fotogrametria

A fotogrametria é uma técnica de medição na qual as coordenadas tridimensionais de pontos no objeto são calculadas por triangulação óptica a partir de imagens bidimensionais feitas de diferentes posições. (ESTLER, 2002 apud EGER, 2013, p. 29).

Ainda segundo Eger (2013, p. 29) as aplicações tradicionais da fotogrametria são a medição de superfícies de telescópios de rádio, antenas parabólicas e medições de partes de embarcações.

Figura 15 – Câmeras fotográficas extraindo imagens simultaneamente, formando uma triangulação



Fonte: (USM, 2013).

5.3.6 iGPS

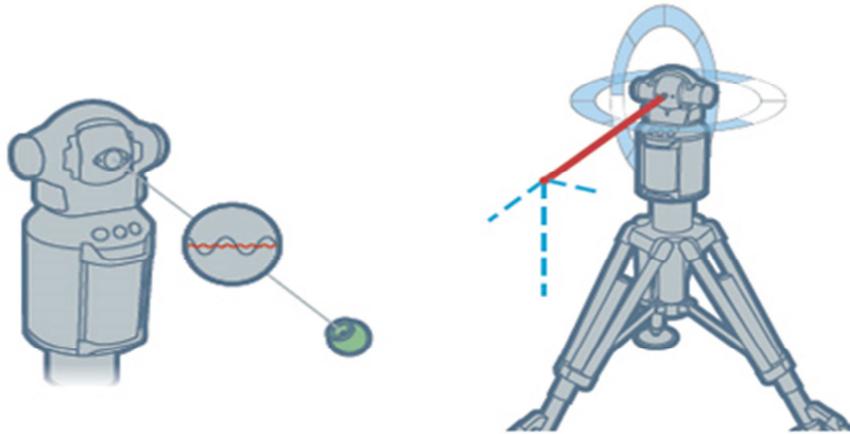
O iGPS (*indoor* GPS) é um sistema de geodésia industrial composto por pelo menos dois transmissores e um receptor.[...] Cada transmissor emite continuamente dois feixes rotativos (frequência de rotação de torno de 50 Hz) de *laser* infravermelho em forma de leque e um sinal estroboscópico de referência, onde os receptores são constituídos por elementos fotossensíveis para receber os sinais transmitidos. (EGER, 2013, p. 30).

Landeta (2010 apud AMORIM, 2011, p. 32) faz uma comparação entre iGPS e os GPS tradicionais, sendo que este segundo utiliza-se de satélites artificiais lançados no espaço e no caso do iGPS os satélites são substituídos por transmissores, que estão dispostos no entorno do objeto mensurado.

5.3.7 Rastreador interferométrico tridimensional

Neste sistema um feixe de *laser* com frequência modulada é emitido na direção do objeto mensurado, uma pequena parcela do sinal refletido pela superfície do objeto retorna com modulação deslocada em relação ao sinal emitido, assim a diferença de fase entre esses sinais é proporcional à distância até o objeto. (EGER, 2013, p. 27).

Figura 16 – Princípio de funcionamento do rastreador interferométrico tridimensional



Fonte: (QUALITY, 2014).

5.3.7.1 *Laser Tracker*

Segundo Estler (2002, apud EGER, 2013, p. 25) o primeiro *Laser Tracker* – laser interferométrico capaz de rastrear um alvo foi demonstrado no ano de 1986 por Lau, Hocken e Haight, motivados pela necessidade de medições rápidas e com baixa incerteza da posição de robôs industriais.

Já Vieira (2003, p. 36) menciona em sua pesquisa que a tecnologia básica do *Laser Tracker* foi desenvolvida por um pequeno grupo na National Bureau of Standards (NBS) nos EUA, sendo patenteado em 1987.

5.3.7.2 *Laser Radar*

O *laser radar* não necessita de um refletor para realizar a medição, os ângulos horizontal e vertical são medidos por *encoders*, que segundo S&E (2014), são equipamentos eletromecânicos, utilizados para conversão de movimentos rotativos ou deslocamentos lineares em impulsos elétricos de onda quadrada.

Ainda segundo Eger (2013, p. 27) o *Laser Radar* pode ser aplicado à medição da forma de embarcações ou da fuselagem de aviões e é ideal para inspeção dimensional de grandes peças.

5.3.7.3 *Laser Tracer*

É um instrumento semelhante ao *Laser Tracker*, porém é otimizado para realizar medição de distâncias. O sistema foi projetado de modo a tornar seu desempenho

metrológico independente das imperfeições mecânicas dos mecanismos de giro [...] O *Laser Tracer* possui uma esfera de precisão (erro de forma inferior a 30 μm) em seu centro de rotação que atua como refletor fixo do interferômetro [...] O procedimento de medição com o *Laser Tracer* é muito semelhante àquele do *Laser Tracker*, requerendo o uso de um refletor e cuidados para não haver interrupção do sinal luminoso entre refletor e o sistema de medição. (EGER, 2013, p. 28).

5.4 Características

Os equipamentos aplicados as medições tridimensionais necessitam atender algumas características específicas que os diferenciam dos métodos convencionais de medição, tais como a seguir.

5.4.1 Grande capacidade dimensional

Uma importante característica e de grande solicitação no mercado, principalmente pelas condições físicas em que se encontram os objetos a serem mensurados, dos equipamentos optoeletrônicos é possuir a capacidade de medir com longo alcance, ou seja, possuir uma capacidade dimensional ou o alcance de medição ideal para cada evento.

5.4.2 Precisão de medição

A precisão de medição é outra característica única desse tipo de equipamento, as medições podem ser executadas com precisão de até 0,008 mm/m, ou seja, um objeto com 10 m de comprimento pode ser medido com precisão de até 0,08 mm. (VIEIRA, 2003, p.20).

5.4.3 Facilidade de utilização

Os equipamentos optoeletrônicos portáteis, mesmo possuindo uma capacidade de execução de medições admirável e complexa, são máquinas muito simples de serem utilizadas, com *softwares* potentes, mas de linguagem de trabalho simplificada e direta.

5.4.4 Alta portabilidade

Devido às exigências físicas e construtivas de determinados objetos a serem mensurados, os equipamentos optoeletrônicos devem possuir alta portabilidade, pois podem ser solicitados em locais onde outros sistemas de medição não tem acesso.

5.4.5 Velocidade de trabalho

Como resultado de todo este conjunto, a velocidade de trabalho destes equipamentos portáteis de longo alcance para medição tridimensional é alta, isso devido ao pouco tempo gasto com a medição dos objetos e com a fácil automação do processo de medição, independentemente do local e do tamanho do objeto mensurado, também devido à comunicação direta com sistemas computacionais.

Por estas máquinas também apresentarem uma grande diversificação, a escolha do sistema de medição ideal para cada tipo de execução é ponto importante de análise.

Souza; Shneider; Maas ([2010?], p. 2) recomendam que os seguintes aspectos técnicos sejam tomados como referência para a escolha do melhor equipamento a ser aplicado:

- a) Incerteza de medição compatível com as tolerâncias do projeto;
- b) Alcance de medição compatível com a peça e velocidade de deslocamento;
- c) Flexibilidade, para adaptar-se rapidamente a cada situação;
- d) *Software* com recursos específicos capazes de atender a demanda, com possibilidade de programação virtual *off-line* e com emissão de dados possíveis de comparação com um modelo CAD;
- e) Automatização CNC compatível com a medição, principalmente no caso de fabricação seriada de peças;
- f) Robustez operacional, independente do ambiente de operação.

Albertazzi e Souza (2008, p. 308) citam alguns problemas gerados pela má definição do sistema de medição aplicado:

- a) Resultados com incerteza de medição incompatível as especificações;
- b) Manutenções frequentes nos sistemas de medição, ocasionando redução da vida útil;
- c) Operação difícil, com custo elevado e por muitas vezes demorada;
- d) Difícil integração com os sistemas de controle e rastreabilidade preexistentes;
- e) Custo com aquisição e manutenção excessivas e por muitas vezes desnecessárias;
- f) Assistência ineficiente;

g) Erros de classificação das peças ou produtos, causando desperdícios ou retrabalhos desnecessários;

h) Má qualidade final dos produtos.

6 CASOS DE APLICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS OPTOELETRÔNICOS

6.1 Brilex Industries Inc

Fundada em 1996 por dois irmãos, Brian e Alex Benyo, a Brilex ficou conhecida como uma das empresas mais agressivas e de mais rápido crescimento de Youngstown, em Ohio. A empresa assumiu uma posição de liderança em seu segmento industrial através de desempenho comprovado, dedicação e investimento contínuo em seus funcionários, instalações e equipamento avançado, proporcionando à empresa e a seus clientes as vantagens necessárias para competir no mercado global atual. (BRILEX, 2011, tradução nossa).

6.1.1 Problemas

As peças produzidas pela Brilex Industries Inc. possuem um tamanho extenso e proporcionalmente um peso maior, podendo variar de 13,61 kg (13 libras) a 70 t. Desta forma tendem a compor equipamentos de tamanho médio a grande, fabricados, usinados e/ou montados.

A empresa utilizava uma variedade de ferramentas para o controle dimensional, pois ainda era difícil encontrar uma única ferramenta que atende-se a todas as solicitações.

Como em qualquer empresa, agilidade e capacidade de produção são pontos cruciais para o sucesso. Mas com as ferramentas que estavam aplicando para medição dimensional e controle da qualidade a demanda de tempo para tanto estava maior que a desejada, mesmo que as medições obtidas com ferramentas tradicionais eram suficientes, elas eram demoradas. A Brilex Industries Inc. precisava então de uma solução com maior eficiência.

6.1.2 Solução

A solução encontrada foi a aplicação de MM3C portáteis, que possibilitaram a Brilex Industries Inc. executar muitas das inspeções exigidas com precisão e rastreabilidade.

A Brilex Industries Inc. utiliza de um equipamento *Laser Tracker* ION, para verificar diariamente a configuração na inspeção de fabricação e durante a inspeção final, usado principalmente em peças onde há desafios para o pessoal de P&D.

As peças verificadas pela Brilex Industries Inc. geralmente são peças com comprimento superior a 6 m e que normalmente exigem tolerâncias de planicidade

específicas, em outros casos essas peças terão faces usinadas e o *Laser Tracker* é usado para verificar a existência de sobremetais adequados.

Bud Geddes, gerente de fabricação da Brilex Industries Inc, mencionou que: “*A vantagem mais significativa de um rastreador a laser em comparação com um sistema convencional de medições a laser é a capacidade de estabelecer pontos de dados na peça de trabalho que está sendo avaliada e movimentar o rastreador em torno da mesma. Essa operação permite ao usuário medir relações entre dimensões que não seriam possíveis de serem medidas de outra maneira.*” (FARO, 2013).

Figura 17 – Utilização de MM3C portátil pela Brilex



Fonte: (FARO, 2013).

6.2 ARJ Manufacturing

A ARJ Manufacturing é parte da Toyota Boshoku America (TBA) e de sua empresa matriz, o grupo Toyota Boshoku.

Ela é uma fabricante importante de sistemas de interiores de automóveis, incluindo assentos, forros das portas, forro dos tetos, forros em geral e carpetes, além de filtros de ar e de óleo, para uma ampla variedade de clientes líderes da indústria automotiva. (TOYOTA-BOSHOKU, 2013, tradução nossa).

6.2.1 Problemas

A empresa usava uma variedade de ferramentas tradicionais, como medidores manuais, micrômetros, calibres e até uma MM3C fixa. Mas não eram capazes de absorver todo o volume de dados que a empresa necessitava no tempo exigido.

6.2.2 Solução

A tecnologia aplicada foi a combinação de um recurso com contato, um *Scan Arm*, com um recurso sem contato, um *Laser Line Probe* (LLP), para criar um sistema de medição portátil. Ao usar o equipamento, a ARJ Manufacturing foi capaz de comparar rapidamente e com precisão uma peça com o PPAP, que é o padrão usado para garantir a qualidade e a eficiência com respeito à produção da peça na cadeia produtiva e estabelece a confiança nos fornecedores dos componentes e em seus processos de produção, e a matriz com o revestimento da peça. Em seguida, eles compararam o PPAP com o CAD e a matriz e encontraram um problema na matriz da peça. Em outras palavras, eles constataram que a ferramenta tinha sido montada errada e estava criando alterações que não estavam documentadas pelo cliente. (FARO, 2013).

Isto era algo que, com as ferramentas anteriores, não seria possível de se identificar.

Figura 18 – Utilização do *Scan Arm* através de um braço de medição pela ARJ



Fonte: (FARO, 2013).

6.3 Goldens' Foundry and Machine Company

A Goldens' Foundry and Machine Company é um fabricante de valor agregado de componentes fundidos, usinados e montados para as indústrias de bens de capital e duráveis.

Atualmente uma empresa familiar de quinta geração, com instalações em Columbus e Cordele, na Geórgia. (GFMCO, 2013, tradução nossa).

6.3.1 Problemas

A Goldens' Foundry and Machine Company usa um processo de fundição centrífuga, essa técnica promove a distribuição do metal fundido, a solidificação direcional e melhora a integridade da fundição forçando as impurezas para a superfície interior. As peças fundidas podem ser usinadas em processos monitorados para produzir componentes livres de defeitos. Para garantir tudo isso, cada peça deve ser inspecionada e isso pode representar um grande problema.

Um peça fundida pode medir 40x30x30 pol (101,6x76,2x76,2 cm) e pesar 250 libras (113,4 kg). Os furos, furos para parafusos, furos rosqueados e as partes fundidas devem ser medidos e verificados.

Este trabalho era executado por um MM3C fixa tradicional e ferramentas manuais e isso era ineficaz.

6.3.2 Solução

A solução encontrada foi o uso de um *Scan Arm*, através de uma MM3C portátil, portadora de um braço de medição com capacidade de efetuar medições sem contato. Este sistema permitiu a verificação da peça toda, em todos os lados, em um único local.

Figura 19 – Utilização do *Scan Arm* através de um braço de medição pela Goldens'



Fonte: (FARO, 2013).

6.4 Marianna Airmotive Corporation

Marianna Airmotive Corporation foi fundada em 1968, em Marianna, Flórida realizando vários contratos governamentais, sendo líder na inspeção, reparo e refabricação de componentes estruturais da maior aeronave da Força Aérea dos Estados Unidos, o C5 Galaxy. (MARIANNA, 2013, tradução nossa).

6.4.1 Problemas

Os *spoilers* de solo e de voo são painéis unidos com múltiplas articulações, estas então precisam se alinhar com os pontos de união das asas com precisão da ordem de +/- 0,010 pol (0,025 cm).

Os engenheiros usavam o módulo CAD para criar uma série de modelos 2D, mas cada modelo inspeciona uma única seção transversal, portanto se tornando inviável, outro problema é que é quase impossível configurar com precisão cada modelo, a torção que resulta quando um modelo é inclinado em relação ao seu ângulo teórico pode fazer que uma peça fique fora das especificações, mesmo quando corresponder a seção.

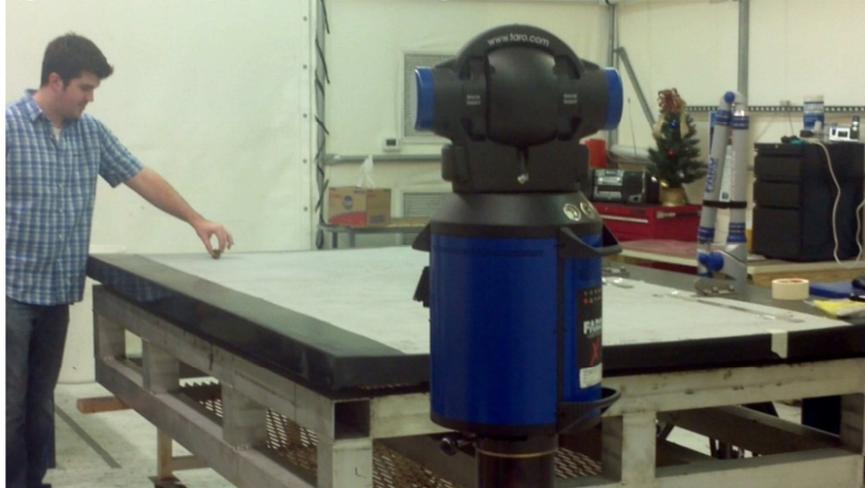
A empresa também necessitava realizar medições ainda mais detalhadas em peças maiores, como a porta do compartimento de carga traseiro, com 15 pés (4,57 m) de largura por 40 pés (12,19 m) de comprimento.

6.4.2 Solução

A Marianna Airmotive Corporation selecionou um braço de medição comparável em função e precisão com grandes MM3C de leito fixo, mas portátil e mais fácil de usar. Inicialmente, foi usado para comparar batentes com os desenhos, para depois então expandir o uso para outros suportes.

Mas esta solução não atendia a demanda solicitada em grandes peças. Então a Marianna Airmotive Corporation buscou pela solução *Laser Tracker*.

Figura 20 – Utilização de *Laser Tracker* pela Marianna



Fonte: (FARO, 2013).

6.5 Freightliner Custom Chassis Corporation

Freightliner Custom Chassis Corporation é uma subsidiária da Daimler Trucks North America LLC e trabalha com customização e preparação de chassis para *motorhome*, *walk-in van*, *commercial bus* e *school bus*. (Freightliner, 2014, tradução nossa).

6.5.1 Problemas

Medições complexas, com planicidade da estrutura, dimensões dos furos, centralização da base da roda e o giro do pneu, são rotinas de inspeção diárias da empresa. As ferramentas usadas eram calibres, fitas métricas e prumos. Um processo exigia muita atenção e tempo.

6.5.2 Solução

A solução utilizada foi o *Laser Tracker*, assim as medições que antes levavam meio dia, passaram a ser realizadas em cerca de 15 minutos. (FARO, 2013).

Figura 21 – Utilização do *Laser Tracker* pela Freightliner



Fonte: (FARO, 2013).

7 CONCLUSÃO

Através das pesquisas realizadas para a formação deste contexto, pode-se observar que, atualmente, grande parte das pesquisas tem seu foco na melhoria do desempenho metrológico e busca por a maior confiabilidade, já que, não há um conjunto de normas para abordagem padronizada da incerteza de medição e principalmente para o uso dos equipamentos optoeletrônicos na metrologia.

As técnicas convencionais de inspeção dimensional não são mais capazes de atender todos os requisitos de qualidade exigidos pelas novas tecnologias de manufatura e MBD. Estas por sua vez exigem dispositivos de controle dimensional com níveis de confiabilidade cada vez maiores e com maior velocidade de execução. Pois atrasos ou paradas para efetuação de conferências e medições podem gerar gargalos nos processos da manufatura enxuta.

O uso das tecnologias baseadas nos sistemas de medição sem contato através de sistemas optoeletrônicos em conjunto com os novos sistemas computacionais, com interface direta entre *hardware* e *software*, tem se mostrado altamente eficazes no que se refere as medições tridimensionais de equipamentos e peças. Principalmente na grande facilidade e autonomia para geração de relatórios de rastreabilidade, emissão e comparação de resultados diretos através de soluções CAD, CAE e CAM, inclusive em tempo real, ou seja, durante a própria medição de um processo já é possível verificar e corrigir eventuais falhas que possam surgir, sejam estas falhas nos produtos ou nas ferramentas que executam as tarefas.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando Gonçalves Junior; SOUZA, André Roberto de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. 1. ed. Barueri: Manole, 2008. 407 f.

_____; _____. PEZZOTA, C. **Controle Geométrico através da metrologia óptica: Chegando onde nenhum outro meio de medição consegue chegar**. Metrologia e instrumentação. 2003. 7 f. Disponível em: <<http://www.photonita.com.br/downloads/Artigo%20optica.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2014.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; SOARES JR, Luiz; SILVA, João Bosco de Aquino. **Uma proposta para garantia da qualidade metrológica em peças de geometria complexa**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, ano 6, n. 3, jul./set. 2011, 168f.

AMORIM, Daniel Yuji Kurematsu. **Avaliação de um sistema de fotogrametria para medição e correção da posição do robô industrial empregado na montagem de fuselagem aeronáutica**. 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado)-Área de Sistemas Aeroespaciais e Mecatrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.023**: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____. **NBR 15.523**: Qualificação e certificação de inspetor de controle dimensional. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BARTZ, Daniel; STAUDT, Tarcício; SOUZA, Marcos Antônio de. **GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS. Uso da engenharia reversa na análise dos custos de concorrentes**. Revista Base (Administração e Contabilidade) da UNISINOS [On-line]. 2005. 2. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=337228657006>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

BEREZA, Eduardo Marcelo; MANEIRA, Franklin; PIOVESANA, Tiago Sotti. **Máquina de medição tridimensional didática – MMTD**: Tipo pórtico. 2007. 161 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Centro Universitário Positivo, Curitiba, 2007.

BRILEX INDUSTRIES INC. **About us**. 2011. Disponível em: <<http://www.brilex.com/aboutus.shtml>>. Acesso em 01 jul. 2014.

BRITO NETO, Antônio de Assis. **A tecnologia da medição por coordenadas na calibração de peças padrão e medição de peças com geometrias complexas**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado)-Departamento de engenharia mecânica, Pós-Graduação em metrologia científica e industrial, LABMETRO, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CNI. COMPI. **Metrologia**: conhecendo e aplicando na sua empresa. 2. ed. rev. Brasília, 2002. 87 f.

EGER, James Schipmann. **Determinação da posição de referências fixas por multilateração sequencial aplicada a um sistema indoor-GPS**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado)-Programa

de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

FARO, Faro Laser Tracker. **Designed with your needs in mind.** 2011. Disponível em: <<http://www.faro.com/en-us/products/metrology/faro-laser-tracker/overview#main>>. Acesso em: 04 abr. 2014.

_____, _____. **Estudos de casos.** 2013. Disponível em: <<http://www.faro.com/pt-BR/noticias-e-eventos/estudos-de-caso>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

FERNEDA, Amauri Bravo. **Integração metrologia, CAD e CAM:** uma contribuição ao estudo de engenharia reversa. 1999. 102 f. Dissertação (Mestrado)-Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1999.

FREIGHTLINER CUSTOM CHASSIS CORPORATION. **Home.** 2014. Disponível em: <<http://freightlinerchassis.com/>>. Acesso em 01 jul. 2014.

GINANI, Luciano Selva. **Desenvolvimento de um sistema de digitalização tridimensional de superfícies baseado em visão computacional com varredura a laser para uso em metrologia dimensional.** 2008. 187 f. Dissertação (Mestrado)-Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GOLDENS' FOUNDRY AND MACHINE COMPANY. **About.** 2013. Disponível em: <<http://www.gfmco.com/2-2/>>. Acesso em 01 jul. 2014.

GONÇALVES, R. **Dispositivo de varredura 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis.** 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2007.

GRANGEIRO, Rafael Engelke. **Controle dimensional.** Revista Abendi, n. 22. out. 2007.

HACKER INDUSTRIAL LTDA. **Turbinas Pelton.** 2014. Disponível em: <http://www.hacker.ind.br/produtos_turbinas_pelton_turbinas.php>. Acesso em: 12 jul. 2014.

INMETRO, **Metrologia científica e industrial.** 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

_____, **Metrologia legal.** 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metlegal/>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

INSTRUTEMP INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA. **Metrologia dimensional.** 2007. Disponível em: <<http://www.medicao.instrutemp.com.br/imagens/metrologia-dimensional.jpg>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

KEYENCE BRASIL, **Micrometer.** 2014. Disponível em: <http://www.keyence.com.br/products/measure/micrometer/ig/ig_features_5.php?style=print>. Acesso em: 13 jul. 2014.

MARIANNA AIRMOTIVE CORPORATION. **The Company**. 2013. Disponível em: <<http://mariannaairmotive.com/the-company/>>. Acesso em 01 jul. 2014.

MEAGHER, Hubert. **Machine alignment handbook: What it is, how to do it and why you should**. 2013. Disponível em: <<http://www.oasisalignment.com/wp-content/uploads/2013/03/Machine-Alignment-Handbook.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

MEDOE, P. A. Segurança Perimetral. **Revista Eletrônica Total**. São Paulo, 2005, n. 111, nov./dez. 2005.

MELCONINAN, Sarkis. **Elementos de máquinas**. 9. ed. rev. São Paulo: Erica, 2009. 376 f.

METALVELLY. **Tavelli**. 2014. Disponível em: <<http://www.metalvalley.com.br/br/empresas/tavelli/produtos-e-servicos/engrenagem-conica-helicoidal>>. Acesso em: 11 jul. 2014.

METROLOGIC GROUP. **Products**. 2014. Disponível em: <<http://www.metrologic.fr/portals/0/images/images-software/interfaces-laser-tracker.jpg>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

MITUTOYO SUL AMERICANA. **Instrumentos**. 2005. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/produtos/instrumentos/pdf/-paq2.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2014.

MORAIS, Cesar Augusto Galvão de. **Modelos de sintetização plena e reduzida de erros em máquinas de medir por coordenadas**. 2012. 205 f. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

MURY, Luiz Gilberto Monclaro. **Uma metodologia para adaptação e melhoria de produtos a partir da engenharia reversa**. 2000. 100 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Porto Alegre, 2000.

OASIS ALIGNMENT SERVICES. **3D Metrology**. 2014. Disponível em: <http://www.power-technology.com/contractor_images/oasis-alignment/3-tracker-turbine.jpg>. Acesso em: 14 jul. 2014.

OLIVEIRA, Ademir Linhares de. **Validação de processo de medição por coordenadas em operações de controle de qualidade**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial. Departamento de Engenharia Mecânica Labmetro, Florianópolis, 2003.

QUALITY DIGEST MAGAZINE. **Inside**. 2014. Disponível em: <<http://www.qualitydigest.com/IQedit/Images/Articles%20and%20Columns/June%2009/QDD-FARO.jpg>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

RB TEST INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS LTDA. **Serviços**. 2014. Disponível em: <<http://rbtest.com.br/img/serv/serv4/m/04.jpg>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

S&E INSTRUMENTOS DE TESTE E MEDIÇÃO. **Encoder**. 2014. Disponível em: <<http://www.seinstrumentos.com.br/pdf/cat-encoders.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2014.

SILVA, Esly César Marinho da; SILVA, João Bosco de Aquino. Medição de superfícies de formas livres: um estudo comparativo com uso de medição com contato e sem contato para fins de uso de inspeção engenharia reversa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 5., 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009. 9 f.

SILVA, Fábio Pinto da. **O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos.** 2006. 179 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SILVA, Paulo Thiago Fracasso; COSTA, Bruno Castro. Calibração de Medidores de vazão utilizando um controlador PID neural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, XVII., 2010, Bonito. **Anais...** Bonito, 2010. 6 f.

SILVA, Rafael Franklin Alves. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de medição sem contato aplicado ao processo de torneamento.** 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

SOUZA, André Roberto de; MAURÍCIO, Wanderck. Desafios operacionais e metrológicos da medição por coordenadas no ambiente de manufatura digital. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE METROLOGIA MECÂNICA. 2., 2011, Rio de Janeiro **Resumos...** Rio de Janeiro: 2011. p. 6.

SOUZA, André Roberto de; SCHNEIDER, Carlos Alberto; MAAS, Gláucio Andrey. **Recomendações para uma utilização eficiente e confiável da medição por coordenadas.** [2010?]. 8 f. Disponível em: <<http://www.photonita.com.br/confiabilidade-da-mmc/>>. Acesso em: 04 jul. 2014.

STEFANI, Mário Antônio. **Medidores de distância por triangulação laser.** 1995. 314 f. Dissertação (Doutorado)-Instituto de Física de São Carlos, USP, São Paulo, 1995.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações.** 4. ed. São Paulo: Érica, 2009.

TOYOTA-BOSHOKU. **Company Profile.** 2013. Disponível em: <<http://www.toyota-boshoku.com/global/about/company/profile/index.html>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

UNESP. **Calculo.** 2014. Disponível em: <http://www.calculo.iq.unesp.br/sitenovo/Calculo1/tridi_coordenadas.html>. Acesso em: 13 jul. 2014.

USM COLOMBIA SA. **GOM.** 2013. Disponível em: <http://static.squarespace.com/static/517c1338e4b065cfbf5fce75/5182e344e4b0a85f6b83b5f0/5182e344e4b099d36dd82469/1367532362841/atos-compact-scan_02.jpg>. Acesso em: 14 jul. 2014.

VIEIRA, Paulo Rogério. **A utilização de máquinas opto-eletrônicas portáteis de longo alcance para medição tridimensional como fator de otimização fabril.** 2003. 72 f. Dissertação (Pós-graduação)-Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2003.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA. **Conceitos básicos, conceitos gerais, termos associados.** 2008. 95 f. 3. ed. Caparica: IPQ. nov. 2008.

YAMANAKA, Douglas Mamoru; SILVA, Diogo Cesar Borges; BALDO, Crhistian Raffaello. Medição de geometrias complexas usando microssensores em máquinas de medição por coordenadas. In: CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA. ENQUALAB, 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2013. 8 f.