

# CONGRESSO INTERNACIONAL FEIMAFE 2005.

## TENDÊNCIAS DO CONTROLE DIMENSIONAL EM CELULAS FLEXIVEIS DE MANUFATURAS

Empresa : Mitutoyo Sul Americana Ltda.

Autor : Marco Aurélio Martines Bueno

Cargo : Consultor técnico.

E-mail: marcoamb@mitutoyo.com.br

Telefone: 11 5643-0031

O Autor:

Marco Aurélio Martines Bueno, Tecnólogo em Elétrica formado no Mackenzie em São Paulo, 10 anos de experiência com equipamentos de medição dimensional nas áreas de consultoria, projeto, adequação instalação e manutenção da Mitutoyo Sul Americana, cursos ministrados diversas empresas no Brasil, Argentina, Colômbia, Venezuela, Peru e Chile.

Participação no projeto e instalação de 14 células automáticas e medição instaladas no Brasil, Argentina e Peru.

Especialização em medição tridimensional realizado no CTL - Oberndorff Alemanha , Microcoord Center Utsnomia Japão e M3 Solution Center Kawasaki Japão.

## A MMC

A Máquina de Medir por Coordenadas (MMC) é um dispositivo flexível de medição, capaz de executar inspeção tridimensional em peças, produtos e ferramentas, com alto índice de flexibilidade e exatidão e de acordo com a necessidade pode ter certo nível de automatização.

A medição em uma MMC é realizada por um conjunto mecânico, óptico e eletrônico que reproduz na área de medição um diedro (3 planos cartesianos, ortogonalmente posicionados) e dentro deste a MMC é capaz de identificar com exatidão pontos distintos. Com estes pontos identificados o sistema de processamento de dados realiza operações matemáticas para relacioná-los e nos permitir obter informações que representam as dimensões existentes entre estes pontos.

A partir destas relações é possível se obter diversas informações sobre a peça medida. A mais conhecida aplicação para a MMC é a análise de geometrias regulares, onde os pontos obtidos pela máquina são relacionados através de fórmulas matemáticas para construir elementos geométricos definidos (planos, círculos, esfera, linhas, pontos, cones ou elipses) e a partir destes pode-se obter dados das características da peça (diâmetro, posição, forma) e do relacionamento entre eles (distancias ou ângulos). A análise geométrica ou inspeção dimensional, como é mais comumente conhecida, é aplicada a peças usinadas, montagens, análise de furações, inspeção de tolerâncias geométricas (GD&T), entre outras.

Outra aplicação da MMC é a engenharia reversa, onde os pontos identificados pela MMC são convertidos em informação digital compatível com sistema CAD e enviados a estes para retrabalho, documentação ou desenvolvimento de processos de produção.

Em outra mão de conversação com sistema CAD, a MMC pode receber informações destes e utilizá-las como padrão para realização de comparações entre o ideal (arquivo CAD) e o real (peça medida na MMC). Esta aplicação é bastante utilizada em peças que não possuem uma geometria regular, não são apenas círculos, esferas, planos, etc, mas combinações destes resultando em formas únicas.

A aplicação da análise por comparação acontece mais freqüentemente em peças de design, estampados, usinagens complexas, lentes ópticas, etc.

Em qualquer uma das aplicações pode se obter relatórios numéricos e gráficos, em papel ou formato eletrônico e com layout definido pelo usuário, facilitando a interpretação de resultados, a comunicação e o arquivamento destes.

Em uma MMC estes recursos são desenvolvidos de maneira a oferecer facilidade de operação, velocidade de resposta e exatidão o maior benefício que uma MMC pode trazer a qualquer processo.



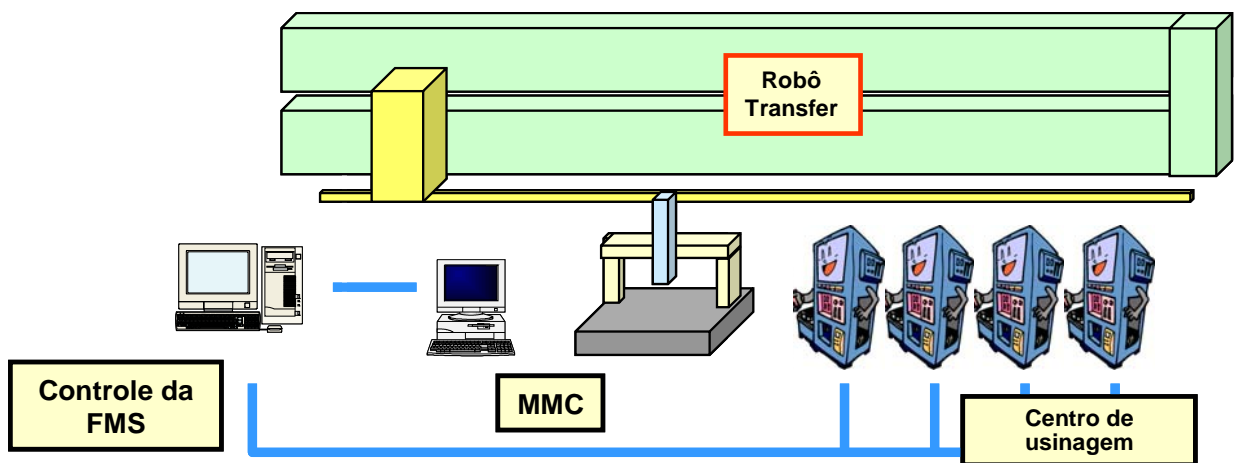
## A qualidade nos processos produtivos

A popularização dos sistemas flexíveis de manufatura (FMS) e crescente necessidade de melhoria da qualidade que exige uma presença constante dos meios de controle no processo produtivo, motivou o desenvolvimento de sistemas de controle integrados ao processo.

Os meios de controle convencional – padrões, instrumentação, gabaritos – quando aplicados ao processo produtivo, conseguem monitorar e informar correções necessárias, mas o tempo de resposta e a capacidade de abrangência sobre o total da produção é limitado. Esta realidade baseou o desenvolvimento de meios de controle mais ágeis, com maior interatividade com o processo e com o mesmo nível de flexibilidade, tornando sua aplicação economicamente viável.

Considerando este panorama de aumento de produtividade e aumento nas exigências de qualidade, redução de custos e velocidade de respostas, a MMC teve suas vantagens anexadas aos sistemas flexíveis de manufatura resultando assim em um sistema capaz de incrementar a produtividade sem perda de qualidade ou aumento excessivo de custos.

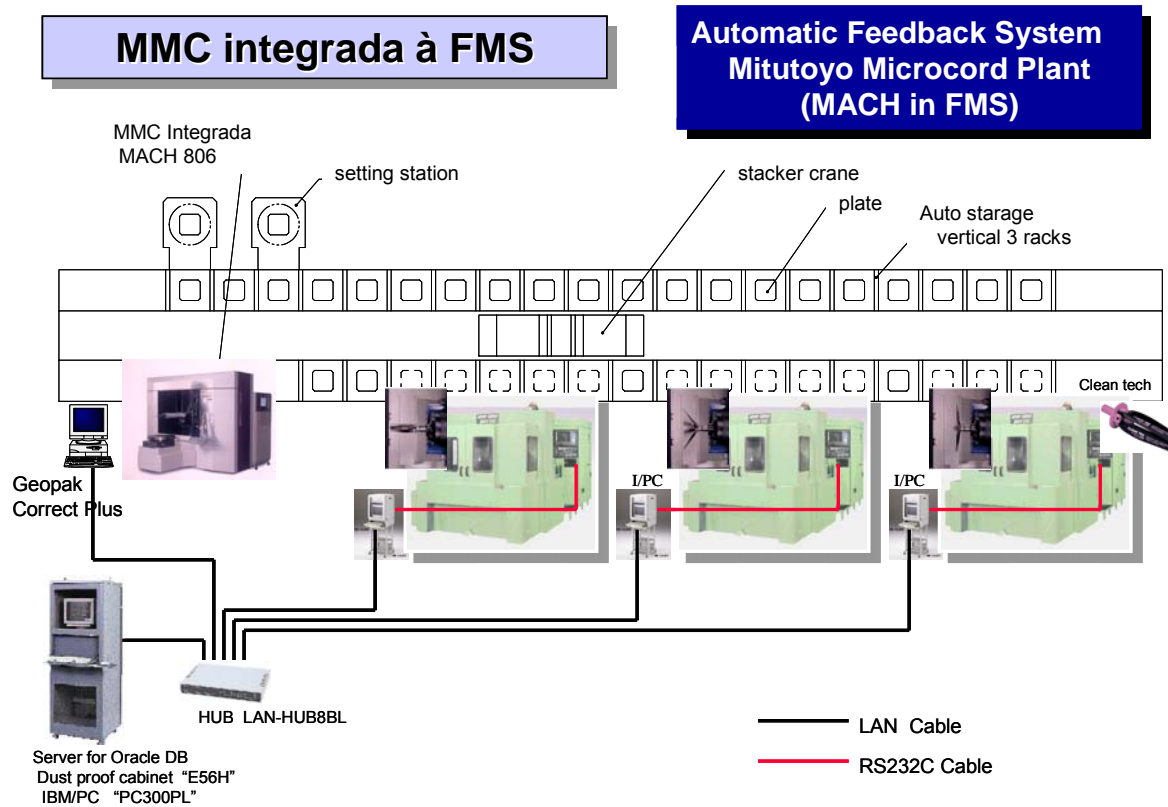
A adição da MMC à uma célula flexível de manufatura, não acontece como nos equipamentos de produção ou movimentação, apenas considerando os aspectos de comunicação e sincronismo de atividade. O produto de uma MMC não é a transformação de uma matéria ou a movimentação, o que se espera de uma MMC é informação, e informação precisa, coerente, rápida e de forma útil.



Por isto a integração da MMC a uma célula flexível de manufatura deve considerar também aspectos metrológicos como estabilidade ou controle de variação térmica, exatidão, incerteza de medição do sistema, tipo ou formato das informações, tempo de resposta da medição e em casos mais sofisticados, a intervenção da MMC nos elementos de produção da célula.

## A MMC em uma Célula Flexível de manufatura - Instalação

A Integração da MMC à uma célula de manufatura flexível é, basicamente, a seleção de um posicionamento físico (local de instalação) estratégico, a realização da rede de interconexão de dados, a adequação da MMC ao sistema de carga e descarga e a programação de sincronismo de atividades.



Esta integração tem apenas um aspecto que merece atenção diferenciada: a adequação das condições ambientais. Este é um fator importante a considerar em uma instalação de MMC, o índice de vibração do solo, a ausência de elementos em suspensão no ar (pó), a temperatura ambiente e a sua variação são fatores importantes.

Cada item deve ser considerado de acordo com as condições e características da célula em estudo. As MMC contam com recursos diversos para cada situação:

**Vibração** – A MMC pode dispor de um sistema antivibratório instalado como uma fundação de isolamento, ou um dispositivo de inércia com molas de baixa frequência ou ainda um sistema antivibratório ativo com controle eletrônico integrado a MMC.



Sistema antivibratório ativo

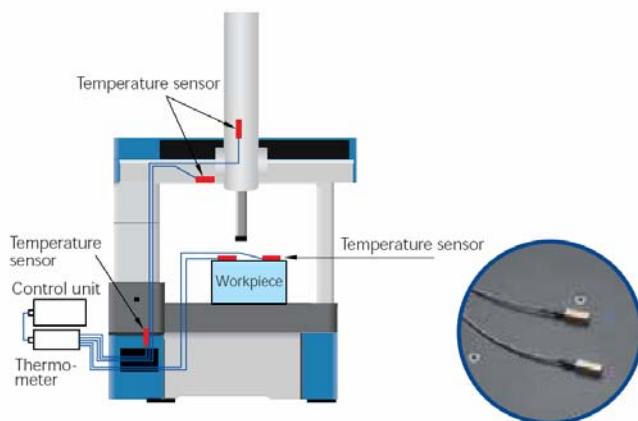


Controle ambiental – As MMC mais utilizadas, possuem sistema de movimentação sobre colchão de ar, este colchão de ar é criado por dispositivos chamados de sapatas (ou patins) que recebem ar comprimido em alta vazão e através da redução de passagem aumentam a pressão final da linha criando um colchão de ar sobre o qual os eixos da MMC deslizam. Este colchão de ar é extremamente suscetível à interrupção de sua formação devido ao acúmulo de partículas sólidas (pó, cavaco, outros) nas áreas de transito dos eixos. Para solucionar este problema podem ser utilizados sistema de cabines com insuflação de ar (pressão positiva), proteções nas guias ou até mesmo uso de MMC com sistema de movimentação baseados em rolamentos.



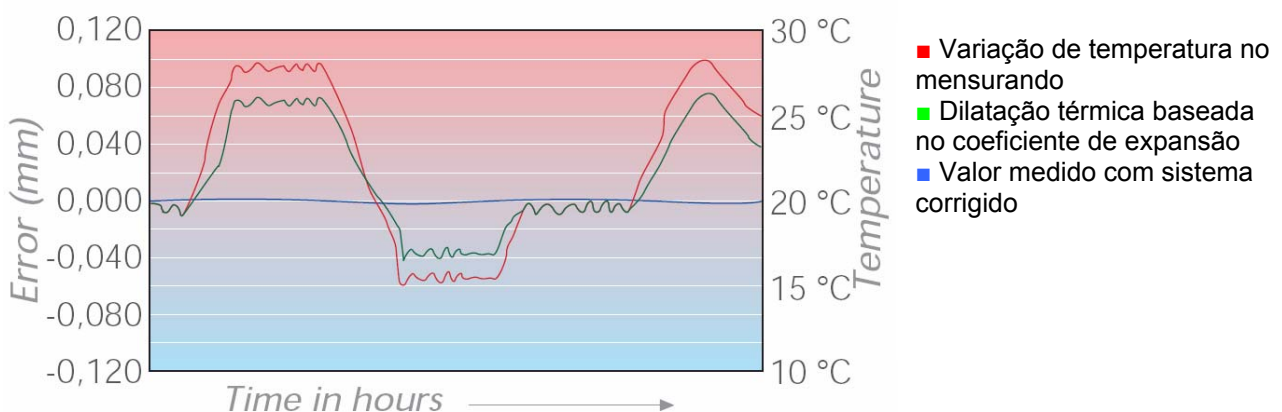
Cabine climatizada

Temperatura – A variação térmica durante a inspeção, modifica a dimensão da peça e por conseqüência altera o resultado do ensaio, este é uma característica a considerar, porém não a mais importante, isto se considerarmos que o tempo de medição é bastante pequeno (minutos) e a dilatação ou contração depende do coeficiente de cada material, mas no geral a estabilização térmica acontece em horas.



O mais importante a considerar é a diferença de temperatura entre o Medidor (MMC) e o Mensurando (peça), mesmo que o tempo de exposição da peça à uma temperatura seja pequeno e não aconteçam variações dimensionais na peça, o estado do medidor sendo diferente do estado térmico do mensurando, cria uma condição de medição inadequada.

Por este motivo as MMC podem dispor de um sistema de compensação de temperatura integrado que mede a condição da peça e do medidor, e através do coeficiente de dilatação de ambos, corrige o valor medido imediatamente sem distorcer a informação produzida.



## A MMC em uma Célula Flexível de manufatura – Integração e resultados

O caráter mais desejável de uma MMC integrada ao processo é a redução de tempo total de um processo, uma vez que no uso convencional da MMC em uma sala de medidas os resultados de medição são conhecidos minutos ou até horas depois da produção devido aos tempos de transporte, set-up, medição e emissão de relatórios.

Com a MMC integrada à FMS, a carga e descarga é automatizada, o set-up é eliminado pela utilização de fixações adequadas e preparadas, o tempo de medição é reduzido pelo reconhecimento automático de peças e a velocidade da MMC e a velocidade na resposta acontece através do uso de recursos de comunicação eletrônica onde o protocolo utilizado permite a rápida intervenção em casos de variações no processo através do conhecimento imediato dos resultados do ensaio dimensional.

### ***Carga e Descarga***

Cada processo exige uma velocidade diferente e exige o uso de uma solução adequada para carga e descarga de peças na área de trabalho da MMC.

Existem recursos de carga e descarga diversos, desde transfers manuais, os posicionadores automatizados e os mais complexos robôs posicionadores, todos podem ser integrados a MMC através de sinais de handshaking, que permitem o sincronismo entre o momento de carga, o início da inspeção, a liberação da peça e a descarga da mesma.



Sistema de carga e descarga manual



Carga e descarga automática

Esta comunicação pode ser feita através de sinais elétricos discretos, por dispositivos mais elaborados como CLP's ou PC's, ou no caso dos sistema de carga e descarga manual, por meio de avisos luminosos ou em mensagens de monitores para alertar o operador, a eleição de um método ou outro depende da velocidade necessária ou da complexidade do processo.

## Reconhecimento de peças

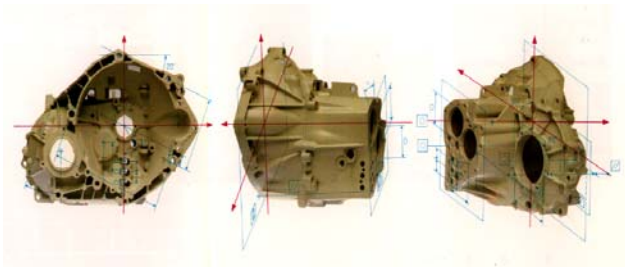
Após a carga e posicionamento da peça na área de trabalho, o sistema de controle da MMC deve ser informado de qual é a rotina de inspeção a ser executada, seleção que depende diretamente da peça ou processo deve ser inspecionado naquele momento.

Esta seleção pode acontecer manualmente, pelo operador, que através do computador de controle, ou de um dispositivo tipo touch screen ou até mesmo de uma botoeira, informa qual é a rotina a ser executada.

Nos modelos mais automáticos, a seleção é feita pelo controle da célula, que através de um programa de monitoramento escolhe a rotina de medição em função do processo em operação. E nos modelos mais modernos e flexíveis a própria MMC elege a rotina de inspeção, utilizando-se de leitores ópticos ou de indicadores da própria peça para identificar a rotina a ser executada.

## Tempo de medição

O recuso CNC e o tipo de tecnologia de movimentação reduziram drasticamente o tempo de medição em uma MMC atual. O tempo total de medição em uma MMC moderna é 3 vezes menor que uma máquina de mesmo tipo de 10 anos atrás e se comparado a sistemas discretos e considerando que é capaz de realizar inspeção de várias características em uma única rotina, chega a reduções de 90%.



### Itens a medir

- Diâmetro 20itens
- Planos (faces) 4itens
- Inclinação de cilindros 18itens
- Perpendicularidade 4itens
- Paralelismo 8itens
- Planicidade 1item
- Espessuras 2itens

Numero de pontos a medir 145pontos

MMC Modelo/ano	Velocidade	Tempo por ponto	Tempo de medição (145 toques)
BHN (1990)	250 mm/s	3,5''	8'27''
BLN (1996)	430 mm/s	2,4''	5'48''
Crysta (2005)	520 mm/s	1,9''	4'35''
Mach (2005)	1800 mm/s	0.9''	2'10''

## **Resultados e ações**

O resultado da operação da MMC é um conjunto de informações que expressam a condição dimensional atual da peça sobre a qual se realizou o ensaio, estes resultados podem servir para, observação e armazenamento com possível consulta posterior. Sendo o provável objetivo destas:

- Evidenciar a condição de uma peça ou processo – análise individual.
- Permitir a avaliação consolidada de dados de um grupo ou lote de peças – análise estatística.
- Realizar intervenções corretivas ou preventivas, quando necessárias, em um processo produtivo – Sistemas de correção on-line.

Para cada um desses objetivos, existem recursos à disposição do projetista da célula flexível de manufatura.

- Análise individual

A emissão de registros dos resultados de medição poderá ser feita de diversas formas, atendendo a necessidade específica de cada situação. Após o término do procedimento de medição os resultados estarão imediatamente disponíveis para impressão, arquivamento, consulta via rede ou Internet e análise estatística.

O software de controle de uma MMC pode fornecer os resultados de medição em relatórios individuais por peça que podem ser visualizados em layouts predefinidos, ou em um layout personalizado definido pelo cliente, e armazenados em papel ou nos formatos eletrônicos mais diversos (PDF, HTML, ASCII, RTF, BMP, JPG, etc.)

- Análise estatística

O módulo de análise estatística que pode ser adicionado ao controle da MMC, recebe automaticamente os dados da medição e os classifica por tipo de peça permitindo a visualização on-line dos resultados diretamente na tela da MMC e se necessário for em outros terminais remotos conforme disponibilidade de recursos para tal.

A partir da base de dados que é criada pelo software é possível emitir relatórios classificados por período, por número de peças, por lote, por condição ou por valores obtidos. Assim como gráficos e testes estatísticos diversos.

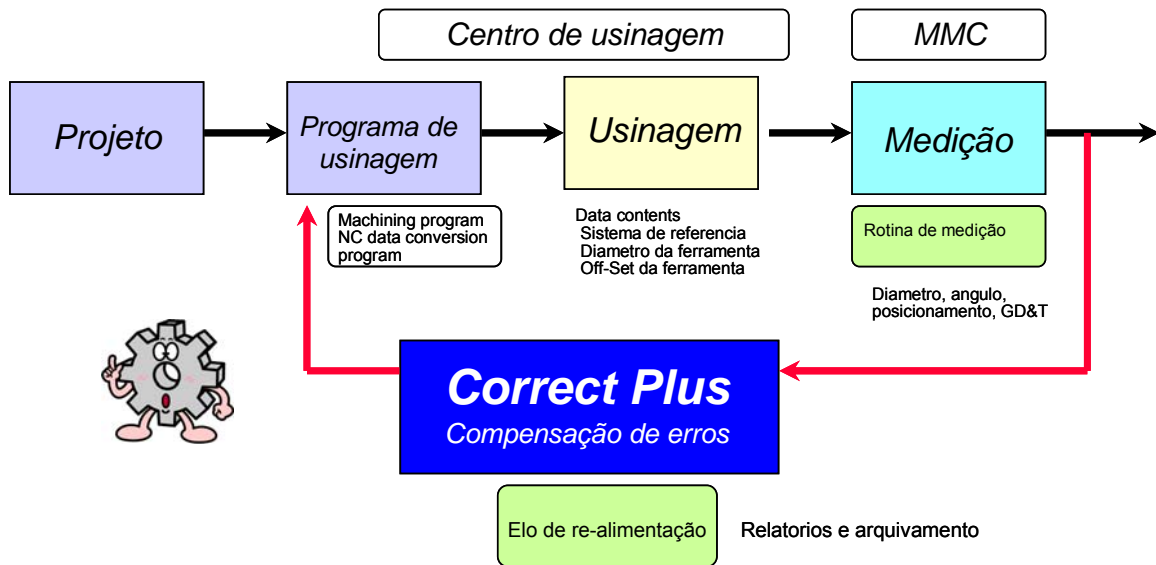
- Sistemas de correção on-line

Este é o mais moderno e mais elaborado uso da MMC em uma célula flexível de manufatura. Nesta aplicação a MMC é interligada ao sistema de forma a interagir com os meios produtivos e modificar sua atuação de acordo com os resultados.

Estas modificações são realizadas com base nos resultados obtidos no ensaio de medição e alteram até mesmo os programas de usinagem quando há percepção de mudanças no comportamento do processo.

O sistema de correção funciona através de um elo de re-alimentação da célula, este elo recebe as informações dimensionais da MMC e utiliza um algoritmo

definido pelo usuário, para identificar onde e como devem ser feitas as alterações nos programas de usinagem.



### A MMC em uma Célula Flexível de manufatura – Características e vantagens

A célula flexível de manufatura é um elemento produtivo de alta importância e que tem em sua administração a contribuição de diversos departamentos, Gerência de qualidade, Engenharia, Produção e Financeira.

A integração da MMC em uma célula flexível de manufatura, deve considerar todas as expectativas destes setores, em geral dentro das indústrias estes departamentos tem necessidades similares, diante disto o desenvolvimento da MMC para permitir sua integração teve que assegurar:

#### **Ao controle de qualidade**

**Exatidão de medidas:** As MMC mais modernas possuem desvios de medição máximo desde  $1,7\mu\text{m}$  nas máquinas de classe industrial, até valores de desvio máximo permissível de  $0,35\mu\text{m}$  nas máquinas mais exatas do mundo, sendo que todas podem ser incorporadas à células flexíveis de manufatura com o mesmo nível de integração e complexidade.

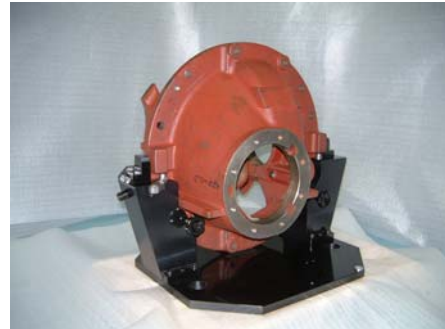
**Flexibilidade:** O controle da MMC possui recursos de auto-reconhecimento de peças para permitir o uso, em uma mesma estação, de peças distintas, ou de processos diferentes.

**Segurança:** Mesmo que ocorram falhas no processo produtivo e a peça não esteja nas mesmas condições consideradas no programa inicial, a MMC pode dispor de recursos de busca automática, ou de sub-rotinas de colisão ou emergência, que permitem a continuidade do processo da inspeção sem necessidade de intervenção externa.

## ***À Engenharia de produto***

**Informação:** O sistema de controle de uma MMC pode fornecer informações sobre resultados individuais de cada peça inspecionada assim como relatórios consolidados de um lote, ou amostra com informações estatísticas ou até cálculo automático de indicadores de capacidade da célula ( $C_p$ ,  $CP_k$ ) ou do sistema de medição ( $C_g$ ,  $Cg_k$ ). Estes dados podem ser disponibilizados em formato atômico (papel) ou eletrônico nos mais diversos protocolos (serial, analógico, HTML, ASCII, etc.)

**Reprodutibilidade:** As MMC com recursos CNC são capazes de repetir uma seqüência de movimentos e comandos de inspeção com índices de repetitividade da ordem de microns, garantindo que o medidor irá sempre repetir as mesmas condições utilizadas no ensaio inicial. A fixação de peças na MMC pode ser feita com dispositivos similares aos utilizados nos processos produtivos, considerando critérios de Poka Yoke para garantir a reprodutibilidade das condições do teste, evitando movimentações durante o processo de inspeção.



Dispositivo de fixação

**Abrangência:** A MMC pode possuir um sem numero de programas diferentes, permitindo o uso para inspeção de sistemas e sub sistemas dos produtos sem nenhuma restrição quanto ao número de inspeções ou características de medição.

## ***À Engenharia de produção***

**Regime de trabalho:** A MMC possui características construtivas que permitem seu uso em regimes de alta rotatividade (24h por dia 30 dias por mês). O tempo de intervenção e o intervalo destas é muito baixo em uma MMC.

**Manutenção:** A manutenção em uma MMC é relativamente simples, podem ser formadas equipes de reparos dentro do grupo de manutenção da empresa, sem necessidade de chamados externos em caso de necessidade de intervenção.

**Tempo de medição:** o tempo de operação de uma rotina de inspeção em um MMC é menor que em outros sistemas, podendo chegar a reduções de até 90%.

**Simplicidade na operação:** O controle da MMC é bastante simplificado, as linguagens de programação utilizadas hoje em dia são, na sua maioria, muito gráficas e intuitivas, exigem um treinamento rápido para permitir o domínio sobre as funções disponíveis.

## ***À Gerência Financeira***

**Retorno:** O custo inicial de instalação de uma unidade de inspeção MMC em uma célula pode ser maior que a adoção de outros meios de controle, porém a flexibilidade, os custos de manutenção e operação, são muito inferiores se comparados a outros sistemas, principalmente se considerados os momentos de modificação de produto (ou processo) onde o custo de adaptação de um MMC é uma fração do custo de outros processos.

## Conclusão

A versatilidade da tecnologia envolvida em uma MMC, permite que todas as ferramentas citadas possam ser recombinadas para adequar-se as necessidades de cada processo, criando um importante auxiliar para o aumento de qualidade e produtividade em um processo de produção de plásticos atuando em todas as suas fases.

O uso de uma mesma MMC para todas as atividades que ela pode contribuir depende de um detalhado estudo de tempo gasto em cada atividade e de configuração de acessórios disponíveis

## **Bibliografia:**

BUENO, Marco Aurélio M. O CNC aplicado a máquinas de medir por coordenadas. São Paulo, Relatório final de estágio técnico, Senai SP, 1996.

CUNHA, Nelson. E agora? Preciso comprar uma Tridimensional. São Paulo, Boletim técnico Mitutoyo, 2000.

LOEBNITZ, Dr. Dieter. Geometrische 3D-Mess-Software für Koordinaten-Messmaschinen. Neuss, Mitutoyo, 1999.

PARLEE, Ken. Com contato ou sem contato (ou ambos)?. São Paulo, Revista Metrologia Industrial, abril 2001 p.28-33.

KENNERLEY, David. Flexible Measuring System for Johnson Controls Automotive (UK) Ltd. Warwick, Mitutoyo, 2003.