

A INFLUÊNCIA DA MANUFATURA AVANÇADA NA DEFINIÇÃO DE NOVAS LINHAS DE USINAGEM

Douglas Maciel d'Auriol Souza. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. CEP: 31270-901.

Email: ddauriol@gmail.com

Dr. Alexandre Mendes Abrão. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. CEP: 31270-901. Email: abrao@demec.ufmg.br

Dr. Marcelo Araújo Câmara. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG. CEP: 31270-901. Email: marcelocamara@demec.ufmg.br

Resumo. As mudanças na forma de consumo e as grandes transformações no mercado automobilístico mundial são importantes incentivos para a transição das fábricas para a quarta revolução industrial. O artigo apresenta uma visão diferenciada da inserção da Indústria 4.0 nas fábricas de autopeças, focada em linhas de usinagem recentemente instaladas nessas fábricas. As transformações trazidas pela manufatura avançada e seus desafios são exemplificados com aplicações práticas e de simples entendimento. Algumas das novas tecnologias ofertadas pelos grandes fabricantes de máquinas CNC também serão citadas, a fim de vislumbrar possíveis mudanças que estão por vir. Toda análise foi feita usando o conhecimento de quem participou de ao menos nove implantações de linhas CNC, a fim de atender aos requisitos da nova geração de motores recentemente implantados no Brasil. A adaptação completa das fábricas nos moldes da Indústria 4.0 ainda estar por vir, porém, é possível perceber como a automatização dos processos, monitoramento das etapas e status, rastreabilidades mais completas e em nuvem e o início da disseminação dos controles por visão já trazem consigo conceitos essenciais da Indústria 4.0.

Palavras chave: Indústria 4.0, Linha de usinagem, Internet das coisas (IOT), Indústria automobilística.

1. INTRODUÇÃO

Vive-se em um mundo cada vez mais conectado, onde as informações estão disponíveis a qualquer momento e com maior confiabilidade em comparação à década passada. Em 2007, quando o *iphone*, aparelho que é referência em *smartphones*, foi lançado, muitas das ferramentas que hoje em dia são triviais ainda não existiam. Hoje já é possível, por exemplo, acompanhar em tempo real a movimentação de carros ou aviões em um *smartphone*, e interagir com este mesmo aparelho para receber sugestões de atividades, para obter informações sobre fusos horários, clima e as mais variadas notícias.

Na indústria automobilística, uma verdadeira revolução já começa a se efetivar. O conceito de carro na forma atualmente conhecida tende a desaparecer, a entrada dos carros elétricos já é uma realidade e nessa mesma esteira de modificações virão os carros autônomos e compartilhados. A Google já está testando, nos Estados Unidos, carros de passageiros 100% autônomos, e em 2016 realizou um acordo com a FCA para teste do sistema de direção autônoma em 100 carros da montadora. A Tesla, gigante dos carros elétricos, por sua vez anunciou que em 2017, 100% dos seus carros já possuem a tecnologia para direção autônoma, denominada de "Self-Driving". A Volkswagen apresentou, no salão do automóvel de Genebra de 2017 seu primeiro carro 100% autônomo, o Sedric (discover-sedric.com, 2017).

Todas essas mudanças já indicam transformações bastante significativas, mas pode-se afirmar que elas tendem a se expandir e aprofundar na medida em que aumenta a conectividade do mundo. Estima-se que até 2020 cerca de 30 bilhões de "coisas" estejam conectadas à internet, um aumento de 461% se comparado a 2014. Esta tendência está relacionada à *internet of things* (internet das coisas), a qual será, em breve, definitiva para o funcionamento da indústria. A indústria também seguirá por este caminho. A união da internet das coisas com a chamada *smart factory* e o *cyber-physical system* – CPS são base para a já conhecida Indústria 4.0 ou manufatura avançada. Pretende-se com neste artigo apresentar algumas tendências básicas de novas linhas de usinagem automatizadas que integram o início desta revolução.

2. INDÚSTRIA 4.0

O conceito de Indústria 4.0 foi apresentado pela primeira vez na Alemanha, em 2011. Trata-se, em sua origem, de uma estratégia governamental de política industrial visando a competitividade e produtividade. Ela recebeu este nome com base na ideia de quarta revolução industrial. Segundo Schwab (2016), diretor do fórum mundial de economia: "A

quarta revolução industrial não é definida por um conjunto de tecnologias emergentes em si mesmas, mas a transição em direção a novos sistemas que foram construídos sobre a infraestrutura da revolução digital (anterior) ”.

A Indústria 4.0 é altamente adaptável, sendo capaz de prever necessidades de produção e otimizar uso dos recursos. O aumento da eficiência na produção tem um potencial de crescimento de 6 a 8%, isso se dá pela virtualização completa dos produtos antes da fabricação dos mesmos. A conexão entre humanos, objetos e sistema é a base desta revolução. As informações estarão disponíveis em tempo real e sendo processadas para o melhoramento dos produtos, serviços e manufatura (MDIC, 2016).

Um dos alicerces da indústria 4.0 é a *Internet of things* – IOT (internet das coisas). Esta tem como base a integração dos objetos, que vão desde aqueles do cotidiano doméstico (geladeira, tv's, cafeteiras, etc) até os de transporte e indústria (automóveis, máquinas, etc.). Tal integração teria como ponto central a internet, que iria realizar o vínculo dos equipamentos e armazenar as informações recolhidas para processamento. Nas fábricas esta conectividade deve ser ampliada, visando uma interação e monitoramento contínuo dos sistemas. O chamado *cyber-physical system* – CPS (sistema ciberfísico) é a representação desta conectividade; ele é o espelhamento da fábrica em nuvem, uma ampliação gigantesca do que os sistemas supervisórios atualmente fazem (Landherr M., Schneider U., Bauernhansl T., 2016). Quando se compara um CPS com um supervisório, observa-se que este se limita a uma célula, recolhimento de dados e notificações para diagnósticos posteriores. Um CPS é capaz de avaliar o equipamento, prevendo o momento de falha por meio da utilização de variadas bases de dados (Lee J., Ardakani H. D., Yang S., BagheriB., 2015), dentre elas, MTBF (“mean time between failures” - tempo médio entre falhas) e MTTR (“mean time to repair” - tempo médio para reparo), vida útil de componentes, tempo de utilização do equipamento, etc. Ele é capaz de propor melhorias em equipamentos para aumento de vida útil, de identificar os lotes de peças defeituosas ou até mesmo de variar parâmetros para otimizar produções. Esta capacidade de interagir e tomar decisões é denominada *smart factory* (fábrica inteligente), aquela fábrica em que homens, máquinas e matéria prima interagem como em uma rede social (Kagermann, H., 2013).

3. AS LINHAS DE USINAGEM E A INDÚSTRIA 4.0

Nesta seção será detalhado como a Indústria 4.0 vem se inserindo na concepção de linhas de usinagem, notadamente na indústria automobilística. É importante reafirmar que a evolução dos processos de fabricação é essencial para transformação aqui compreendida, assim como são a padronização das fábricas e a capacidade de flexibilizar linhas com o objetivo de entregar produtos personalizados. Assim, ressaltando a característica de evolução e não de rompimento, quando se fala de máquinas CNC já existentes no mercado há algumas décadas, tem-se uma visão de flexibilização e tecnologia embarcada. Pode-se ainda afirmar que são altamente automatizáveis e de fato são. Já há algum tempo o mercado oferece equipamentos de alta precisão de quatro ou cinco eixos, com predisposição para alimentação automatizada e/ou multifusos, entretanto os altos custos de implantação dos referidos equipamentos na produção em série de um único produto inviabilizavam a sua utilização. Para compreender o mercado de máquinas CNC assim como outros que serão detalhados a seguir, pode-se valer da afirmação de Gomes (2016), segundo o qual a lei de Moore também pode ser aplicada para tecnologias. Esta define que “O número de transistores dos chips teria um aumento de 100%, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses”. Atualmente uma máquina cinco eixos tem o preço tão competitivo quanto uma de quatro eixos com características similares (rotação do fuso, potência, tamanho de *pallet* e área de trabalho). Neste ano, a Heller lançou no mercado brasileiro sua máquina cinco eixos (linha HF), confirmando esta tendência. Um equipamento com mais um eixo de trabalho possibilita acrescentar variações nos produtos sem a necessidade de investimentos em novas fixações, ferramentas e programas. Tome-se como exemplo a usinagem de um bloco de motor: hoje em dia as montadoras lançam versões aspiradas e turbinadas de fábrica, em que o turbo necessita de linhas adicionais de lubrificação e arrefecimento (tais linhas são normalmente compostas por furos com um ou mais ângulos de inclinação), porém, as grandes variações de mercado muitas vezes deixam os volumes de produção imprevisíveis. Durante a concepção de linhas de usinagem sempre é necessário fixar volumes a fim de definir operações e até mesmo a quantidade de máquinas CNC dedicadas a cada produto. Neste exemplo, então, seria preciso definir quantas máquinas atenderiam a demanda de aspirados e quantas atenderiam a de turbinados. A escolha de máquinas CNC com cinco eixos pode permitir a concepção de uma linha caótica, onde sua capacidade de produzir a peça independe da versão definida. Permite, além disso, um real balanceamento entre operações, aumentando a utilização dos equipamentos.

Para perseguir o argumento de que os requisitos para introdução da quarta revolução industrial estão sendo paulatina e implicitamente impostos, pode-se valer do caso da entrada dos motores três cilindros no mercado, a qual trouxe consigo novas exigências para as fabricantes de peças, dentre elas, a padronização de processos no âmbito global. Isso significa que uma linha de usinagem montada no Brasil para um produto qualquer deve ter as mesmas características que uma linha montada na Índia, por exemplo, ou seja, seguir o mesmo padrão de máquina, nível de automação e outros. Tal padronização auxilia na flexibilização de volumes de produção entre mercados (importação e exportação), no deslocamento de equipamentos entre plantas e na digitalização das fábricas. O custo de replicação sempre é menor que o de desenvolvimento. Sendo assim, após a digitalização de uma linha, a replicação desta para as outras será mais rápida e assertiva, uma vez que não existirão significativas variações entre equipamentos. Conforme explicado na segunda seção, as *smart factories* necessitam dessa digitalização, focada em *hardware* secundários (Aruväli T., Maass W., Otto T., 2015).

Com relação aos parâmetros de processo, estes também estão sendo forçados a compor o *big data* das montadoras. Apesar de terem sempre sido aceitos como sigilosos, daqueles parâmetros definidos por desenhos, normas e legislação solicita-se, agora, não só o armazenamento, mas também a disponibilização em nuvem ou dentro de um DMC (*Data Matrix Code*). Um bom exemplo de parâmetro sobre o qual tem recaído tais exigências é o da pressão aplicada durante teste de vazamento. Antigamente, tais parâmetros ficavam sob o poder da fabricante e eram usados para identificar falhas após uma reclamação, por meio da rastreabilidade do produto ou lote. Tendo o domínio das informações agora solicitadas, as montadoras podem usar o processamento de dados para análises de estatísticas de falha em campo, de redefinição de faixas ou mesmo de aprimoramento do produto final.

Ainda falando sobre rastreabilidade, as exigências sobre esta têm aumentado. Além dos dados sobre lote, dia e hora da produção, muitos outros elementos passam a ser requeridos, tais como máquinas e dispositivos utilizados. Tal requerimento obriga as fábricas a reverem seus processos produtivos, promovendo coleta de dados a cada estação. Continuando com o exemplo do bloco de motor, se existe a necessidade de identificar no DMC final da peça a máquina, hora completa, dispositivo e status das peças (entende-se como status se a peça foi ou não retrabalhada no processo), isso exige que a fábrica tenha um sistema de identificação individual por peça, o que leva as fábricas a cogitarem a necessidade de automatizar as linhas. Mesmo sem a automatização, esta necessidade de monitoramento por estação acaba trazendo uma visualização em tempo real do *lead time* e um forte processo de IOT e CPS.

Dados de produção e indicadores de qualidade há décadas são disponibilizados digitalmente, na sua maioria com atraso, devido à necessidade de transformar os dados manuscritos em digitais ou de um sistema alternativo (planilha Excel por exemplo) para o banco de dados final. O encurtamento dos tempos de lançamento de novos produtos e a expansão do conceito de fábricas enxutas forçaram a indústria a reduzir este atraso, implementando sistemas de coletas de dados *on-line* (status de máquinas) ou terminais de apontamento de produção nas estações de trabalho. Estas ações permitiram que exista um acompanhamento quase instantâneo da fábrica. Assim, mesmo estando longe do conceito de CPS, este início de digitalização já aproxima as fábricas de um ambiente de simulação, mesmo que este não seja *on-line*. Os dados coletados pelos atuais sistemas de acompanhamento de produção são usados para alimentar softwares de simulação, como o ProModel, Arena ou FlexSim. Mesmo não possuindo a capacidade de simular em tempo real e tomar decisões de modo autônomo, estes *softwares* permitem a introdução de análises estatísticas para tomada de decisão. Algumas empresas somente validam a capacidade sugerida de uma linha após esta passar pelo crivo da simulação.

Imagine ter a capacidade de controlar completamente determinada característica de uma peça e assegurar que nenhuma peça defeituosa seja enviada para o cliente. Muitas vezes esta é uma necessidade das fábricas. Nos casos de tolerâncias extremamente apertadas, classificação de características críticas (aquelas que interferem diretamente no produto final ou no processo posterior) ou definidas por algum tipo legislação (frequentemente definidas por legislação), aplica-se tal exigência. Entretanto, os custos das tecnologias para tais controles sempre foram elevados, além de pouco flexíveis. Considere-se a necessidade de controlar a câmara de combustão de um cabeçote de motor. Este tem como uma de suas funções definir o volume e o equilíbrio entre as combustões. Sua geometria normalmente é complexa, e devido tanto às altas taxas de esforços a que são submetidas durante a explosão quanto à fadiga causada pelos ciclos de combustão, as tolerâncias a defeitos são mínimas. É muito comum que o volume das câmaras de combustão seja controlado indiretamente. Isso significa que um ponto da câmara é escolhido para ser medido quanto à sua posição no espaço, e se assume que todo o resto da câmara estava em perfeita condição em relação a este ponto. Desse modo, pode-se avaliar a variação do volume de forma indireta. Por este método, a utilização de um transdutor linear¹ simples para medir o ponto especificado na câmara possibilita assegurar o volume, enquanto sua integridade é garantida por um controle visual realizado por operadores treinados. Porém, tal controle é limitado a um modelo definido de peça, já que o transdutor deve tocar exatamente no ponto e estar fixo a um sistema. Imagine que agora não se tenha que controlar a posição da câmara de combustão e sim seu perfil. Como tal controle seria possível usando transdutores lineares simples e estáticos? O que acontece é que os novos produtos já trazem esta necessidade e para solucionar esse impasse novos sistemas de controle têm ganhado espaço nas fábricas, principalmente os que não necessitam de um contato físico e podem ser facilmente convertidos para outras peças, como por exemplo o controle por visão e/ou laser. O sistema de visão tem a vantagem de não exigir um toque na peça e de realizar um diagnóstico por comparação. Tais características possibilitam que rapidamente novos aprendizados sejam acrescentados em seu sistema ou até mesmo sejam convertidos para outras peças. É claro que atualmente ela é extremamente sensível a alguns tipos de variações externas, principalmente a luminosidade, mas a conversão para este tipo de tecnologia também está diretamente ligada à *smart factory*, uma vez que a planta conseguirá avaliar os índices de problemas que estão chegando até o posto de inspeção e sinalizar a necessidade de intervenção, sugerindo ações, estimando o número de peças suspeitas no processo e o tempo necessário para correções, além de trazer uma gigantesca lista de lições aprendidas e pré-compiladas para novos produtos, o que reduzirá o tempo de desenvolvimento e aumentará a assertividade.

Ainda com relação às características da Indústria 4.0, deve-se, por último, enunciar mais uma delas, a descentralização. Como realizá-la se, a cada geração, aumentam as complexidades e reduzem-se as tolerâncias dos produtos, fatos que têm como consequência a necessidade de ferramentas especiais e sistemas de fixação mais rígidos e estáveis? As montadoras atualmente estão utilizando um sistema de fixação indireta das peças, o que o mercado chama

¹ Um transdutor é um equipamento que converte variações de uma determinada grandeza física em outra. Por exemplo, um transdutor de posição converte variações de movimento em um sinal de saída do tipo elétrico.

de *adaptor plate*, ou placa adaptadora (FIG 1). Este sistema tem como base uma fixação pré-definida na mesa da máquina. A peça então é parafusada em uma placa adaptadora que se encaixará no sistema instalado na mesa, de modo que a peça é fixada uma única vez em uma placa e este conjunto é transportado de operação para operação. A grande vantagem é a possibilidade de flexibilização da linha. A alteração do produto tem como consequência uma nova programação do CNC e a construção de novos *adaptor plates*, permitindo assim que produtos com grandes diferenças físicas compartilhem a mesma linha de usinagem com o tempo de *set-up* nulo ou reduzido.



Figura 1. Cabeçote FOX da FORD fixado no *adaptor plate* (<http://www.supertopmotor.com.br>, 2017)

4. O MERCADO DE MÁQUINAS CNC COM A CHEGADA DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 não será feita somente de novas tecnologias, aquelas já consolidadas também serão amplamente aplicadas, como a usinagem usando CNC citada anteriormente. Atualmente o aproveitamento de todos os recursos disponíveis em um centro de usinagem depende diretamente da capacidade do operador e/ou programador, mesmo com o uso de *softwares* de CAD/CAM, onde o resultado está diretamente baseado nas escolhas do usuário. Considerando isso, as grandes fabricantes de máquinas já vêm trabalhando em *softwares* com foco de uso na Indústria 4.0. A GROB apresentou o G-NET e a DMG MORI já vem implementando em suas máquinas o CELOS. A GROB afirma: “com o sistema de execução de manufatura (*Manufacturing Execution System*) *G-Net* cria-se uma transparência em toda a fábrica e em todo processo de produção, por meio da tecnologia on-line. O *G-Net* permite que a máquina avalie o processo de PMC, deixando a máquina praticamente “falar” com o seu ambiente” (<http://www.grobgroup.com>, 2017). Já a DMG MORI traz soluções em equipamentos, tendo suas diretrizes voltadas para as máquinas com cinco eixos, *millturn* (tornos com ferramentas acionadas), impressão aditiva e laser. Por exemplo, a DMG MORI oferece equipamentos CNC dotados com mais de 60 sensores, dentre eles de força, vibração e potência. Este conjunto de dados permite realizar diagnósticos e dar previsibilidade dos processos e máquinas. Além disso, a DMG MORI apresentou a “LASERTEC 65 3D”, que integra pela primeira vez a manufatura aditiva em uma máquina de fresar com cinco eixos (FIG. 2). Esta solução híbrida combina a flexibilidade do processo de deposição a laser de metal com a precisão do processo de usinagem.

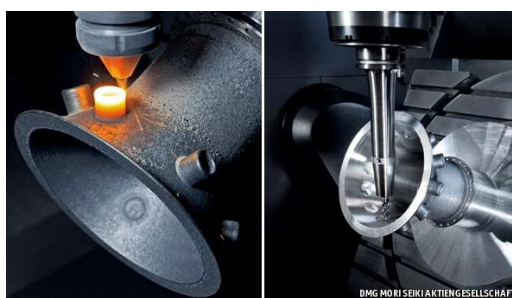


Figura 2. Máquina híbrida Lasertec 65 3D da DMG MORI (www.economist.com, 2017)

Em 2013, a Heller apresentou a tecnologia de deposição de material para substituir a necessidade de uso de camisas de ferro em blocos de motor em alumínio. A eliminação do uso de ferro no bloco de motor indica uma redução de peso considerável, o que é crucial para melhoria de desempenho e redução de emissão de gases. A Volkswagen anunciou há alguns meses seu novo motor de alto desempenho, o EA211 1.5 TSi EVO, no qual será aplicado esta tecnologia de deposição de metal (*atmospheric plasma spray* - APS) substituindo as camisas de ferro fundido.

5. CONCLUSÃO

A Indústria 4.0 parece ser uma realidade ainda distante das fábricas brasileiras. Porém, análises empíricas mais detidas apontam que ela já vem sendo implantada nos processos de fabricação. No caso aqui analisado, o das últimas gerações de motores, pode-se perceber que muitos dos princípios da quarta revolução industrial têm entrado nas fábricas na forma de exigência das montadoras. Este início de transição se dá pela necessidade de unificação de produtos e processos ao

redor do globo. Pode-se listar alguns avanços mais acentuados nas fábricas quando se foca nesta transição, como a automatização dos processos, monitoramento das etapas e status, rastreabilidades mais completas e em nuvem, início da disseminação dos controles por visão.

É perceptível que a digitalização das fábricas deve ser o próximo passo da indústria, iniciando a coleta de dados e a alimentação com os conhecimentos das pessoas para formarem seus próprios *big data*, permitindo assim usar as informações para melhorar o processo. O relatório do fórum mundial de economia sobre o futuro do emprego (World Economic Forum, 2015) enfatiza que a necessidade de tecnologias em nuvem e *big data* já afetaram a estrutura de negócio das empresas e que a manufatura aditiva e a internet das coisas devem impactar em um próximo momento.

6. REFERÊNCIAS

- Aruväli T., Maass W., Otto T., 2013, “Digital Object Memory Based Monitoring Solutions in Manufacturing Processes”, 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation.
- Kagermann, H., W. Wahlster and J. Helbig (eds.) ,2013 ,” Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, sponsored by the Federal Ministry of Education and Research of Germany”
- Baller S., Dutta S., Lanvin B., 2016, “The Global Information Technology Report 2016: Innovating in the Digital Economy”, World Economic Forum, Geneva, Suíça.
- Landherr M., Schneider U., Bauernhansl T., 2016, “The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven manufacturing, research and development”, 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS 2016).
- Lee J., Ardakani H. D., Yang S., BagheriB., “Industrial Big Data Analytics and Cyber-physical Systems for Future Maintenance & Service Innovation”; The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services.
- MDIC, 2016, “Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil”, Brasília, Brasil
- World Economic Forum ; “The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution”; World Economic Forum, 2016, World Economic Forum, Geneva, Suíça.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.