

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA: DEFINIÇÕES E QUADRO DE TRABALHO PARA FUTURA PESQUISA

FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS: DEFINITIONS AND FRAMEWORK FOR FUTURE RESEARCH

Vagner Gerhard Mancio¹; Miguel Afonso Sellitto²

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS – São Leopoldo/RS – Brasil
vagnermancio@yahoo.com.br

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS – São Leopoldo/RS – Brasil
sellitto@unisinors.br

Resumo

O objetivo deste artigo é oferecer uma revisão conceitual sobre Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS). Ao fim, construiu-se um quadro de trabalho que pode ser útil para organizar o esforço em futuras pesquisas em FMS's. Os equipamentos típicos presentes em FMS são: máquinas-ferramenta, movimentadores, manipuladores, estruturas de armazenagem e transelevadores, e inspetores, todos automáticos. Os softwares típicos de gerenciamento incluem CAD, CAE, CAM, CAPP e redes industriais robustas. A revisão apontou que algumas técnicas gerenciais podem ser tema de futura pesquisa, tais como formação de células, e otimização de rotas e picking.

Palavras-chave: manufatura flexível, automação, manufatura integrada, máquinas-ferramenta.

Abstract

The purpose of this article is to provide a conceptual review about Flexible Manufacturing Systems (FMS). At the end, a frame-work was built which may be useful to organize the effort in future research on FMS's. The typical equipment present in FMS are: machine tools, movers, handlers, storage structures and transelevators, and inspectors, all automatic. The typical management software includes CAD, CAE, CAM, CAPP and industrial high-reliability networks. The review pointed out that some management techniques can be focused by future research, such as formation of cells, and optimization of routes and picking.

Keywords: flexible manufacturing, automation, integrated manufacturing, machine tools.

1. Introdução

A competitividade do mercado de manufatura intensificou-se a partir da década de 1960, quando custo e qualidade passaram a ser as principais preocupações dos fabricantes, em detrimento do volume de produção, até então predominante. Mais tarde, com a crescente complexidade do mercado, velocidade de entrega e flexibilidade de manufatura também tornaram-se importantes dimensões de competição (ZHANG et al., 2006). Em particular, a flexibilidade é a dimensão que permite a empresas de manufatura operar em ambientes incertos e turbulentos. Com esse novo perfil estratégico, a partir dos anos 1990, as empresas de manufatura passaram a ser mais flexíveis em suas operações (TRACEY et al., 1999), lançando mão dos chamados Sistemas Flexíveis de Manufatura (*Flexible Manufacturing System - FMS*). Com FMS's, fabricantes tornaram-se mais ágeis, rompendo o clássico *trade-off* entre velocidade e qualidade. Embora exija alto investimento inicial, o que eleva o custo fixo, o FMS pode contribuir para a competitividade de uma empresa em mercados turbulentos, (BOUCHER, 2012).

Um FMS é um sistema de manufatura com alguma flexibilidade que permite que o sistema reaja a mudanças, previstas ou imprevistas. Essa flexibilidade pode ser de máquina, que consiste na habilidade de alterar o sistema para produzir novos produtos e novas combinações de produtos; ou pode ser de roteamento, que consiste na habilidade de usar múltiplas máquinas para executar a mesma operação (TONI; TONCHIA, 1998). Um FMS é usualmente composto por máquinas-ferramenta, controlado por computador e apoiado por dispositivos automatizados de movimentação de materiais. Máquinas-ferramenta são numericamente controladas e podem processar, simultaneamente, volumes médios de uma variedade média de peças: a tecnologia foi concebida para atingir a eficiência no equilíbrio entre volume e variedade de peças (BROWNE et al., 1984).

Outra definição para FMS é: um arranjo de máquinas automáticas interligadas por um sistema de movimentação automatizado, em paletes ou em outro tipo de contenedor, controlado por computador central (SHIVANAND et al., 2006). Um FMS também pode ser entendido como uma célula de manufatura automatizada, composta por estações de processamento (normalmente máquinas-ferramentas), interligadas por um sistema automatizado de manuseio e armazenamento de material e controladas por um sistema distribuído de computação industrial. Um FMS pode processar variados tipos de peças simultaneamente nas diversas estações de trabalho, ajustando-se ao *mix* e à demanda do mercado (GROOVER, 2011).

Medina e Crispim (2010) afirmam que normalmente justifica-se a automação com base apenas na economia de mão-de-obra, mas a redução da variabilidade do processo automatizado pode trazer ganhos mais significativos do que a simples redução de custos. A aplicação de alta tecnologia, e em particular de FMS's, deve ser avaliada por múltiplas dimensões estratégicas, tais

como as apontadas por Boyer (1998): custo, qualidade, flexibilidade e entrega. Tal consideração torna a análise de FMS um problema de decisão multicriterial, tal como em Sellitto et al. (2006) e Rosa et al. (2006).

Conforme Rezaie e Ostadi (2007), na época de sua pesquisa houve crescente preocupação com a perda de competitividade na manufatura. A introdução de FMS ajudou a recuperar a competitividade não apenas com melhorias na produtividade geral e na qualidade final do produto, mas também por redução de vulnerabilidades devidas a variações de demanda e do *mix* de produtos.

O objetivo deste artigo é oferecer uma revisão conceitual sobre FMS. Os objetivos específicos são: revisar tipos de manufatura segundo o layout, em particular o layout celular, mais adequado a FMS's; revisar elementos típicos de FMS's (equipamentos e software); e construir um quadro de trabalho que possa ser útil para organizar o esforço em futuras pesquisas em FMS's. Algumas pesquisas recentes similares foram usadas neste artigo: Elmaraghy e Caggiano (2014) estudaram os resultados que podem ser esperados na implantação de células de manufatura em sistemas flexíveis de manufatura (FMS). Fritzen e Saurin (2014) avaliaram os resultados de implantação de mudanças estratégicas em células de manufatura na indústria automotiva. Santos e Barbosa (2015) apresentaram diretrizes estratégicas para processos de automação em manufatura avançada na indústria automotiva. Mourtzis et al. (2014), Soares et al. (2011) e Hansen et al. (2014) exploraram a simulação computacional em práticas de manufatura celular. Costa (2013) explorou a tecnologia RFID na automação de uma célula de manufatura.

2. FMS's e sistemas de manufatura

Um FMS é um conjunto integrado de máquinas de processamento e equipamentos de manipulação, controladas por computador para processamento automático de peças paletizadas. É especialmente eficaz na produção de volume médio e variedade média de peças e representa um compromisso entre alta flexibilidade do job-shop e alta taxa de produção de linhas *transfer*. Pode tratar um número limitado de famílias de peças semelhantes entre si usando tecnologia de grupo, apresentando ao mesmo tempo benefícios da economia de escopo e alcançar a eficiência da economia de escala (ELMARAGHY; CAGGIANO, 2014). SFM podem ser úteis em operações em rede, nas quais muitos pequenos fabricantes atendem um grande comprador, conferindo à gestão da cadeia produtiva uma capacidade de competição baseada em flexibilidade (PEREIRA et al., 2011). Também podem ser úteis quando se deseja desenvolver sistema de manufatura sustentáveis (MURAKAMI et al., 2015).

Em um primeiro momento, a indústria fornecedora de FMS não experimentou os altos níveis de crescimento característicos de outras indústrias de automação (HANDFIELD; PAGELL, 1995).

O fato principal que explica este baixo crescimento inicial é que muitos pioneiros do FMS, ou seja, indústrias manufatureiras que desenvolveram e também utilizaram a tecnologia, tornaram-se fornecedores de equipamentos, sem maior vocação comercial (CAPELLI, 2008). Com isto, estes fornecedores preocuparam-se muito mais com o estado-da-arte tecnológica dos FMS do que com os resultados auferidos por clientes (HANDFIELD e PAGELL, 1995). Mais recentemente, observa-se que a indústria fornecedora de FMS passou a crescer a partir do ano 2000.

FMS's preferencialmente exigem layouts celulares e Tecnologia de Grupo (TG) para sua instalação. Para que se entenda o que é o layout celular, é desejável descrever também os demais tipos de layout: por produto (*flow-shop*), por processo (*job-shop*), baseada em tecnologia de grupo (manufatura celular), e de posição fixa (*project-shop*) (ASKIN e STANDRIDGE, 1993).

O layout de posição fixa (*project-shop*) é mais utilizado para produtos de grande porte, tais como navios, aviões, e edificações, em que o tamanho do produto faz com que seja impraticável deslocá-lo: é mais viável transportar o recurso de produção até o produto em fabricação. Peças e processos, tais como equipamentos de solda e maquinaria, são levados até o produto (ASKIN e STANDRIDGE, 1993). O layout de produto (*flow-shop*) serve a um produto específico, usualmente em linha de fluxo: as máquinas são organizadas de modo que o produto flua da primeira estação para a segunda, da segunda para a terceira, e assim sucessivamente, até o final da linha. Linhas de montagem e linhas de transferência (linhas *transfer*) são exemplos de *layouts* de produto e têm como vantagens o baixíssimo tempo de produção e o reduzido estoque em processo. O layout de processo (*job-shop*) serve quando a produção exige lotes pequenos e grande variedade de produtos e peças. Máquinas semelhantes são agrupadas por departamentos. Por exemplo, tornos e fresadoras podem formar um departamento diferente e isolado de estações de pintura. Layouts de processos são caracterizados por tempos de produção mais longos e por maior estoque em processo. A dispersão geográfica dos processos pode dificultar o fluxo de material, mas garante alta eficiência e aprendizagem por acúmulo de experiência específica em cada processo (FLINN e JACOBS, 1986).

A manufatura celular mescla características e vantagens de layouts de processo e de produtos, usualmente com substancial redução no tempo de atravessamento e no estoque em processo. Partes e peças semelhantes são agrupadas em quantidade e volume de produção suficiente, as famílias de peças, organizadas por métodos analíticos conhecidos por Tecnologia de Grupo (TG) (BUZACOTT e SHANTHIKUMAR, 1992). Tais métodos comparecem na literatura, mas há amplo espaço para mais pesquisa, pois a eficiência da manufatura celular depende da eficiência das heurísticas usadas no seu planejamento (RENZI et al., 2014). Layouts celulares são mais adequados para operações de médio volume e média variedade. Se a produção anual de uma operação se encontrar entre 5 e 75 mil peças por ano, possivelmente célula de manufatura e FMS

sejam uma boa alternativa. Abaixo deste intervalo, vale mais um sistema do tipo *job-shop*; acima, um sistema do tipo *flow-shop* (GROOVER, 2011).

3. Equipamentos típicos constituintes de FMS's

FMS são constituídos usualmente por máquinas CNC, magazine de ferramentas, movimentadores, manipuladores, armazenadores, e inspetores de material (BROWNE et al., 1984).

3.1 Máquinas-ferramenta CNC

Uma máquina-ferramenta CNC (Controle Numérico Computadorizado) deve integrar três elementos essenciais: a máquina e seus controladores; a peça a ser trabalhada, e a ferramenta que trabalhará a peça. Os elementos básicos de uma máquina-ferramenta com CNC são: base da máquina; dispositivos para manejo de peças; dispositivos para manejo de ferramentas; acionamentos de peças e de ferramentas; comandos dos acionamentos; e comandos lógico-programáveis e sensores (WITTE, 1998). Centros de trabalho baseados em máquinas-ferramenta CNC são dispositivos automatizados e que são capazes de executarem múltiplas operações de processamento, dada a variedade de ferramentas que podem utilizar. Um centro de trabalho inclui ao menos uma máquina-ferramenta CNC equipada com magazine de ferramentas, cuja função é permitir, na mesma peça e com uma única preparação, executar múltiplas operações sequenciais (fresagem, furação, brunimento etc.) (DAVIM; CORREA, 2006). O *setup* é automático e praticamente instantâneo, necessitando mínima ou nenhuma atenção humana (SALES, 1989).

O número de eixos de uma máquina CNC está associado às possibilidades de deslocamento da ferramenta no espaço tridimensional que permitem o processamento de geometrias tridimensionais complexas e (LEITE et al., 2010). A programação CNC se vale da definição dos elementos geométricos (dimensões e sólidos 3D) e tecnológicos (matéria-prima e ferramentas), podendo ocorrer manualmente, por programação gráfica interativa, ou ainda integrada com sistemas CAD/CAM (VALERI e TRABASSO, 2003). Equipamentos CNC geralmente possuem sistemas automatizados de carregamento e descarregamento e troca de ferramentas (LEITE et al., 2010).

3.2 Magazine de ferramentas

O magazine de ferramentas é o local utilizado para armazenagem temporária das ferramentas que serão usadas nos diversos programas de um equipamento CNC. O magazine

permite que a máquina realize múltiplas operações com trocas de ferramentas, praticamente simultâneas, obtendo um altíssimo nível de eficiência (GÓMEZ; LORENA, 1998).

As várias abordagens estruturais já propostas para a construção de magazines de ferramentas podem ser divididas em dois grupos: foco na mudança de ferramenta; e foco no armazenamento de ferramenta na máquina. O critério de seleção se baseia na definição do modo de troca das ferramentas: se trocadas manualmente, ou se trocadas automaticamente. Ao preparar as ferramentas, é importante perturbar o mínimo possível o processo de produção: ou as ferramentas necessárias durante o período de manufatura podem ser colocadas num *buffer* integrado à máquina; ou as ferramentas são trocadas em paralelo com a produção quando for o caso da mudança de tarefa; ou ainda são trocadas durante a manutenção da máquina (LEITE et al., 2010).

3.3 Movimentadores de Materiais: AGVS e Transportadores

A movimentação de materiais no FMS ocorre em paletes e contenedores, transportados em veículos guiados automáticos (*Automated Guided Vehicle System*, AGVS) ou em transportadores.

AGVS são veículos sem condutor, programados autonomamente para seguir um caminho guiado em fábricas automatizadas e em instalações de paletes e contenedores de movimentação. Os principais benefícios dos AGVs são a redução dos custos de mão-de-obra, redução de acidentes, e acréscimo de velocidade e precisão do veículo (SHIVANAND et al., 2006). As principais técnicas utilizadas para movimentação do AGVS são: (i) orientação com cabos subterrâneos que definem caminhos fixos; (ii) comando sem fio que permitem que as trajetórias sejam modificadas; (iii) orientação sem fio, por comando ótico ou por linhas pintadas no piso; (iv) orientação sem fio e referenciado remotamente, com *encoders* óticos que rastreiam a trajetória; (v) orientação sem fio referenciado por laser, com *scanners* que rastreiam a trajetória; (vi) orientação sem fio referenciado por cálculo combinado, baseado em algoritmos de rastreamento; e (vii) orientação sem fio referenciado por balizas. As principais funcionalidades e propriedades de AGVS são: (i) orientação: permite que o veículo siga uma trajetória desejada; (ii) encaminhamento: habilidade para tomar decisões ao longo do caminho, a fim de otimizar as rotas de produção; (iii) administração do tráfego: habilidade para evitar colisões; e (iv) transferência de carga: habilidade para carregar e descarregar materiais. Os principais tipos de AGVS existentes em manufatura: (i) AGVS de reboques (*Towing* ou *Tugger* AGVS); (ii) AGVS de Unidades de Carga (*Unit Load* AGVS), com plataformas que permitem transporte e transferência automática da carga; (iii) AGVS de Carga Leve (*Ligth Load* AGVS), com alta agilidade para pequenos espaços; (iv) AGVS para Linha de Montagem (*AGVS Assembly Line Vehicles*), específicos para abastecimento de linhas de

montagem; e (v) AGVS de Empilhadeira (*Fork Truck AGVS*), que reproduzem as habilidades de empilhadeiras convencionais, porém sem condutor (BARBERA; PEREZ, 2010).

Transportadores (*conveyors*) são utilizados para mover materiais padronizados por percursos fixos. Podem ser: de roletes, de rodízios, de esteiras, de correntes, de piso, e aéreos (GROOVER, 2011). A SSI Schäfer (2009) descreve os tipos de transportadores apropriados para FMS: (i) com estação de abastecimento ao nível do solo e elevador; (ii) com rolos de alimentação preparados para lanças de empilhadeiras ou porta-paletes; (iii) para transporte horizontal de carga; (iv) para transporte vertical de cargas; (v) com rolos e correntes em conjunto para alterações de direções da carga; (vi) com rolos em curva; e (vii) com esteiras inclinadas.

3.4 Manipuladores de Materiais: Robôs

O robô é o principal equipamento para manipulação automática de materiais em FMS. Um robô industrial é uma máquina programável, de aplicação geral, e que possui determinadas características antropomórficas (semelhantes a humanos), tais como semelhança com braços, resposta a estímulos sensoriais, comunicação com outras máquinas, e capacidade de tomada de decisões (GROOVER, 2011). Romano e Dutra (2002) descrevem os componentes básicos de um robô para aplicação industrial: (i) manipular mecânica: consiste da combinação de elementos estruturais rígidos (corpos e elos) conectados por articulações (juntas), sendo o primeiro corpo denominado de base e o último de terminal, que sustenta o efetuador (garra ou ferramenta); (ii) atuadores: convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em potência mecânica para movimentação; (iii) sensores: fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, geralmente posição, velocidade, força, ou torque; (iv) unidade de controle: gerencia e monitora os parâmetros operacionais requeridos; (v) unidade de potência: fornece a potência necessária à movimentação dos atuadores; e (vi) efetuador: é o elemento final de ligação entre o robô e o processo, tal como uma garra ou ferramenta.

Estremote (2009) classificou os robôs em: (i) inteligentes, capazes de interagir com o ambiente por sensores e de tomar decisões em tempo real; (ii) aprendizes, capazes de repetir uma sequência de movimentos realizados por operador humano; e (iii) autômatos, que cumprem um programa sem capacidade de interagir com o ambiente. Romano e Dutra (2002) e Rosário (2009) classificaram robôs conforme sua característica de movimentação: (i) cartesianos/pórtico (*cartesian/gantry robot*), com movimentos descritos por coordenadas cartesianas (três translações); (ii) cilíndricos (*cylindrical robot*), com movimentos descritos por coordenadas cilíndricas (duas translações e uma rotação); (iii) esféricos (*spherical robot*), com movimentos descritos por coordenadas esféricas (uma translação e duas rotações); (iv) SCARA (*Selective Compliance*

Assembly Robot Arm), com movimentos livres no plano xy e restritos no plano z , específico para montagem de componentes de pequenas dimensões, como placas eletrônicas (BOADA et al., 2014); e (v) articulado ou antropomórfico (*articulated robot*), de uso geral, com formato semelhante ao humano. Shivanand et al. (2006) classificam robôs conforme sua aplicação industrial: (i) Soldagem; (ii) Pintura; (iii) Operações de montagem; e (iv) Paletização e Manuseio.

3.5 Armazenadores de Materiais: Estruturas de Armazenagem e Transelevadores

Em FMS's, cargas são armazenadas ou recuperadas sem participação humana por sistemas de armazenagem e recuperação automáticas (*Automated Storage and Retrieval System - AS/RS*), compostos por estruturas de armazenagem e transelevadores. Estruturas de armazenagem são constituídas por perfis, formando estantes ou outros tipos de equipamentos de sustentação, próprias para receberem e guardarem cargas paletizadas ou acondicionadas em outros tipos de contenedores. Transelevadores são estruturas móveis com capacidade de movimentação horizontal e vertical de grande velocidade, com o objetivo de levar ou trazer pallets ou contenedores entre as estruturas de armazenagem e as linhas de abastecimento de máquinas CNC (GROOVE, 2011).

Os objetivos de automação de operações de armazenamento e recuperação de materiais são: (i) aumentar a capacidade e a densidade de armazenamento; (ii) recuperar espaço de chão da fábrica; (iii) melhorar a acuracidade e a segurança; (iv) reduzir custos; e (v) melhorar o serviço ao consumidor (GROOVER, 2011). Shivanand et al. (2006) descrevem várias classes de AS/RS: (i) unidades de carga individuais de manuseio de paletes com capacidades variáveis; e (ii) carrossel AS/RS, que integram estruturas de armazenagem e transelevadores, em sistemas unificados. Um importante problema de pesquisa é a otimização de rotas de AVGS e transelevadores e da ocupação de armazenadores em FMS.

3.6 Inspetores de Peças

Medição coordenada por máquina (*Coordinate Measuring Machine - CMM*) pode jogar importante papel na inspeção de precisão, constituindo alternativa mais rápida e precisa do que os métodos convencionais de medição de peças complexas (SHIVANAND et al., 2006).

CMMs podem capturar informação sobre a superfície de uma peça segundo dois tipos de apalpação: ponto a ponto e por varredura ou *scanning*. Outra forma de medição por contato são os braços articulados de medição (BAMs), que usam articulações com 5, 6 ou 7 graus de liberdade e medidores angulares de precisão (*encoders*) para determinar a posição do apalpador. Por fim,

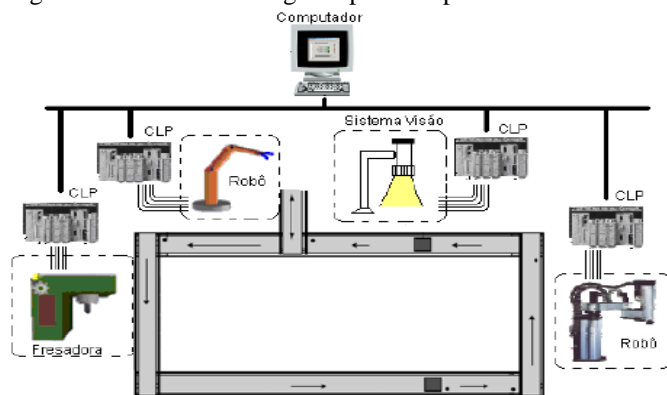
medição fotogramétrica pode determinar o tamanho e a forma de objetos pela análise de duas ou mais imagens bidimensionais (LIMA, 2006).

4. Gerenciamento Típico de FMS: Manufatura Integrada por Computador

Integração da Manufatura por Computador é elemento central no gerenciamento de FMS's. A CIM (Computer Integrated Manufacturing - CIM) é a integração de todas as atividades envolvidas na manufatura: compra, venda, projeto, planejamento, administração, finanças, e produção. A integração ocorre através de rede de comunicação e de software gerenciador. A CIM gerencia a execução, supervisão, e o controle das atividades nos diversos setores da empresa, tornando possível a operação integrada dos setores (BELOTTI JR., 2010).

Os pacotes de *softwares* que normalmente fazem parte da estrutura de um CIM são: CAD – *Computer Aided Design*, CAE – *Computer Aided Engineering*, CAM – *Computer Aided Manufacturing* e CAPP – *Computer Aided Process*. Projetos executados em CAD são testados no CAE, geram códigos CAM para a execução nas máquinas CNC, cuja produção é organizada no CAPP (PEIXOTO, 2012). A Figura 1 ilustra um sistema de manufatura integrada por computador.

Figura 1: Manufatura Integrada por Computador - CIM



Fonte: Peixoto, 2012.

Na figura, CAD, CAE, e CAPP rodam em sistema centralizado, gerando código CAM para os controladores individuais das máquinas, que realimentam o desempenho para o CAPP (reorganização do processo) ou para o CAD (reprojeto da peça) (PEIXOTO, 2012). O CAD é um sistema gráfico computacional interativo utilizado para modelagem geométrica, descrição matemática da geometria do projeto e preparação rápida de desenhos de alta precisão. A principal utilização do CAD é a integração com os sistemas CAE e CAM. O modelo construído no CAD é transmitido para o CAM, no qual é simulada e programada a usinagem na máquina CNC (BELOTTI JR., 2010). O CAD tem capacidade de representar figuras em planos 2 e 3D. Embora o

plano 2D necessite menos espaço de memória, podendo dar respostas mais rápidas, é o plano 3D que permite que superfícies mais complexas sejam exploradas. Algoritmos têm sido desenvolvidos para aplicações específicas, tais como obtenção de massa e peso de componentes, centro de gravidade, momento de inércia, análises com o método dos elementos finitos, compilação de tecnologia de grupo e planejamento de processos (SILVA, 2006).

Dado um modelo fornecido pelo CAD, cabe ao CAE executar simulações de ensaios para avaliação de propriedades e do comportamento dos materiais em situações de uso, submetidos à variação de fatores de stress externos, tais como temperatura e força. Em uma peça mecânica, podem ser calculadas tensões, deslocamentos, distribuição de temperatura, fluxo de calor da peça, dentre outros. O CAE contribui para redução de tempo e de custos de projeto, elevando substancialmente a qualidade do produto final (BELOTTI JR., 2010).

O CAM é a ferramenta computacional utilizada para gerar programações para serem transmitidas às máquinas CNC, determinando tipos e trajetória de ferramenta e otimizando a programação da usinagem. O banco de dados do CAM permite que grande número de modelos seja armazenado, reduzindo tempos de *setup* e aumentando a produtividade (BELOTTI JR., 2010).

O CAPP é uma ferramenta computacional que gera planos de processo de manufatura e orienta a execução de diversas operações sequenciais de cada tarefa de produção. Permite definir os tempos envolvidos em cada operação, determinar as máquinas ou células que são capazes de executar certo conjunto de operações e sua sequência e definir as ferramentas necessárias durante o processo de manufatura (BELOTTI JR, 2010). Sistemas CAPP podem ser definidos como a aplicação de computadores para assistir o processista no planejamento do processo. O CAPP tem por objetivo reduzir o tempo e esforço necessários para preparar planos de processo mais consistentes (BENAVENTE, 2007). Belotti Jr. (2010) descreve aplicações típicas do CAPP: (i) determinar os dados necessários para a descrição do processo; (ii) listar os processos que a empresa é capaz de realizar; (iii) determinar a sequência e as operações que o produto seguirá; (iv) distribuir o trabalho entre as máquinas, tendo como meta o melhor aproveitamento e equilíbrio dos recursos; (v) selecionar as opções de processamento; (vi) determinar o modo de preparação do recurso; (vii) registrar os possíveis tempos usados na fabricação; (viii) calcular as possíveis sobras de materiais; (ix) registrar as operações de preparação e os estágios executados de cada etapa; e (x) programar máquinas para a execução pré-estabelecida do processo.

A comunicação entre os módulos da CIM e os equipamentos de campo ocorre por redes industriais de alta velocidade e alta confiabilidade. As principais redes para este fim são: *Sensorbus*, *Devicebus*, e *Fieldbus*. A rede *Sensorbus* liga equipamentos simples e pequenos diretamente à rede, tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. A rede *Devicebus* opera em nível intermediário, conectando equipamentos discretos e analógicos de média complexidade. A rede *Fieldbus* pode

cobrir maiores distâncias e interliga equipamentos mais inteligentes, com funções especiais de controle, tais como *loops* PID e controladores de processos (NOGUEIRA, 2009).

5. Conclusão: Quadro de Trabalho para Futuras pesquisas

Concluindo este estudo, oferece-se um quadro de trabalho que pode ser útil para orientar e organizar futuros esforços de pesquisa em FMS. O Quadro 1 foi organizado em três construtos: equipamentos e tecnologia; software e integração; e técnicas gerenciais, que cobrem os principais elementos usualmente observados em FMS.

Quadro 1: Quadro de Trabalho para futuras pesquisas em FMS

construto	elemento
equipamentos e tecnologia	Máquinas-ferramenta e controladores
	Magazines de ferramentas
	AGVS e transportadores
	Robôs
	Armazenadores e transelevadores
	Inspetores automáticos
Manufatura Integrada	CAD
	CAE
	CAPP
	CAM
	Redes Industriais
Técnicas gerenciais	Heurísticas de formação de células
	Métodos de Tecnologia de Grupo
	Roteirização de AGVS e transportadores
	Otimização de rotas e picking em transelevadores

O artigo pretende ter contribuído com uma revisão sobre elementos que usualmente comparecem em FMS. Futuras pesquisas em engenharia mecânica, elétrica, mecatrônica, e de produção podem se valer do quadro proposto para classificar e distribuir seus esforços de pesquisa.

Referências

ASKIN, R.; STANDRIDGE, C. **Modeling and Analysis of Manufacturing Systems**. New York: John Wiley & Sons, 1993.

BARBERA, H.; PEREZ, D. Development of a flexible AGV for flexible manufacturing systems. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 37, n. 5, p. 459-468, 2010.

BELOTTI JR., M. **CIM – Manufatura Integrado por Computador**. Monografia de Conclusão de Curso em Tecnologia de Automação Industrial, Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga, Taquaritinga: 2010.

BENAVENTE, J. **Um sistema para o projeto e fabricação remota de peças prismáticas via internet**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2007.

BOADA, Y.; MORALES, L.; SOTOMAYOR, N Control de Seguimiento de Trayectoria y Paletización de un Robot de Tres Grados de Libertad tipo SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). **Revista Politécnica**, v. 33, n. 1, p. 1-9, 2014.

BOUCHER, T. **Computer automation in manufacturing: an introduction**. Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2012.

BOYER, K. Longitudinal linkages between intended and realized operations strategies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 4, p. 356-373, 1998.

BROWNE, J.; DUBOIS, D.; RATHMILL, K.; SETHI, S.; STECKE, K. Classification of flexible manufacturing systems. **The FMS Magazine**, v. 2, n. 2, p. 114-116, 1984.

BUZACOTT, J.; SHANTHIKUMAR, J. A general approach for coordinating production in multiple-cell manufacturing systems. **Production and Operations Management**, v. 1, n. 1, p. 34-52, 1992.

CAPELLI, A. **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos**. São Paulo: Érica, 2008.

COSTA, C. Aplicação de tecnologia RFID numa estação de rastreabilidade na automação de um processo discreto de manufatura. **Iberoamerican Journal of Project Management**, v.4, n.1, p.1-15, 2013.

DAVIM, J.; CORREIA, A. **Maquinagem a alta velocidade: fresagem/CNC**, Lisboa: Publindústria, 2006.

ELMARAGHY, H.; CAGGIANO, A. Flexible Manufacturing System. In: **CIRP Encyclopedia of Production Engineering**. Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 524-530.

ESTREMOTE, M. **Manipulação Remota de um Braço Mecânico (SCORBOT ER - III) utilizando a Rede Mundial de Computadores**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Elétrica, UNESP, Ilha Solteira: 2006.

FRITZEN, L.; SAURIN, T. Avaliação de práticas de produção enxuta em células de manufatura no setor automotivo. **Produto & Produção**, v.15, n.4, p.68-88, 2014.

GÓMEZ, A.; LORENA, L. Modelagem de Sistemas de Manufatura Flexíveis considerando restrições temporais e a capacidade do magazine. **Gestão & Produção**, v. 5, n. 1, p.68-80, 1998.

GROOVER, M. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. São Paulo: Pearson, 2011.

HANDFIELD, R.; PAGELL, M. An analysis of the diffusion of flexible manufacturing systems. **International Journal of Production Economics**, v. 39, n. 3, p. 243 -253, 1995.

HANSEN, P.; ROCHA, R.; LEMOS, F. Alternativas para aumento de produtividade em uma célula de manufatura com uso das técnicas do sistema Toyota de produção: análise através da modelagem e simulação computacional. **Produto & Produção**, v.15, n.1, p.22-42, 2014.

LEITE, W.; NIGRI, E.; FARIA, P.; OLIVEIRA, R.; RUBIO, J. Cenário de Manufatura Integrada: Fabricação de moldes para peças plásticas termo-moldadas. **Anais do XXX ENEGEP**, Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: 2010.

LIMA, C. **Um estudo comparativo de sistemas de medição aplicáveis ao controle dimensional de superfícies livres em peças de médio e grande porte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2006.

MEDINA, R.; CRISPIM, S. Fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria brasileira de autopeças. **Gestão da Produção**, v. 17, n.3, p. 567-578, 2010.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. **Procedia CIRP**, v.25, n.1, p.213–229, 2014.

MURAKAMI, F.; SULZBACH, A.; PEREIRA, G.; BORCHARDT, M.; SELBITTO, M. How the Brazilian government can use public policies to induce recycling and still save money?. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 94-101, 2015.

NOGUEIRA, T. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. Trabalho de Conclusão do Curso de engenharia de controle de automação da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: 2009.

PEIXOTO, J. **Desenvolvimento de sistemas de automação da manufatura usando arquiteturas orientadas a serviço e sistemas multiagentes**; Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2012.

PEREIRA, G.; SELBITTO, M.; BORCHARDT, M.; GEIGER, A. Procurement cost reduction for customized non-critical items in an automotive supply chain: An action research project. **Industrial Marketing Management**, v.40, n.1, p.28-35, 2011.

RENZI, C.; LEALI, F.; CAVAZZUTI, M.; ANDRISANO, A. A review on artificial intelligence applications to the optimal design of dedicated and reconfigurable manufacturing systems. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.72, n.1-4, p.403-418, 2014.

REZAIE, K.; OSTADI, B. A mathematical model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems. **Applied Mathematics and Computation**, v.184, n.2, p.729-736, 2007.

ROMANO, V.; DUTRA, M. Introdução à Robótica Industrial. In: ROMANO, V. (org.) **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo**, São Paulo: Edgard Blücher, p. 1-19, 2002.

ROSA, E.; SELBITTO, M.; MENDES, L. Avaliação multicriterial de desempenho e separação em aglomerados de fornecedores críticos de uma manufatura OKP. **Production Journal**, v.16, n.3, p.413-428, 2006.

ROSÁRIO, J. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

SALLES, J. **Organização da produção e do trabalho em ambiente de comando numérico**. Dissertação de Mestrado em Administração. FGV, São Paulo: 1989.

SANTOS, D.; BARBOSA, E. Manufatura digital no planejamento da automação da usinagem de componentes Powertrain. **Blucher Engineering Proceedings**, v.2, n.1, p.531-537, 2015.

SELLITTO, M.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. Avaliação multicriterial de desempenho: um estudo de caso na indústria de transporte coletivo de passageiros. **Gestão & Produção**, v.13, n.2, p.339-352, 2006.

SHIVANAND, H.; BENAL, M.; KOTI, V. **Flexible Manufacturing System**, Bangalore: New Age International Publishers, 2006.

SILVA, A. **Desenvolvimento Integrado CAD/CAM de componentes para turbinas a gás**. Dissertação de mestrado em Engenharia Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos: 2006.

SOARES, J.; LEMOS, F.; ARAÚJO, C.; HANSEN, P. A contribuição da simulação computacional para a análise sistêmica da reestruturação de layout e otimização de recursos na manufatura celular: estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo. **Produto & Produção**, v.12, n.3, p.49-68, 2011.

SSI SCHÄFER. **Conveyor System Components: Modular flexibility in any dimension**; Alemanha: 2009. 48 p. Catálogo.

TONI, A.; TONCHIA, S. Manufacturing Flexibility: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 6, p. 1587-617, 1988.

TRACEY, M; VONDEREMBSE, M.; LIM, J. Manufacturing technology and strategy formulation: keys to enhancing competitiveness and improving performance. **Journal of Operations Management**, n. 17, p. 411-428, 1999.

VALERI, S.; TRABASSO, L. Desenvolvimento integrado do produto: uma análise dos mecanismos de integração das ferramentas DFX. **Anais do IV CBGDP**, Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos, Gramado: 2003.

WITTE, H. **Máquina Ferramentas: Elementos básicos de Máquinas e Técnicas de Construção**. São Paulo: Hemus, 1998.

ZHANG, Q.; VONDEREMBSE, M.; CAO, M. Product concept and prototype flexibility in manufacturing: Implications for customer satisfaction. **European Journal of Operational Research**, v. 194, n. 1, p. 143-154, 2009.

Recebido: 03/05/2015

Aprovado: 14/04/2017