



Sistemas integrados de manufatura

Sistemas integrados de manufatura

Heber Castro Silva

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Cristiane Lisandra Danna

Danielly Nunes Andrade Noé

Emanuel Santana

Grasiele Aparecida Lourenço

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Paulo Heraldo Costa do Valle

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Celso Ildio Piovesana

Paulo Sérgio Siberti da Silva

Editorial

Adilson Braga Fontes

André Augusto de Andrade Ramos

Cristiane Lisandra Danna

Diogo Ribeiro Garcia

Emanuel Santana

Erick Silva Griep

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Heber Castro
S586s Sistemas integrados de manufatura / Heber Castro Silva.
– Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2017.
208 p.

ISBN 978-85-522-0199-1

1. Engenharia. I. Título.

CDD 624.1

Sumário

Unidade 1 Fundamentos gerais de manufatura	7
Seção 1.1 - Introdução aos sistemas integrados de manufatura	9
Seção 1.2 - Manufatura enxuta	25
Seção 1.3 - Organização do chão de fábrica	41
Unidade 2 Eliminação de desperdícios e perdas que influenciam na performance	57
Seção 2.1 - Identificação e redução de desperdícios	59
Seção 2.2 - Eliminando desperdício	73
Seção 2.3 - Otimizando o processo e eliminando gargalos	87
Unidade 3 Sistema integrado de manufatura: aspectos iniciais e estruturais	103
Seção 3.1 - Implementação de sistemas integrados de manufatura: primeiros passos	105
Seção 3.2 - Implementação de sistemas integrados de manufatura: integração	122
Seção 3.3 - Implementação de sistemas integrados de manufatura: facilitando as coisas	137
Unidade 4 Sistema integrado de manufatura: manufatura auxiliada por computador	153
Seção 4.1 - Automatização dos sistemas de manufatura integrados	155
Seção 4.2 - Integração entre projeto de produto e manufatura	167
Seção 4.3 - Tendências em sistemas integrados de manufatura	182

Palavras do autor

Caro aluno, que tal aprender formas de ajudar as empresas a melhorar suas operações de manufatura, otimizar e integrar processos e, com isso, aumentar sua competitividade e capacidade de gerar lucro? Esse é o objetivo de nossa disciplina. Conhecer os elementos teóricos e exemplos apresentados a seguir vai ajudá-lo a implementar e otimizar sistemas produtivos, utilizando ferramentas da manufatura enxuta, informatização e automação de forma contínua, coerente e coesa. O mero uso de robôs ou sistemas de informática não garante o aumento de produtividade ou redução de estoques e custos, que deveriam nortear qualquer atividade de otimização de processos. A aplicação equivocada dos conceitos que serão apresentados ao longo desta disciplina tem levado organizações a construir verdadeiros quebra-cabeças, com sistemas que não se comunicam, geram redundâncias e trabalhos desnecessários, ou ainda, automatizam processos ineficientes, perpetuando erros.

Ficou curioso? Então, vamos começar verificando como dividir nosso aprendizado a fim de que você, ao final deste livro didático, conheça os conceitos gerais relacionados à manufatura enxuta e Sistemas Integrados de Manufatura (SIM), assim como as tendências, técnicas e ferramentas para digitalização e automação dos sistemas de manufatura, Indústria 4.0 e *smart industry*.

Nosso livro está organizado em quatro unidades. Na primeira, vamos aprender sobre os elementos que definem um SIM. Vamos conhecer alguns conceitos básicos do SIM e, com isso, estabelecer um vocabulário comum que vai nos acompanhar ao longo de todo o livro. Na segunda unidade vamos aprender sobre a eliminação de desperdícios e como identificar os principais gargalos e restrições dos sistemas de manufatura. A terceira unidade vai apresentar os 10 passos para implementação de um SIM, desde as melhores formas de organizar a sequência e agrupamento das etapas de produção e redução de *setup* (ajuste para início de produção), passando pela integração de fornecedores e de funções como qualidade e manutenção, até chegarmos à automatização e informatização de processos. Finalmente, na unidade quatro, vamos nos aprofundar no papel da automatização e da informática no projeto, planejamento,

e monitoramento da performance assistidos por computador e suas interfaces com a atividade de projeto do produto. Nas últimas seções desta unidade vamos estudar o papel da Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) na integração de máquinas, processos e produtos, digitalização da informação na manufatura (*paperless manufacturing*), manufatura aditiva e Indústria 4.0.

Já deu para perceber que você vai estar exposto a uma grande quantidade de informação. Após absorver todo esse conteúdo, você será capaz de contribuir de forma muito significativa nos ambientes nos quais você estará inserido como futuro engenheiro. Mas, para isso, é muito importante você se dedicar à disciplina, lendo o livro, acompanhar as webaulas e realizar as demais atividades propostas, como responder às perguntas pré e pós-aulas e se aprofundar nos temas expostos através das referências bibliográficas recomendadas.

Fundamentos gerais de manufatura

Convite ao estudo

Caro aluno, o aumento de produtividade é um fator chave para melhorar a competitividade de uma empresa, possibilitando a produção de mais bens com bem menos recursos, simplesmente utilizando-os de forma mais inteligente. Por isso, é importante aprendermos a enxergar os elementos da manufatura que podem nos auxiliar no processo de planejamento e execução de um projeto de melhoria de produtividade. E é sobre os fundamentos gerais da manufatura que aprenderemos aqui, na primeira unidade de ensino da disciplina. O intuito é que, ao concluí-la, você saiba os principais conteúdos relacionados à manufatura (incluindo aqui os seus elementos), manufatura enxuta e formas de organização do chão de fábrica.

Para que você possa aplicar os conteúdos da unidade, vamos inseri-lo dentro de um contexto. Imaginemos que você é o gerente geral de uma das unidades de manufatura de uma grande empresa da área metalmeccânica. Após alguns anos trabalhando em uma das unidades consideradas modelo dentro do grupo, você foi transferido para uma nova unidade, onde recebeu um grande desafio. A unidade foi recém-adquirida, os padrões de operação são considerados pelo grupo como antiquados e o índice de produtividade e o de qualidade estão abaixo do esperado. Seu principal objetivo é adaptar a operação desta unidade e deixá-la de acordo com os padrões operacionais do grupo. Após discutir as melhores alternativas de ação com o CEO e algumas pessoas de sua confiança, nesta unidade, *você deve elaborar as três primeiras etapas de um plano de ação para reconhecimento da fábrica* e relatar suas primeiras impressões com relação aos elementos dos sistemas de

manufatura presentes. Na primeira etapa do plano, sua missão é identificar os principais elementos do sistema de manufatura. Na segunda, investigar as principais variáveis relacionadas ao tempo de produção e controle da produção, e na terceira, você deve descrever como está a organização do chão de fábrica e as principais oportunidades de otimização.

Em um contexto como esse, seria fácil você se perder em meio a tantas novas responsabilidades. Assim sendo, é importante refletir: por onde você iniciaria sua análise? Quais são os elementos normalmente presentes em uma operação de manufatura para os quais devemos olhar com maior atenção na busca por melhorar a produtividade e a qualidade?

Um olhar sistemático e atento pode representar a diferença entre uma resposta assertiva ou uma série de tentativas e erros em um contexto, como o apresentado. Podemos considerar esta primeira unidade como uma lente, a qual você pode utilizar para filtrar e organizar as informações que deve analisar inicialmente. Portanto, na Seção 1.1, vamos aprender quais são os principais elementos de um Sistema Integrado de Manufatura, como eles evoluíram ao longo do tempo e qual sua importância. Veremos na Seção 1.2 o que caracteriza uma operação fabril como um sistema de manufatura enxuta e quais são os limites de sua aplicação. Finalmente, a Seção 1.3 vai apresentar quais são os arranjos típicos de layout e transporte utilizados no chão de fábrica e ainda falar sobre a automação flexível. Bons estudos!

Seção 1.1

Introdução aos sistemas integrados de manufatura

Diálogo aberto

Caro aluno, as práticas gerenciais adotadas em uma empresa influenciam fortemente seu desempenho e capacidade de gerar lucro e, muitas vezes, podem ser melhoradas com a adoção de conceitos simples, como alguns dos que fazem parte do Sistema Toyota de Produção, e que vamos apresentar nesta seção. Conhecer esses conceitos será de grande importância para que você possa atuar na situação hipotética apresentada no *Convite ao estudo*. Portanto, volte neste tópico e relembre-o.

Leve em conta essa situação hipotética e imagine que, na semana anterior à sua mudança para a nova unidade, você tenha pedido informações sobre a empresa a um dos seus colegas que a conhece melhor. Eis a descrição: “Os principais produtos da companhia são dois modelos de conjuntos metálicos (um esquerdo e um direito) para a indústria automotiva. Cada conjunto é composto de um componente forjado a quente, e vários outros menores (estampados, fundidos, tubos), que no final, são montados em uma linha e constituem o produto final. A produção de todos os componentes e dos conjuntos montados é iniciada por ordens de produção enviadas pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP), separadamente, para cada processo. Os fornecedores de *blanks* metálicos e componentes fundidos ficam a aproximadamente 400 km de sua fábrica e fazem entregas quinzenais, no caso dos fundidos e, diariamente, a partir de um centro de distribuição – no caso dos *blanks*. Diariamente são feitas três operações de *setup* na prensa de forjamento. Essa prensa é o equipamento que limita nossa produção (recurso gargalo). Mesmo assim, o pessoal vive atrasando os *setups* desse equipamento por motivos simples, como não achar as ferramentas necessárias no momento da preparação. Durante os últimos inventários, vários componentes obsoletos foram encontrados em estoque e descartados, gerando prejuízo. Recentemente, a produção de um determinado produto foi interrompida duas vezes por não haver componentes em condição de uso. Apesar de haver componentes

em estoque, detectou-se, antes da montagem, que um componente tinha um defeito de qualidade e que todo o estoque dele estava na mesma condição. Isso quase parou a linha de produção de um dos nossos clientes. Falando neles, estamos sofrendo pressão para melhorar nossa qualidade e entregar produtos apenas no momento em que eles serão utilizados na linha dos clientes (você deve conhecer o sistema Just in Time). Porém, com o tempo que levamos para trocar as ferramentas de forjamento, não imaginamos como vamos conseguir isso.

Para realizar a primeira etapa de reconhecimento você deve descrever: que elementos de um sistema de manufatura é possível identificar para iniciar seu plano de melhoria. Para fazer um bom plano, é importante compreender os principais conceitos de um sistema de manufatura, sua importância e contribuição para melhoria da qualidade e produtividade e seus principais elementos.

Não pode faltar

Um SIM é composto por um conjunto organizado de máquinas, pessoas e informações, conectados de maneira coesa e com o objetivo de produzir bens ou serviços. A forma como esses elementos estão organizados tem profundo impacto na eficiência e eficácia com que esse sistema cumpre seus objetivos.

A configuração dos elementos que formam os SIM tem sofrido várias evoluções ao longo do tempo, não só no que diz respeito aos meios tangíveis que o compõe como, máquinas e equipamentos, mas também no que diz respeito a aspectos organizacionais, como procedimentos e habilidades exigidas dos profissionais de manufatura.

O século XVIII foi marcado pela primeira Revolução Industrial, caracterizada pela substituição da força muscular pela força mecânica e tendo como ícones as máquinas a vapor e os teares mecânicos. Também nessa época surgem as primeiras máquinas operatrizes capazes de usinar metais em escala industrial, cujo princípio de funcionamento, do ponto de vista mecânico, é similar ao das máquinas atuais.

No final do século XIX e início do século XX, a criação dos motores elétricos e a combustão, e a construção de ferrovias marcam o início da segunda Revolução Industrial. Do ponto de vista dos meios de produção, as primeiras máquinas operatrizes concebidas durante a

Revolução Industrial anterior possibilitam a construção de máquinas operatrizes maiores e de maior capacidade e os motores elétricos passam a substituir os motores a vapor como força motriz. Nessa época também surgiram grandes mecanismos de manipulação e transferência automática de produtos entre as várias etapas de produção, chamados de linhas *transfer*, e que podem ser considerados os primeiros passos da automação das linhas de produção. Como a sequência de produção nesse tipo de linha é fixa, esse modelo de automação é chamado de automação fixa, em oposição à automação flexível que surgiu posteriormente, durante a terceira Revolução Industrial. Do ponto de vista organizacional, os princípios da administração científica de Frederick Taylor impulsionaram a criação da linha de produção, na qual a especialização das estações de trabalho e movimentos dos operadores eram de suma importância. Do ponto de vista social, os grandes fluxos migratórios de pessoas da zona rural para as cidades marcaram a segunda Revolução Industrial.



Pesquise mais

Sugerimos que assista ao filme *Tempos modernos*, de Charles Chaplin. O filme faz uma crítica à segunda Revolução Industrial. Nas primeiras cenas, o personagem principal trabalha em uma fábrica, que aliás, retrata uma série de tecnologias que ainda não existiam na época, em que os princípios do Taylorismo são aplicados de forma obsessiva. O excesso de movimentos repetitivos e metas de produção crescentes leva o personagem a um colapso nervoso.

TEMPOS Modernos. Direção de Charlie Chaplin. Produção de Patrícia Santans. Intérpretes: Charlie Chaplin Paulette Goddard Henry Bergman Stanley Sandford Chester Conklin. Roteiro: Charlie Chaplin. Música: Deniss Gilbert. Estados Unidos: United Artists, 1936. (87 min.), Filme, P&B. Disponível em: <<https://vimeo.com/46815391>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

O fim da Segunda Guerra Mundial é apontado como o fim da segunda Revolução Industrial. Nessa época, os conceitos de administração científica, a linha de produção de Henry Ford e as Teorias de Qualidade e Produtividade e técnicas de amostragem de William E. Deming já haviam evoluído bastante. Utilizando esses conceitos, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo dão origem ao Sistema de Produção Toyota, que passa a ser chamado de *Lean Manufacturing*,

ou Manufatura Enxuta, a partir de 1990, quando Womack, Jones e Roos criam esse termo em seu livro *A máquina que mudou o mundo* (1990). A Manufatura Enxuta é um conceito de organização dos elementos da manufatura de forma a maximizar a eficiência dos processos, minimizar os desperdícios e concentrar os recursos em atividades que efetivamente gerem valor ao cliente.

A segunda metade do século XX dá origem à terceira Revolução Industrial, cuja principal característica foi o uso de computadores para controlar máquinas e integrar processos. Uma das grandes mudanças desse período foi a integração dos computadores às máquinas operatrizes e o surgimento dos primeiros robôs industriais. Surgem, então, a automação flexível, que permite alterar a sequência de produção rapidamente com baixo custo, por meio de robôs, linhas programáveis, técnicas de engenharia e manufatura auxiliadas por computador (sistemas CAD/CAM), além de sistemas de controle e programação da produção (ERP, MES, CAPP).

Em 2011, durante a feira de Hannover, foi cunhado o termo Indústria 4.0, referindo-se à quarta Revolução Industrial. Esse termo se refere a uma série de mudanças em curso na forma como as fábricas produzem bens, como trabalhamos e como nos comunicamos e nos relacionamos. O elemento marcante dessas alterações é a integração de tecnologias relacionadas a objetos (físico), informações (digital), e ao homem (biológico).



Refleta

Nos parágrafos anteriores você leu sobre alguns dos impactos gerados na sociedade pelas revoluções industriais e sobre a quarta Revolução Industrial que está sendo formatada atualmente. Que impactos as novas tecnologias podem causar na sociedade e nos conhecimentos que você deve ter ao longo de sua carreira?

O estudo da forma como a indústria tem evoluído e o advento de novas tecnologias e sua integração é de suma importância sob dois aspectos:

1. A adoção de novas tecnologias pode trazer um diferencial competitivo às empresas, possibilitando o aumento de produtividade e a produção de bens com maior valor agregado. Por exemplo, a integração entre tecnologias digitais desenvolvidas a partir da terceira Revolução Industrial e as máquinas operatrizes criadas na primeira

Revolução Industrial deram origem às máquinas de comandos numéricos. Se juntarmos a isso o advento das tecnologias CAD, podemos elaborar produtos com formas, precisão e velocidade impensáveis antes da adoção dessas tecnologias. Podemos também pensar na redução do ciclo de desenvolvimento de um novo produto ao longo do tempo. As tecnologias CAE/CAD/CAM e PLM, acrônimo para Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto, ou *Product Life-Cycle Management* no original em inglês, permitem que as etapas de teste e validação dos produtos sejam cada vez mais executadas no mundo virtual em oposição às etapas de construção de protótipos físicos. Isso diz respeito, não apenas aos testes de desempenho dos produtos, mas também aos testes de manufaturabilidade, arranjo de linha e tempos de produção.



Exemplificando

O uso de tecnologia CAD permite a criação de modelos paramétricos dos produtos que podem ser armazenados em sistemas PLM integrados aos fornecedores dos moldes de fabricação do componente e que utilizam tecnologias CAE para cálculos reológicos, aos fornecedores de protótipos, aos engenheiros de processo que fazem os projetos das linhas de montagem do componente, entre outras funções. Dessa forma, a equipe de projeto, fornecedores, clientes e consultores trabalham em um mesmo ambiente virtual com níveis de acesso definidos pelo gerente do projeto, facilitando o uso da engenharia simultânea sem a necessidade de envio de arquivos por outro meio. Posteriormente à fase de projeto, os mesmos arquivos CAD são disponibilizados à linha de produção pelos sistemas PLM e utilizados como referência para sistemas automatizados de inspeção ou como parte de instruções de trabalho. A integração das funções de projeto, manufatura e cadeia de suprimentos por sistemas PLM substitui a troca de arquivos em outros tipos de mídia que dificultam o controle de versões e distribuição, ocasionando constantes problemas de uso de versões indevidas.



Vocabulário

CAE: *Computer Aided Engineering* (Engenharia Auxiliada por Computador)

CAD: *Computer Aided Design* (Modelamento Auxiliado por Computador)

CAM: *Computer Aided Manufacturing* (Manufatura Auxiliada por

Computador)

ERP: *Enterprise Resource Planning* (Planejamento de Recursos da Empresa)

MES: *Manufacturing Execution System* (Sistemas de Execução de Manufatura)

CAPP: *Computer Aided Process Planning* (Planejamento Auxiliado por Computador)

PLM: *Product Lifecycle Management* (Gerenciamento da Vida do Produto)

2. No entanto, a adoção de novas tecnologias de forma indiscriminada ou mal planejada pode ser a causa de grandes frustrações em uma organização. Máquinas e sistemas automáticos dependem de componentes eletrônicos, linguagens de programação e profissionais especializados. Isso traz algumas preocupações que, se bem consideradas e trabalhadas, não vão passar de um item de verificação no seu mapa de desenvolvimento tecnológico. Por exemplo, componentes eletrônicos têm um ciclo de desenvolvimento muito rápido e, conseqüentemente, também se tornam obsoletos muito rapidamente, o que pode ser um verdadeiro pesadelo para as funções de manutenção de uma fábrica. A polivalência dos operadores também pode ser comprometida se no processo de evolução tecnológica não considerarmos as diferenças entre linguagens de programação e modos de operação específicos de cada fabricante de equipamentos em um parque fabril. Ainda há de se considerar os fluxos de informação que permitem a operação e a integração de funções em uma operação fabril. Voltando ao tempo que essas informações – desenhos, ordens de fabricação, condição operacional de máquinas, entre outras – eram transmitidas em meios físicos e não havia conexão de outra forma entre as funções que geravam a informação e as funções que executam as operações, não havia motivo para grandes preocupações a esse respeito. Com o advento de diferentes sistemas informatizados para coleta e transmissão dessas informações, surge a preocupação com a integração entre esses vários sistemas. A consideração equivocada da adoção e evolução de sistemas informatizados em um mapa de evolução tecnológica pode trazer sérias conseqüências a uma

operação, como aumento de custos de manutenção de softwares, erros constantes nas informações contábeis da empresa, perda de vendas por falta de disponibilidade de produtos, entre outros.

Acreditamos que já deu para começar a entender o que é um Sistema Integrado de Manufatura, não é mesmo? Então, vamos aprofundar nosso estudo um pouco mais e verificar quais são os seus elementos essenciais.

Chão de fábrica: as máquinas e meios de manipulação e transporte em uma unidade de manufatura podem ser posicionadas em diferentes arranjos físicos ou layout de produção, que podem ser escolhidos de acordo com fatores específicos de cada organização, como variação de produtos, quantidades, complexidade dos produtos, mão de obra, tecnologias e capital disponíveis, entre outros. O conjunto de máquinas e operações que executam os processos de fabricação formam o que normalmente se chama de chão de fábrica.

A quantidade de informação gerada no chão de fábrica pode se tornar grande e complexa no seu gerenciamento. Os sistemas chamados MES (*Manufacturing Execution System*, ou Sistemas de Execução de Engenharia) foram criados com o intuito de auxiliar nessa tarefa. Esses sistemas funcionam ao longo da produção coletando em tempo real os dados dos sistemas de supervisão das máquinas (SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition* – Sistema de Controle e Aquisição de Dados) como quantidade produzida, tempos de operação, refugo e outros, transformando-os em informações úteis para a análise e tomadas de decisão que envolvam a produtividade e qualidade das operações.

Fluxo contínuo de manufatura: um fluxo contínuo de manufatura é aquele em que não existe estoque intermediário entre as diversas estações de trabalho por onde o material passa para ser processado, em oposição a um processo discreto em lotes.

Estabelecer um fluxo contínuo de produção nem sempre é fácil, mas as vantagens são várias. Em um fluxo de produção discreto em lotes, o material tem que ser manuseado, contado, preservado, ou seja, é necessário gastar tempo e esforço realizando operações que não seriam necessárias se os produtos fossem simplesmente transferidos para a próxima operação. Além disso, sempre existe o risco de que a próxima operação detecte erros em operações anteriores e, no caso de um fluxo contínuo, a quantidade de defeitos produzidos até que

a primeira unidade defeituosa chegue à próxima estação de trabalho é potencialmente muito menor do que a quantidade de peças em processos que utilizam estoques intermediários. Além disso, o tempo em que a peça permanece em estoque pode ser muito maior do que o tempo em que a peça é efetivamente processada, tornando os tempos necessários para conclusão de um pedido de produção muito maiores do que aqueles necessários em fluxos de produção contínuos e flexíveis.

Contudo, sempre há pontos no processo de produção em que um fluxo contínuo não é possível de ser implementado, mesmo após a aplicação de muito esforço para eliminar as barreiras à sua integração aos fluxos contínuos. Algumas razões para a adoção de um fluxo discreto em vez de um fluxo contínuo podem ser: 1) Tecnologia: em uma fábrica com processos muito distintos em termos de tecnologia de manufatura, pode haver operações com tempos de ciclo muito diferentes; 2) Localização geográfica: para fornecedores distantes do local de entrega dos componentes pode ser inviável fazer a entrega unitária de componentes; 3) Processos pouco confiáveis: paradas para manutenção de equipamentos são inevitáveis e se tornam cada vez mais frequentes, demoradas e imprevisíveis com a idade e obsolescência da tecnologia do equipamento, tornando necessário planejar lotes de segurança para minimizar o impacto de paradas imprevistas. Além disso, por razões econômicas ou de limitação tecnológica, pode haver etapas do processo com nível de qualidade e produção de peças não conformes tal que peças adicionais devam ser produzidas para compensar possíveis refugos.

Controle integrado de estoque (Kanban): o sistema Kanban é um sistema visual formado por quadros e cartões que sinalizam aos processos fornecedores quando produzir (no caso de um Kanban de produção) um componente e em que quantidade ou quando uma peça deve ser transferida entre processos (Kanban de transferência).

Just in Time (JIT): produzir de acordo com o JIT significa produzir apenas a quantidade que o cliente ou processo seguinte solicitou. A produção em excesso gera estoque desnecessário, podendo esconder outras ineficiências do processo produtivo (por exemplo: processos com baixa confiabilidade, troca de ferramentas muito demoradas), comprometer o fluxo de caixa da empresa, gerar refugos (produtos não conformes às especificações ou sem

utilidade) devido à obsolescência de peças que ficam muito tempo em estoque, degradação devido a condições de armazenamento, comprometimento de espaço do chão de fábrica sem geração de valor, identificação tardia de defeitos, entre outros.

Redução ou eliminação do tempo de preparação (*Setup*): uma das barreiras à transformação de um processo discreto em lotes para um processo contínuo é o tempo de preparação necessário para que se troque as ferramentas necessárias à produção de um novo tipo de produto a ser fabricado em uma máquina ou linha de produção. O *setup* não agrega valor ao produto, porém, é uma atividade necessária que deve ser objeto de estudo para redução contínua do seu tempo de execução. No entanto, é importante observar que, os esforços para a redução de *setup* devem ser direcionados para os processos ou máquinas consideradas como gargalo de produção, aqueles que limitam a capacidade de entrega de produtos finais ao cliente.

Shingeo Shingo foi um engenheiro japonês que se mudou para os Estados Unidos na década de 1980 e ajudou a difundir o Sistema de Produção Toyota no ocidente. Uma das ferramentas propostas por Shingo é chamada de *Single Minute Exchange Die* – (SMED), geralmente traduzida como Troca Rápida de Ferramentas (TRF). Essa abordagem consiste em três passos: (1) separar o *setup* interno (aquele que só é possível de ser feito com o equipamento parado) do externo (aquele que pode ser feito com o equipamento em produção). Em seguida, devemos identificar as atividades que atualmente são feitas com o equipamento parado, mas poderiam ser preparadas com antecedência.

Na próxima vez que tiver oportunidade, observe o posicionamento dos mecânicos de Fórmula 1 aguardando o carro para a troca de pneus com todo o equipamento necessário em mãos e como todas as atividades de preparação possíveis são feitas antes do carro parar no box de manutenção. As atividades de preparação antes da chegada do carro ao box são chamadas de *setup* externo e aquelas feitas após a parada do carro são chamadas de *setup* interno. Por último, devemos otimizar as operações de *setup* interno para torná-las mais rápidas (dispositivos de fixação rápida, indexadores para posicionamento, padronização, uso de ferramentas pneumáticas, entre outros), e as de *setup* externos para reduzir os erros que comprometam a tarefa.

Controle da qualidade integrado (*Jidoka*): Jidoka é um conceito

da manufatura enxuta que permite a detecção de defeitos e informação imediata quando esses ocorrem, gerando oportunidade para impedir sua propagação.

Manufatura de montagem de modelos variados ou manufatura flexível: Ford escreveu em sua autobiografia: “o cliente pode ter o carro da cor que quiser, desde que seja preto” (ARAÚJO, 2016, [s.p.]). Desde então, as experiências vividas pelo consumidor e, conseqüentemente, as suas exigências, mudaram muito. Então, passamos a vivenciar a era da economia sob demanda, em que a diferenciação de produto é uma estratégia comercial cada vez mais importante. Isso cria uma complexidade a mais para os sistemas de manufatura: como encontrar o equilíbrio entre o excesso de estoque e disponibilidade imediata ou deixar de atender o cliente devido à falta de um produto ou devido ao tempo de espera estar muito além de sua expectativa? A chave para essa questão pode estar na manufatura com capacidade de montagem de modelos variados. Esse tipo de linha é capaz de produzir modelos diferentes de produtos em pequenos lotes, com baixo custo para a troca e modelos. Entretanto, a distribuição das tarefas entre as estações de trabalho de tal forma que, a quantidade de trabalho, destinada a cada estação tenha aproximadamente o mesmo tempo de duração, pode ser uma tarefa complexa. Por isso, essa atividade, que também é chamada de balanceamento de linha, tem sido objeto de vários estudos acadêmicos e diversos algoritmos têm sido desenvolvidos com o intuito de nos auxiliar a resolver esse problema.

Ao concluir esta seção, é importante que se faça um comentário sobre a aplicabilidade das técnicas e conceitos discutidos nesta seção do livro. É possível dividir as operações industriais com relação à sua estratégia de volume, diferenciação, custos e margem de contribuição. Dessa forma, temos de um lado, operações que formam sua estratégia competitiva baseada em grandes volumes, custos baixos, baixa diferenciação de produtos e pequenas margens de lucro (indústria petroquímica, algumas indústrias alimentícias, indústria de eletrodomésticos, brinquedos, automóveis populares) e, de outro lado, temos operações cuja estratégia é focada na produção de produtos sob encomenda e exclusivos, com baixo volume, altos custos e alta margem de contribuição (indústria aeronáutica, produção de satélites, indústria naval, uma fábrica de protótipos, ou ainda uma fábrica de automóveis de luxo). Entre esses dois extremos estão as empresas que têm sua estratégia focada em lotes repetitivos,

às quais Tubino (2015) se refere como estratégia de produção focada na diferenciação.

Algumas das técnicas e conceitos que apresentamos têm sua aplicação de forma muito mais coerente com as operações que não estão em nenhum dos dois extremos citados anteriormente.

Essa ressalva é importante para que, tal como um médico faz a prescrição de tratamentos diferentes após conhecer o problema do paciente e seu histórico, possamos propor medidas e projetos adequados a cada tipo de operação.



Assimile

Vamos, agora, tentar sistematizar de uma forma resumida os conceitos que estudamos nesta unidade:

Evolução dos Sistemas de Manufatura e seus elementos:

- Primeira Revolução Industrial
- Força muscular substituída pela máquina a vapor.
- Segunda Revolução Industrial.
- Aperfeiçoamento de máquinas.
- Taylorismo.
- Automação fixa.
- Terceira Revolução Industrial.
- Informática: introdução de comandos numéricos para controlar máquinas (CNC), CAD/CAM, gerenciamento do ciclo de vida do produto.
- Automação flexível: linha de montagem para modelos variados.
- Manufatura enxuta: Kanban, just in time, eliminação de desperdícios, troca rápida de ferramentas.
- Quarta Revolução Industrial.
- Em desenvolvimento.

- Integração entre máquina e objetos, internet, inteligência artificial, homem.
- Estratégias de manufatura.
- Estratégias focadas em altos volumes, baixo custo e baixa margem de contribuição.
- Estratégias focadas em diferenciação.
- Estratégia focada em produtos por encomenda.

Sem medo de errar

Vamos, agora, aplicar os seus conhecimentos adquiridos no item *Não pode faltar* desta seção. Lembrando: este é o momento de resolução da primeira etapa do *plano de ação para reconhecimento da fábrica*, apresentado no *Diálogo aberto*, relatando suas primeiras impressões com relação aos elementos dos sistemas de manufatura presentes. Então, vamos lá!

Podemos notar inicialmente que os componentes com ciclo de produção mais rápido são produzidos para estoque de acordo com a programação da produção. Os princípios da manufatura enxuta sugerem que esse tipo de produção deveria ser destinado a um estoque intermediário de peças e controlado por Kanbans de produção e transferência.

Nesse caso, a linha de montagem final funciona em um processo contínuo e retira os componentes de um estoque intermediário de componentes, enquanto as linhas de estamparia produzem apenas o necessário para abastecer o que foi retirado desse estoque. A integração entre o estoque intermediário, linha de montagem e a linha de estamparia ocorrem respectivamente via Kanban de retirada e Kanban de produção.

Dessa forma, produzimos apenas o que os processos de clientes necessitam. Assim, evitamos o excesso de estoque e a mobilização de recursos financeiros desnecessariamente, e minimizamos o risco de produção de grandes quantidades de produtos com defeitos, que possivelmente só seriam notados durante a próxima etapa do processo, ou de que produtos em estoque se tornem obsoletos por mudanças de especificação.

No entanto, quando a programação é feita individualmente, para cada processo, como no problema apresentado no *Diálogo aberto*, normalmente prioriza-se a utilização máxima de cada recurso para aumentar sua produtividade, não levando em consideração a necessidade dos processos seguintes, o que pode ocasionar elevados volumes de estoque desnecessariamente.

Além disso, ao chegar à fábrica, você deveria investigar o processo de troca de ferramentas de forjamento. A prensa de forjamento é o gargalo de produção, e representa a principal barreira à implementação do Just in Time. Portanto, devemos aplicar todos os esforços para aumentar a disponibilidade desse recurso, incluindo a redução do tempo de *setup*, aplicando técnicas de troca rápida de ferramentas. Por exemplo, a afirmação de que o pessoal vive atrasando os *setups* por não achar as ferramentas necessárias indica que as operações de *setup* externo poderiam ser otimizadas para evitar erros. Além disso, acordos com fornecedores com grande volume e impacto na produção, mas que ficam distantes, poderiam ser feitos para que esses mantenham um estoque de peças mais próximo ao cliente, entregando apenas as peças necessárias no momento da produção.

Resumindo, podemos relatar os principais elementos identificados no atual sistema de manufatura, incluindo um breve diagnóstico sobre eles.

• No chão de fábrica, podemos identificar como principais elementos tangíveis:

- Meios de produção, a prensa de forjamento e uma linha de montagem.

- Os estoques de produção.

Como elementos intangíveis podemos identificar:

- Fluxo de informação: programação da produção para os processos.

- Controle da qualidade.

- Procedimento de troca de ferramentas.

Agora, você deve revisar e detalhar as informações relativas a esse tópico, complementando-as com o conteúdo aprendido no item *Não pode faltar* e criar a primeira parte do seu plano de reconhecimento da operação a ser entregue com seu plano de ação para o CEO da empresa.

Avançando na prática

Precisamos de um plano de modernização

Descrição da situação-problema

Caro aluno, considere, agora, uma empresa que percebe a necessidade de modernizar suas operações de manufatura, desenvolvimento de processos e de produtos. Em sua última visita à fábrica, um grupo de acionistas principais ficou empolgado com a possibilidade de introdução de robôs na linha de montagem e uso de sistemas CAD mais modernos. Calcula-se que esse seja um projeto de cinco anos.

Que recomendações você daria ao grupo responsável pela elaboração do planejamento desse projeto com relação aos Sistemas Integrados de Manufatura? Qual seria um risco inerente ao processo de modernização dos sistemas de produção?

Resolução da situação-problema

Uma primeira recomendação importante é a elaboração de um mapa de tecnologias a serem aplicadas e desenvolvidas, identificando suas interfaces. Um dos riscos inerentes aos projetos de modernização de sistemas de produção diz respeito à compatibilidade entre novos sistemas e sistemas que não sofrem alterações. Também é necessário considerar a compatibilidade das novas tecnologias com os produtos sendo fabricados.

Por exemplo, é importante verificar se as peças produzidas atualmente têm condições de serem manuseadas, fixadas e posicionadas por um robô ou se é necessário alterar o produto e criar áreas específicas para fixação e indexação das peças. Também é importante investigar quais são as decisões e conhecimentos aplicados no dia a dia da produção, lembrando que muitas vezes elas não são devidamente documentadas (*tribal knowledge*), e quão flexíveis são os novos sistemas para lidar com esses fatores. Em muitos casos, é necessário considerar uma etapa no projeto para capturar e documentar adequadamente esse conhecimento ou ainda construir algoritmos para substituir as decisões tomadas pelos operadores.

Para concluir, ainda devemos acrescentar em nosso mapeamento quais são as ações para integrar, ou manter integrados

os sistemas CAD/CAM, MES, e outros sistemas eletrônicos da manufatura. Uma boa estratégia seria, inicialmente, introduzir as tecnologias identificadas no mapa de tecnologias por meio de projetos-piloto em estações de trabalho específicas antes de fazer o desdobramento para toda a organização.

Faça valer a pena

1. Durante um almoço com alguns colegas, um deles comenta que está estudando os conceitos da manufatura enxuta para posteriormente implementá-los na empresa em que trabalha. Sabendo que ele trabalha em um estaleiro que produz grandes navios e sondas petroleiras sob encomenda, um outro colega presente começa a explicar que os princípios da manufatura enxuta não são muito adequados para esse tipo de indústria. Um argumento correto para a segunda afirmação é o fato de que a manufatura enxuta é adequada para situações em que a estratégia da empresa seja focada em:

- a) Produção em massa de um mesmo produto com baixa diferenciação.
- b) Produção em massa de um único produto.
- c) Produção discreta, em lotes.
- d) Produção de produtos únicos com recursos dedicados enquanto durar o projeto.
- e) Produção de produtos únicos com recursos compartilhados.

2. A busca pela otimização de processos, assim como a eliminação de operações que não agregam valor ao produto do ponto de vista do cliente deve ser constante em uma operação de manufatura. Considerando que durante as operações de setup e troca de ferramentas, nenhum valor é agregado ao produto, esse tipo de operação deve ser reduzido o quanto possível.

Considerando que os recursos intelectuais de uma empresa também são finitos e que constantemente é necessário tomar decisões com relação a quais projetos de otimização devem ser tratados primeiro, os esforços para redução de setup e otimização de um meio de produção em uma fábrica devem ser dedicados às máquinas que:

- a) Produzem os produtos mais caros.
- b) Limitam a quantidade final de produtos produzidos.
- c) São mais lentas.
- d) Têm maior custo operacional.
- e) São mais novas.

3. O Sistema Integrado de Controle da Qualidade é um dos conceitos abrangidos pelos sistemas integrados de manufatura e que teve origem no trabalho e otimização desenvolvidos em uma das plantas da Toyota logo após à Segunda Guerra Mundial.

O objetivo principal dos sistemas integrados de controle da qualidade é:

- a) Impedir a propagação de erros.
- b) Reduzir o custo com inspeções.
- c) Diminuir o impacto negativo de uma falha do processo quando esta ocorre.
- d) Evitar a contaminação de produtos durante o processo de inspeção manual.
- e) Aumentar a velocidade de inspeção.

Seção 1.2

Manufatura enxuta

Diálogo aberto

Olá, aluno! O ambiente de uma fábrica pode ser bem complexo e difícil de entender. Podemos enxergar uma operação de manufatura como um conjunto de componentes sendo processados em diferentes locais, transportados de um lado para outro, estoques, pessoas carregando, ordens de produção e assim por diante. Enxergar as operações que realmente agregam valor ao produto é uma tarefa importante e muitas vezes negligenciada nas empresas.

Vamos abordar, na Seção 1.2, alguns tópicos que nos ajudam a desenvolver uma percepção do sistema de manufatura voltada para a geração de valor do ponto de vista do cliente. Com esse intuito, volte ao nosso contexto de aprendizagem apresentado no *Convite ao estudo*, para que você possa aplicar os conteúdos que serão apresentados adiante, desenvolvendo a segunda etapa do seu plano de ação. Nele, consideremos que você já está instalado em sua nova unidade e que vai até o chão de fábrica percorrer a linha de produção de um dos produtos da empresa, chamado de suporte K (vamos chamá-lo de SK). A demanda semanal do cliente para esse componente é de 300 unidades e a frequência de produção é de uma vez por mês, sendo que cada produção leva aproximadamente 39 horas. A manufatura desse produto é realizada em três etapas de montagem, durante as quais são agregados os componentes forjados na mesma planta e outros comprados de fornecedores. Imagine que você tem experiência em Mapeamento do Fluxo de Valor e, por isso, iniciamos nosso tour pela expedição de produtos, verificando o fluxo do ponto de vista do cliente. Na expedição, verificamos que existem 2.500 unidades do SK em estoque. Na estação seguinte, que é a montagem final, verificamos que o operador é informado sobre o que ele deve produzir, em que momento e em que quantidade por uma ordem de produção impressa, e que, logo em seguida, ele busca os componentes em um estoque de semiacabados. O modo de funcionamento das duas estações de montagem posteriores é o mesmo.

Após fazer algumas perguntas e coletar dados sobre tempos de manufatura, descritos na Tabela 1.1, voltamos ao escritório para fazer algumas análises.

Tabela 1.1 | Dados sobre os tempos de manufatura

Operação	Pré- montagem 1	Pré- montagem 2	Montagem final	Inspeção
	Tempo em segundos (s)			
Caminhar até o local da embalagem	20	30	20	12
Pegar e posicionar peças	10	40	20	-
Montar	20	80	13	-
Inspecionar	-	-	-	16
Armazenar peças no local da embalagem	7	30	7	12
Total	57	180	60	40

Forjamento = 130 s; soma dos totais = 337 s.

Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando as informações coletadas, podemos afirmar que a produção do SK é uma produção puxada? Qual é o *takt time* requerido, o *lead time* e os tempos de ciclo? Como otimizar o processo de montagem para fazer produções semanais?

Para resolver essas questões, você deve compreender o conceito de mapeamento do fluxo de valor, que pode nos ajudar a enxergar como deveria ser o fluxo de valor do sistema de manufatura, de forma que os benefícios da manufatura enxuta sejam alcançados. Também é importante conhecer algumas variáveis utilizadas na análise do mapa de fluxo de valor para descrever o tempo de manufatura de um produto: o tempo de ciclo, *takt time* e *lead time* de produção.

Não pode faltar

Conforme vimos, os conceitos da manufatura enxuta foram criados no Japão logo após o final da Segunda Guerra Mundial, mais especificamente em uma unidade da Toyota. A sistematização desses conceitos é atribuída a Taiichi Ohno (1912-1990), engenheiro que iniciou sua carreira em uma tecelagem (Toyoda Boshoku), onde chegou a gerente de fábrica e, mais tarde, foi transferido para uma das unidades de automóveis da Toyota. É interessante notarmos a diferença entre os dois nomes, Toyoda e Toyota: não se trata de um erro de grafia: Toyoda é o nome da família que iniciou a indústria

Toyoda Boshoku, cuja marca foi alterada posteriormente para Toyota.

Na Toyoda Boshoku, Ohno conduziu atividades de Benchmarking (ou comparação) envolvendo vários fabricantes do mesmo ramo em busca de melhores práticas de manufatura. Quando deixou o ramo têxtil, a Toyoda Boshoku havia atingido um nível de excelência no qual era difícil achar pontos de melhoria de produtividade. Porém, ao chegar na unidade de fabricação de automóveis, em que ajudou no esforço de reconstrução da indústria automotiva após o fim da Segunda Guerra, Ohno percebeu que poderia aumentar de três a cinco vezes a produtividade aplicando os conceitos desenvolvidos na indústria têxtil.

Assim, os principais conceitos da manufatura enxuta, que haviam surgido na indústria têxtil, passaram a ser aplicados e melhor desenvolvidos na indústria automotiva como uma resposta a uma restrição de mercado daquela época: havia uma grande variedade de modelos disponíveis, e um mercado de pequenas dimensões e baixo volume. Dessa forma, Taiichi Ohno percebeu que seria arriscado copiar o modelo de manufatura criado por Ford, que era o modelo de referência.

O caminho encontrado por Ohno foi maximizar o valor agregado por recurso disponível, fazendo com que o tempo de valor agregado (tempo no qual o produto sofre efetivamente alguma modificação) seja o mais próximo possível do tempo de ciclo (tempo total de uma operação). E é desse conceito que surge a base do que mais tarde se tornou no Sistema Toyota de Produção (STP), do qual fazem parte a manufatura enxuta e o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV).

O MFV é uma ferramenta de planejamento e comunicação gráfica, utilizada para mostrar o estado atual do fluxo de materiais e informações em um sistema de manufatura e como ele deveria ser, após a aplicação dos conceitos de manufatura enxuta. Agregar valor, nesse contexto, significa produzir algo pelo qual o cliente esteja disposto a pagar e qualquer atividade que não produza uma transformação no produto, relacionada às características solicitadas pelo ele, é considerada desperdício, e deve ser eliminada ou diminuída ao máximo. Portanto, é importante conhecer o cliente do fluxo de valor e identificar suas necessidades. Note também que esta seção trata especificamente do MFV do processo de transformação de um produto, embora o conceito possa ser facilmente estendido a

processos de prestação de serviço ou processos de desenvolvimento de produto.

O MFV é diferente de uma simples representação do layout de um processo ou suas operações individuais. Por meio da representação do fluxo de valor podemos enxergar a relação entre os diversos processos e informações, tempos de processamento, distâncias percorridas e quantidades de estoque.

Segundo Rother e Shook (2013), o MFV é a base para implementação da manufatura enxuta. Comparando o projeto de construção de uma casa e a implementação da manufatura enxuta em uma fábrica, o mapa de fluxo de valor seria equivalente à planta da casa. Tentar pular essa etapa e partir diretamente para a caça às fontes de desperdícios pode ser frustrante por resultar em iniciativas isoladas, sem considerar o sistema de manufatura como um todo e, conseqüentemente, não gerar reduções de custo ou aumento da satisfação do cliente.

O MFV atual descreve o fluxo de valor o qual estamos analisando. Ao descrever o MFV atual é importante irmos até o chão de fábrica e percorrermos o processo de transformação do produto da porta de saída do produto final até o ponto de entrada de matérias-primas, ou ainda, estendê-lo aos fornecedores. A ordem (da expedição para recebimento) é importante para podermos enxergar o fluxo do ponto de vista do cliente. Também é importante descrever o MFV atual de forma fiel às suas observações, mesmo que encontre desvios em relação à forma como os processos foram planejados e documentados.

Ao analisar o MFV atual devemos identificar os desperdícios e, então, construir o MFV futuro, eliminando ou reduzindo-os ao máximo. Durante essa atividade, temos que ter em mente o conceito de melhoria contínua. Pode ser que o MFV desenhado ainda não seja o ideal, e é importante ter em mente que devemos trabalhar de forma a melhorá-lo continuamente.

Um papel muitas vezes subestimado em projetos de revisão de fluxos de valor é o do Gerente do Fluxo de Valor, também chamado de engenheiro-chefe na Toyota. Essa função geralmente não conta com uma equipe subordinada a ele, mas trata as demais funções envolvidas como importantes fornecedores do fluxo de valor. Sua principal responsabilidade é assegurar o desempenho do fluxo de valor como um todo, utilizando os princípios da manufatura enxuta, caracterizada

por três resultados importantes, sendo eles: (1) Just in Time (JIT): produtos ou componentes na quantidade e momento em que o cliente precisa e com o menor *lead time* (tempo entre o recebimento de um pedido e entrega do produto) possível; (2) Qualidade: produtos em conformidade com a especificação e expectativa do cliente; (3) Baixo custo: custo mais baixo se comparado à produção em massa (lotes “empurrados” em oposição aos lotes “puxados”).

Em uma manufatura enxuta, esses três resultados são alcançados principalmente devido a um fluxo contínuo de produção, com o mínimo de estoques intermediários, e com capacidade de reagir a alterações de demanda e *mix* de produção de maneira ágil. O fluxo de produção contínuo ajuda a evidenciar as principais ineficiências ou desperdícios dos sistemas de manufatura: os estoques excessivos, defeitos, espera, transporte, movimentação, processos inapropriados e sobreprocessamento. Em fluxo de peças unitário, a rápida identificação e contenção de qualquer produto não conforme é muito mais provável do que na produção em grandes lotes.



Exemplificando

Vamos considerar uma empresa que fabrique os produtos A, B, C, D, E, dedicando um dia da semana para a produção de cada produto. Para garantir a sua disponibilidade, é necessário ter no mínimo o equivalente ao consumo de uma semana de cada produto em estoque. Como geralmente não é possível prever exatamente o quanto de cada produto será vendido no futuro, é normal utilizar um fator de segurança e produzir um pouco mais. Como pode ser que alguns desses produtos tenham defeito, aumenta-se mais um pouquinho o fator de segurança. Qual é o problema com esse cenário? Os produtos estão no estoque e eventualmente serão vendidos e transformados em recursos financeiros, não é mesmo? Porém, vamos supor que um cliente reclame do produto A, pois ele recebeu uma unidade desse produto de um lote fabricado há duas semanas que não funciona adequadamente. O componente defeituoso é utilizado também nos produtos B e C. Agora, temos, pelo menos, a quantidade de duas semanas de produção de A, B e C com possibilidade de defeito.

Agora, vamos, supor que o lote semanal do produto A acabou de ser produzido e um cliente informa que gostaria de comprar algumas unidades, mas com uma pequena customização. Sabendo que

customizações custam caro, ele está disposto a pagar por ela, desde que seja possível atender seu pedido em menos de uma semana. Agora, temos que decidir entre ganhar esse pedido com margem de lucro acima do normal ou deixar os clientes dos outros produtos esperando.

Ou ainda, o mercado pode ter uma retração repentina e as vendas diminuirão drasticamente. Como uma parte dos recursos financeiros imobilizados está na forma de estoque, a capacidade de reação e investimento em novos produtos ou diferenciação dos produtos atuais ficam comprometidas. Assim, a capacidade de reação ao cenário externo é prejudicada.

No caso acima, o excesso de estoque poderia ter prejudicado a empresa em cada uma das três situações hipotéticas.

A ferramenta da manufatura enxuta para identificar e evidenciar rapidamente defeitos gerados no processo produtivo é a Automação Inteligente, ou *Jidoka* como usado originalmente no STP, ou ainda Autonomia. Esse termo se refere a sistemas capazes de sinalizar ao operador ou ao seu líder que alguma coisa no processo não está funcionando conforme planejado. Assim, no momento em que a falha ocorrer dará a ele a opção de intervir no processo. Taiichi Ohno criou essa técnica observando como os teares automáticos desenvolvidos por ele eram utilizados. Durante o processo, o rompimento dos fios produzia defeitos no tecido, que só eram identificados após o final da operação, quando grande quantidade de tecido já havia sido produzida. A única forma de evitar o problema era mobilizando operadores para tomar conta da produção dos teares automáticos. Ohno enxergou nisso um paradoxo: os teares eram automáticos, mas exigiam um operador para cada tear que, embora não precisasse operá-lo, tinha que ser mobilizado para inspecionar o processo. Assim, foi elaborado um sistema que detectava automaticamente o rompimento dos fios, eliminando a necessidade de um inspetor para cada tear, possibilitando a um único operador tomar conta de vários teares ao mesmo tempo.



Refleta

As técnicas e conceitos da manufatura enxuta foram difundidas a partir de seu uso na indústria automotiva, na qual encontramos alto grau de complexidade das operações e gestão da manufatura. Você consegue identificar as vantagens da aplicação da manufatura enxuta também em pequenas e médias empresas?

Assim, fica claro que em um sistema de manufatura enxuta, os problemas devem ser evidenciados, sendo normal e desejável, que causem desconforto. Portanto, é importante desenvolver a cultura de interromper a produção para resolvê-los, em vez de deixar que eles se alastrem. Ao contrário, em um ambiente de produção em grandes lotes, é fácil encobrir os problemas de qualidade, processo e design. Em um sistema em que os problemas são encobertos pelo excesso de produção, é normal encontrar as pessoas sempre ocupadas demais para investigar a causa raiz dos problemas, combatendo apenas os seus sintomas mais facilmente visíveis.

O programa 5S é outra ferramenta importante na identificação de ineficiências no processo. O programa 5S normalmente é associados aos três "S" mais aparentes, descarte, organização e limpeza, e acabam sendo difundidos como iniciativas temporárias e mutirões de organização feitos com muito alarde e divulgação. Porém, a filosofia 5S trata de uma mudança de comportamento. Uma mente treinada de acordo com os princípios do 5S (incluindo os dois "S" muitas vezes deixado de lado: a padronização e a disciplina) naturalmente vai procurar situações que fogem da normalidade e que atrapalham o funcionamento suave de um fluxo de produção enxuto. A implementação de um programa de 5S deve ter o propósito de auxiliar na criação de um modelo mental atento à identificação e eliminação de desperdícios e na manutenção da estabilidade do sistema de manufatura.



Pesquise mais

O modelo mental presente na concepção do sistema de manufatura enxuto está enraizado no modelo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). A forma utilizada pela Toyota para aplicar esse conceito é apresentada no livro

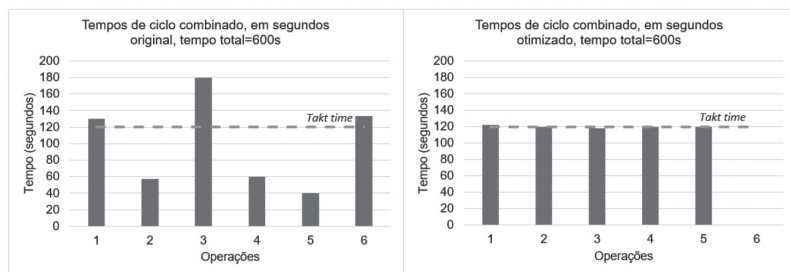
Entendendo o pensamento A3: um componente crítico do PDCA da Toyota, cuja leitura pode ser muito útil para você. O livro está disponível em sua biblioteca virtual. Portanto, aprofunde a sua leitura acessando-o!

SOBEK II, DURWARD K.; SMALLEY, Art. **Entendendo o pensamento A3: um componente crítico do PDCA da Toyota.** Porto Alegre: Bookman, 2015. 192 p.

Trabalhar com lotes reduzidos e JIT pode ser perigoso se o processo não for previsível e estável, pois todo o balanceamento da linha de produção parte do pressuposto de um determinado tempo de disponibilidade do processo para o cálculo do *takt time* (tempo disponível para produção dividido pelo número de peças a produzir). No caso da Figura 1.1, por exemplo, se dois dos cinco processos resultantes tiverem apenas 90% de disponibilidade, o tempo total disponível deixa de ser de 600 segundos e passa a ser apenas 486 segundos!

$(600 \text{ segundos} \times 0,9 \times 0,9 = 486 \text{ segundos})$.

Figura 1.1 | Tempos de ciclo combinados, antes e depois da otimização



Fonte: elaborada pelo autor.

Portanto, é importante garantir que o processo seja robusto o suficiente para absorver as variações inevitáveis dos 6M's do diagrama de Ishikawa (Máquinas, Métodos, Mão de Obra, Materiais, Meio Ambiente e Medidas), causadas por variáveis influenciáveis ou não pela organização.



Exemplificando

Takt time (TT): o *takt time* é o tempo disponível para a produção de um produto dividido pela sua demanda nesse período. Por exemplo, se

um cliente consome 450 produtos por semana e o tempo disponível para produção desse tipo de produto é de 5 horas por dia (18.000 segundos), o *takt time* é de 40 segundos: $TT = \frac{18000 \text{ segundos}}{450 \text{ produtos}} = 40 \frac{\text{segundos}}{\text{produto}}$.

Tempo de ciclo (TC): o tempo de ciclo é o tempo necessário para completar uma tarefa. Por exemplo, o tempo de ciclo combinado de uma operação é de 55 segundos, sendo 20 segundos o tempo de ciclo da máquina, e 15 segundos para descarregamento e 20 segundos de fixação de um novo componente para início do próximo ciclo.

Tempo de valor agregado (TVA): o tempo de ciclo pode compreender o tempo em que o produto é realmente processado (por exemplo, o tempo entre o início e fim de uma operação de usinagem) e tempos de preparação (fixação da peça no torno), caminhada do operador para pegar a peça, e outras atividades que não agregam valor ao produto apesar de fazer parte do seu processo de produção. Na Tabela 1.1 por exemplo: a operação de pré-montagem 1 leva apenas 20 segundos, que é o TVA, contra um TC de 57 segundos.

Lead time (LT): tipicamente, o lead time é descrito como o tempo entre o recebimento de um pedido do cliente e o tempo em que ele recebe o produto. Por exemplo, se você compra um livro pela internet, e o tempo entre você terminar o pedido e receber o produto é de 3 dias, o LT foi de 3 dias. Alguns autores, como Lima e Bachega (2010), também definem o lead time como o tempo necessário para o material percorrer seu caminho crítico de manufatura desde o momento da criação de sua ordem até a entrega da primeira unidade ao cliente. Essa definição reforça o conceito de que o aumento de estoque estende o lead time e não o diminui.

Por exemplo, a variação de demanda ao longo do tempo é uma causa de variação da carga de trabalho e, sobre a variação da demanda, a organização não tem influência. Já a disponibilidade e a confiabilidade dos processos são influenciáveis por medidas como a manutenção adequada dos equipamentos. O tempo de ciclo de um processo é outra variável que, em muitos casos, pode ser controlada pela organização por meio do trabalho padronizado, principalmente em operações manuais. As causas de variação influenciáveis devem ser eliminadas e não absorvidas. Alguns tipos de variação não controláveis podem ser ao menos isolados. A formação de células de manufatura e famílias de produto divididas de acordo com a

geometria, complexidade, demanda e tempo de processamento similares pode ajudar a isolar alguns tipos de variação vindas de exigências de mercado.

Como queremos manter um ritmo de produção o mais estável possível, sincronização é uma palavra-chave para a manufatura enxuta: é necessário realizar o balanceamento da linha de produção, ou seja, garantir que a linha de produção trabalhe em sincronia com o *takt time* determinado. O projeto do processo deve levar em conta que o *takt time* e o tempo de ciclo das operações devam ser o mais próximo possível.

No exemplo da Figura 1.1, o tempo de ciclo total para o processamento de um produto é de 600 segundos (soma do tempo de ciclo das operações de 1 a 6) e, originalmente, era dividido em seis operações com um *takt time* de 120 segundos.

Para criar um fluxo contínuo de produção em que todas as operações trabalhem no mesmo ritmo ditado pela demanda do cliente, dividimos o tempo de ciclo total pelo *takt time*, chegando ao número de operações ideal (NO) e que deve ser considerado no projeto do processo enxuto: 5 operações de 120 segundos:

$$NO = \frac{600 \text{ segundos}}{120 \frac{\text{segundos}}{\text{operação}}} = 5$$

Como estamos falando em estabilidade e previsibilidade do processo, é bom lembrar que não há como atingir estabilidade sem padronização. A manufatura enxuta preconiza a chamada “burocracia habilitadora”, na qual os padrões não devem ser estanques, mas servem como base para a melhoria contínua e para desenvolver o conhecimento e habilidade do operador. Uma vez estabelecido o método inicial de trabalho e uma certa estabilidade, os operadores são desafiados a desenvolver métodos mais eficientes de trabalho. Note que os operadores não são livres para adotar o método de trabalho escolhido por eles, mas podem propor novos métodos de trabalho que, se aprovados, passam a ser o novo padrão.

Com a linha balanceada e as instabilidades eliminadas ou isoladas, é possível investir esforços para aumentar a frequência na qual se produz cada tipo de produto, cada vez em lotes menores e, com isso, reduzindo o lead time de produção. Por exemplo, em vez de reservar um dia da semana para cada tipo de produto, nosso objetivo deveria

ser produzir todos os produtos todos os dias. Logo em seguida, deveríamos nos desafiar a produzir todos os produtos a cada turno, e assim por diante.

A implementação desses conceitos permite uma programação da produção de maneira muito mais simples, direcionada apenas para um dos processos do sistema de produção. O processo para o qual a programação é enviada é considerado o processo puxador, ou aquele que dita o ritmo de produção. Todo o fluxo de produção anterior a ele é puxado pelo uso de Kanbans de produção ou de retirada dos supermercados, em que o fluxo contínuo não for possível. O processo posterior ao processo puxador deve fluir continuamente, sem nenhum tipo de estoque intermediário. Esse tipo de programação é chamado de “programação puxada”.

Você deve se lembrar que o *Diálogo aberto* da seção anterior afirma existir bastante espaço para aumento de eficiência e competitividade das empresas por meio do uso de técnicas simples de gerenciamento, assim, podemos estabelecer uma conexão entre essa afirmação e o estudo da manufatura enxuta, em que pudemos aprender uma série de conceitos tão eficazes quanto simples e que, sem dúvida, podem contribuir significativamente na melhoria dos resultados de um sistema de manufatura.



Assimile

Vamos, agora, tentar resumir os principais conceitos da manufatura enxuta:

Mapa de fluxo de valor: forma gráfica de representar o fluxo de material e informações de um processo; **Just in Time:** produção apenas das quantidades necessárias no momento solicitado pelo cliente; **Jidoka:** sistema de detecção automático de defeitos; **5S:** ferramenta utilizada para desenvolver o hábito de observar e respeitar regras que auxiliam na eliminação de desperdícios; **Programação puxada:** programação da produção enviada para um único ponto do processo (processo puxador) baseada nas necessidades do cliente; **Kanban:** sistema de cartões para autorizar a produção ou transferência de um produto; **Balanceamento da produção:** técnica para distribuir as etapas de fabricação de um produto de forma a deixar o *takt time* o mais próximo possível do tempo de ciclo; **Fluxo contínuo de produção:** produção organizada de forma que não haja lotes intermediários entre as etapas do processo. Também referido como fluxo em lotes unitários ou *one-piece-flow*; **Trabalho**

padronizado: padrão de trabalho estabelecido como melhor prática identificada até o momento. Não deve ser “congelado”, mas servir como base para a melhoria contínua.

Sem medo de errar

Caro aluno, criamos um problema desafiador, como muitos outros que você vai enfrentar futuramente: aplicar o conteúdo da unidade desenvolvendo um plano de ação para reconhecimento da fábrica em que trabalha e relatar suas primeiras impressões. Na seção anterior, desenvolvemos a primeira etapa, relacionada à identificação dos elementos de manufatura. Agora, chegou a hora de você identificar os tempos de processamento e oportunidades de otimização do fluxo de valor, em que pontos devem ser ressaltados. Vamos a eles.

Com relação ao primeiro questionamento, *Podemos afirmar que a produção do suporte SK é uma produção puxada?* Considerando que a programação é feita para cada posto de trabalho, não se trata de uma produção puxada. Como vimos anteriormente, esse tipo de produção é uma programação da produção enviada para um único ponto do processo (processo puxador).

Quanto ao segundo, *qual é o takt time requerido, o lead time e os tempos de ciclo?* O *takt time* é o ritmo de demanda do cliente e, como vimos no tópico *Não pode faltar*, é obtido dividindo-se o tempo disponível para produção pela quantidade de produtos necessária no mesmo período.

Vamos resumir os dados importantes e passar para unidades convenientes para facilitar nossa resolução:

- Tempo disponível: 39 horas/mês, ou 140.400 segundos/mês;
- Demanda: 300 unidades/semana, que equivale a 1.200 unidades por mês.

$$\text{O takt time é de: } TT = \frac{140.400 \frac{\text{segundos}}{\text{mês}}}{1200 \frac{\text{unidades}}{\text{mês}}} = 117 \frac{\text{segundos}}{\text{unidade}}$$

Os tempos de ciclo de cada operação podem ser extraídos diretamente da Tabela 1.1: 57 segundos para pré-montagem 1, 180 segundos para a pré-montagem 2, 60 segundos para a montagem final, 40 segundos para a inspeção e 130 segundos para o forjamento.

O lead time, ou tempo para a peça percorrer todo o processo, é a soma de todos os tempos: 467 segundos.

Tabela 1.1 | Dados sobre os tempos de manufatura

Operação	Pré- montagem 1	Pré- montagem 2	Montagem final	Inspeção
	Tempo em segundos (s)			
Caminhar até o local da embalagem	20	<u>30</u>	<u>20</u>	<u>12</u>
Pegar e posicionar peças	10	40	20	-
Montar	20	80	13	-
Inspeccionar	-	-	-	16
Armazenar peças no local da embalagem	<u>2</u>	<u>30</u>	<u>2</u>	<u>12</u>
Total	57	180	60	40

*Forjamento = 130 s; total = 467 s.

Fonte: elaborada pelo autor.

Com relação ao terceiro ponto, como *podemos otimizar o processo de montagem para fazer produções semanais?* – Podemos perceber pela Tabela 1.1 que apenas as operações de forjamento e pré-montagem 2 estão acima do *takt time*. Como as demais operações de montagem têm tempo de ciclo muito menor que o *takt time*, podemos reorganizar as operações de montagem deixando os tempos de ciclo mais próximos do *takt time*.

Para calcular o lead time otimizado (LTo), em linha com fluxo contínuo e sem estoques intermediários, vamos eliminar do cálculo os tempos correspondentes a caminhar até a embalagem de peças das operações de pré-montagem 2, montagem final e inspeção e o tempo de armazenar peças na embalagem depois das operações de montagem (esses valores estão sublinhados na Tabela 1.1) e somar apenas os valores em negrito.

$$LT_o = 20 + 10 + 20 + 40 + 80 + 20 + 13 + 16 = 219 \text{ segundos}$$

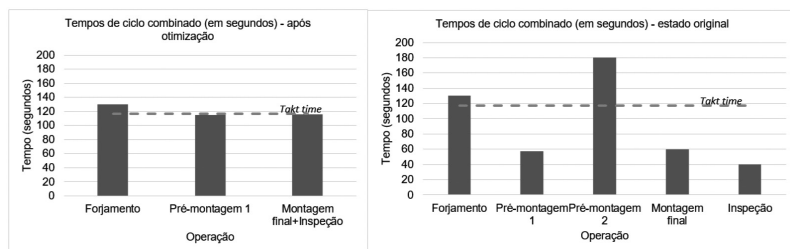
Dividindo esse valor pelo *takt time* obtido anteriormente (117 segundos), temos o número ideal de operações (NO):

$$NO = \frac{219 \text{ segundos}}{117 \text{ segundos}} = 1,8$$

Como não podemos ter números fracionários de operações, arredondamos para 2 operações. Portanto, podemos reorganizar o processo em uma linha contínua formada por dois postos de trabalho e dois operadores (em vez de quatro, como originalmente), cada um executando tarefas cuja soma esteja próxima de 117 segundos

e fazendo uma produção por semana, como solicitado. Na Figura 1.2 podemos ver a comparação do nivelamento de recursos antes e depois da otimização.

Figura 1.2 | Tempos de ciclo combinado antes e após o balanceamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Nosso processo é tão caótico que não conseguimos melhorar!

Descrição da situação-problema

Uma empresa metalúrgica fornece diferentes tipos de peças estruturais para a indústria naval (baixos volumes e alta variedade de modelos), automotiva (altos volumes e baixa variedade de modelos) e agrícola (volumes intermediários e pouca variação de modelos). Os recursos são divididos por departamentos como corte de chapa, prensas, soldagem, usinagem e acabamento. Dentro de cada departamento os recursos são compartilhados para todos os tipos de produto, independentemente da complexidade, volume ou tempo de processamento.

Um sistema foi estabelecido para garantir a ordem de entrada e processamento dos pedidos. Porém, como constantemente existem pedidos em atraso, a fila de produção é desrespeitada criando uma situação caótica. A empresa tem feito várias tentativas de reduzir o lead time, mas os gargalos de produção parecem estar sempre se movendo, impossibilitando qualquer esforço nesse sentido. O resultado são medidas de melhoria locais e isoladas, que acabam não refletindo na eficiência global da empresa.

Que medidas deveriam ser tomadas inicialmente para otimizar os processos dessa empresa e diminuir o lead time?

Resolução da situação-problema

Um dos problemas que se destaca nessa situação é a instabilidade que está relacionada a volumes e variedade de produtos. Como esse é um tipo de variação imposta pelo mercado (causa externa), a única alternativa é isolar a variação (ou retirar alguns de seus produtos do portfólio da empresa). Portanto, deveríamos iniciar nosso trabalho separando os produtos por tipos de máquina e tempos de processamento necessários formando famílias de produtos, cada uma com um fluxo de valor específico. Na medida do possível, o chão de fábrica deveria estar organizado por células de trabalho para cada tipo de fluxo de valor estabelecido e com os recursos de cada célula o mais próximo possível entre si.

Dessa forma, conseguimos estabelecer fluxos de produção padronizados, um padrão de tempo e número de operadores para cada tipo de fluxo. Esses padrões devem servir como ponto de partida para os esforços de melhoria contínua e redução do lead time.

Faça valer a pena

1. A estabilidade de processos é um dos elementos básicos para a implementação de um sistema de manufatura enxuto.

Qual das alternativas a seguir melhor justifica a relação entre manufatura enxuta e estabilidade de processos?

- a) Lotes menores fazem os processos serem mais estáveis.
- b) Lotes grandes dificultam a identificação de processos instáveis e outras ineficiências que são expostas pela manufatura enxuta.
- c) A implementação da manufatura enxuta deve iniciar após a estabilização de todos os processos.
- d) Os esforços de estabilização de processos devem ser dirigidos a todos os processos de uma vez.
- e) Uma vez estabilizado, o processo deve ser documentado e não deve mais ser alterado.

2. Uma empresa de aparelhos de refrigeração consome aproximadamente 400 compressores de três modelos diferentes por semana. O fabricante do compressor dispõe de 20h por semana para a montagem final dos equipamentos. No fabricante do compressor, os componentes são armazenados em um supermercado de componentes e a operação final de montagem é realizada todos os dias conforme os pedidos recebidos no dia anterior. Os pedidos são recebidos no final da tarde e os produtos expedidos até o final do próximo dia.

Qual é o takt time e lead time de produção?

- a) Takt time = 180 segundos; lead time = 1 dia.
- b) Takt time = 90 segundos; lead time = 1 semana.
- c) Takt time = 200 segundos; lead time = 90 segundos.
- d) Takt time = 1 dia; lead time = 90 segundos.
- e) Takt time = 20 segundos; lead time = 1 dia.

3. Em um sistema de manufatura enxuta, três variáveis de tempo são importantes critérios para o projeto dos processos de fabricação: o *takt time* (TT), o tempo de ciclo (TC) e o tempo de valor agregado (TVA).

Em um fluxo contínuo de produção, a relação entre essas três variáveis deveria ser:

- a) $TT \leq TC \leq TVA$.
- b) $TVA \leq TT \leq TC$.
- c) $TC \leq TT \leq TVA$.
- d) $TT \leq TVA \leq TC$.
- e) $TVA \leq TC \leq TT$.

Seção 1.3

Organização do chão de fábrica

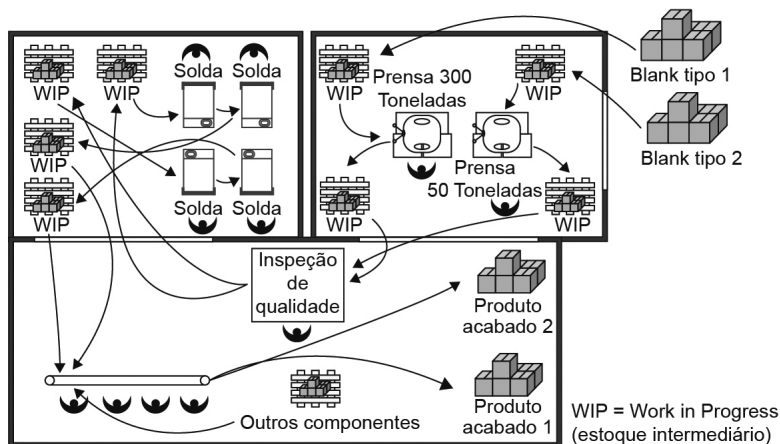
Diálogo aberto

Caro aluno, bem-vindo a mais uma seção do nosso estudo sobre os fundamentos gerais da manufatura, na qual estudaremos sobre alguns elementos importantes relativos à organização do chão de fábrica.

Nas seções anteriores estudamos os elementos básicos dos sistemas de manufatura (Seção 1.1) e apresentamos o conceito de uma manufatura enxuta (Seção 1.2). Nesta seção vamos estudar com mais detalhes como o chão de fábrica é organizado em termos de layout ou posicionamento das máquinas e processos e sobre um elemento importante para fazer a sincronização entre eles: a rastreabilidade.

Relembre o contexto em que inserimos você nesta unidade, apresentado no item *Convite ao estudo*, para que possa aplicar os conteúdos desta seção e desenvolver a terceira etapa do seu plano de ação, que é descrever como está a organização do chão da fábrica e as principais oportunidades de otimização. Para isso, primeiramente você terá que observar a Figura 1.3, que mostra o layout atual da metalúrgica e as flechas, que indicam o fluxo de material.

Figura 1.3 | Layout atual da metalúrgica



Fonte: elaborada pelo autor.

Após análise da Figura 1.3, você consegue identificar qual é o tipo de layout atual? Ele é adequado para esse tipo de operação de manufatura? Que modificações no layout poderiam ser feitas para deixar o sistema de manufatura mais eficiente?

Para efetuar essa parte do seu plano e concluir o seu relatório, você deve compreender o conceito de layout de produção e quais são os tipos de layout mais adequados para cada situação. Esses importantes conceitos irão contribuir para que você consiga resolver a problemática apresentada na situação-problema. Preparado para começar? Bons estudos!

Não pode faltar

Um dos itens mais evidentes da forma como o chão de fábrica está organizado é a disposição dos equipamentos de produção e do fluxo dos materiais, suas inter-relações e como esses elementos ocupam o espaço. Nos referimos a isso como layout do chão de fábrica.

Encontrar a melhor configuração de layout pode ser uma tarefa muito árdua, pois qualquer escolha tomada apresenta algum tipo de *trade-off* (ganha-se de um lado, perde-se de outro). Por exemplo, layouts que favorecem a flexibilidade e a customização, geralmente têm equipamentos universais organizados de forma tal que grandes variedades de peças podem ser processadas, diminuindo as oportunidades de padronização de ferramentas e procedimentos e, portanto, comprometendo a eficiência. No entanto, layouts que favorecem a eficiência do uso de recursos têm equipamentos específicos dedicados a um número limitado de operações e com o menor número de ajustes possível, comprometendo a possibilidade de alterações no projeto do produto, diversidade de modelos e modificações de ordem e prazos de fabricação.

Para facilitar a compreensão, vamos recorrer a um exemplo propositalmente exagerado. Compare a forma de trabalho de um alfaiate e de uma confecção industrial. O alfaiate é capaz de produzir uma peça de roupa perfeita para suas medidas, fazer ajustes ou modificações em data próxima à data de entrega do produto, e até mesmo alterar a prioridade dos pedidos a qualquer momento, se for necessário. Utilizando equipamentos e ferramentas universais (tesouras, régua, esquadros, giz), alterando a posição dos equipamentos da forma mais conveniente para cada situação,

e mão de obra especializada (um bom alfaiate precisa de anos de experiência), essa forma de produção privilegia a flexibilidade e customização. No entanto, uma confecção industrial que produz apenas alguns modelos de peças com variações de tamanho, como P (pequeno), M (médio) e G (grande), em grandes volumes, utiliza equipamentos especializados com posicionamento fixo, além de fluxo de material e procedimentos bem definidos, facilitando o treinamento de mão de obra com baixo nível de especialização. Essa forma de produção privilegia a eficiência do uso dos recursos, mas perde em flexibilidade de modelos, possibilidade de customização ou alteração de prioridades.

Portanto, a escolha do layout do sistema de manufatura deve estar alinhada à estratégia competitiva da empresa, esteja ela relacionada à produção em massa, em lotes repetitivos ou sob encomenda.

Ao longo do tempo, cinco tipos de layout se consolidaram e são comumente encontrados na indústria, conforme veremos a seguir.

O **layout por produto ou em linha** é organizado de tal forma que os produtos fluam ao longo de uma linha de produção, ao lado da qual estão os componentes, ferramentas e operadores que transformam o produto. Esse tipo de layout é encontrado em indústrias que processam grande quantidade de produtos com sequência, número de operações e tamanhos similares. O layout em linha privilegia a eficiência, pois o material processado permanece durante períodos muito curtos sem que nenhuma operação seja executada sobre ele. Embora nosso foco seja a fabricação discreta (componentes são montados e transformados em um produto final que pode ser medido em unidades), podemos comparar a fabricação no layout em linha com os processos de fabricação contínuos, como a fabricação de cimento, bebidas e produtos químicos. Em ambos os casos, o material flui por uma linha de produção contínua, com o mínimo de interrupções. No entanto, a flexibilidade desse tipo de layout é muito baixa pois, os equipamentos são projetados de forma específica para um tipo de produto, garantindo a eficiência. Alterações no tipo de produto possível de ser fabricado em cada linha geralmente demandam investimentos em novos equipamentos ou até mesmo infraestrutura. Como a padronização de componentes, processos e ferramentas são importantes fatores para manutenção da eficiência desse tipo de layout, é comum que indústrias organizem mais de uma linha de produção, cada uma para um tipo de produto.

Por exemplo, a indústria automotiva geralmente organiza as linhas de produção por plataformas de veículos (entende-se por plataforma de um veículo o conjunto de peças estruturais que serve como base para a construção de veículos de uma mesma família). Em cada linha de produção, é possível produzir vários modelos de veículos que dividem uma mesma plataforma, mas poucos tipos de plataforma diferentes.

Quando a variedade de produtos é muito grande e é difícil estabelecer uma sequência preferencial para a manufatura dos produtos, o tipo de arranjo físico preferido geralmente é dividido por tipo de processo. Essa forma de organização dos recursos produtivos é chamada de **layout por processo ou funcional**. Esse tipo de arranjo é comum, por exemplo, em indústrias metalúrgicas de autopeças, em que os componentes podem passar por vários tipos de processos, como estamparia, processos de união variados, usinagem, corte de chapas, pintura, entre outros; e os recursos de produção (materiais) para cada tipo de processo são agrupados em departamentos ou setores diferentes. Nessas empresas, encontramos peças com design e funcionalidade similares, mas com soluções de engenharia diferentes devido às exigências de projeto por parte do cliente. Por exemplo, dois suportes do painel de instrumentos de veículos diferentes podem ter a mesma função e design, mas diferenças em requisitos de métodos de união (solda, parafusamento, rebiteagem), acabamento e proteção superficial (apenas oleado, pintado por diferentes processos, fosfatizado etc.), por isso o roteiro de fabricação deve ser diferente. Outro exemplo são as peças com tipos de processos similares, mas com tamanhos muito diferentes e, portanto, passando por máquinas diferentes. Nos dois casos, é praticamente impossível projetar linhas de montagem ou células específicas para cada tipo de produto.

A divisão de processos por departamento permite grande flexibilidade de tipos e configurações de produtos. No entanto, a eficiência geralmente é prejudicada pelas distâncias que o produto tem que percorrer entre os setores, tempos de espera entre transferências de um setor para outro, falta de sincronização devido à programação por lotes e separadas para cada processo. Para minimizar a perda de eficiência, os fluxos de material com maior intensidade e aqueles com maior correlação entre si devem ser identificados. Os postos de trabalho que compõem os fluxos mais intensos e com maior correlação devem ser dispostos o mais próximo possível. Assim, reduzimos as distâncias

de transporte do material entre diferentes fases do processamento. Também há algumas ferramentas simples, como a análise do fluxo de movimentação de produtos e outras mais elaboradas que podem ser de grande valia em casos mais complexos, como o SLP (*Systematic Layout Planning*, ou planejamento sistemático do layout). O SLP é um método para construção de um layout otimizado a partir da relação entre equipamentos e área necessária e, dados, como produtos, quantidades e fluxo de material (ver WIYARATN; WATANAPA, 2010).

O **layout posicional** é comum em operações em que é inconveniente ou inviável movimentar o material sendo processado. Alguns exemplos de empresas que utilizam esse tipo de layout são a indústria aeronáutica e a naval. Nesse tipo de layout, o material é processado em uma estação de trabalho, em uma área predeterminada e os componentes, operadores e ferramentas se movimentam, conforme necessário, para concluir as operações de montagem. A principal vantagem desse tipo de arranjo é a flexibilidade, pois é possível montar diferentes configurações de produtos sem alterações significativas nas linhas de produção. Entretanto, a eficiência é baixa, pois o produto pode permanecer por tempo prolongado aguardando para ser processado.

Uma forma de aproveitar tanto as vantagens do layout por produto quanto as vantagens do layout por processo é adotar o **layout celular**, baseado na Tecnologia de Grupo (TG), que começou a ser difundida na indústria a partir da década de 1960.

Um dos trabalhos importantes para a sistematização e divulgação da TG foi o do russo Mitrofanov (1966). Inicialmente, a TG era utilizada apenas para simplificar o setup de máquinas individualmente. A simplificação se dava pelo agrupamento de peças semelhantes e processamento de cada grupo de peças em máquinas específicas. Se todas as peças fabricadas em uma máquina têm características semelhantes, as ferramentas também devem ser semelhantes. Assim sendo, a troca de ferramentas se tornava mais simples ou até desnecessária, simplificando o *setup*.

Posteriormente a TG evoluiu e passou a ser empregada para que todas as peças de uma mesma família fossem produzidas por um grupo de máquinas, denominado célula de manufatura. Uma célula de manufatura é um grupo de máquinas arranjadas conforme a sequência de operações para produzir um determinado produto, sob responsabilidade de um operador ou grupo de operadores. Nesse tipo

de layout evita-se o desperdício por transporte e movimentação, pois as distâncias entre os processos são curtas. Além disso, mantém-se certa flexibilidade de produção, pois como os artefatos que compõem cada família de produtos devem ser semelhantes, as operações de *setup* são simplificadas. Algumas técnicas analíticas também foram desenvolvidas, como auxílio à determinação adequada de famílias e fluxos de produção convenientes, como a análise de fluxo da produção (BURBIDGE, 1971).



Reflita

Devemos escolher o tipo de layout baseado na estratégia competitiva e de manufatura da empresa. Você acha que diferentes tipos de layout podem resultar em mudanças na motivação e produtividade individual dos trabalhadores?

Contudo, há contextos em que a produção de modelos de produtos cada vez mais adaptados às necessidades e desejos de grupos específicos tem aumentado a pressão pela produção de lotes menores e com maior variedade de modelos, de forma que, mesmo que a produção em células não possui a combinação de flexibilidade e eficiência de forma satisfatória.

Apesar de chamar cada vez mais a atenção, essa tendência já é conhecida de longa data pela indústria. Na década de 1980, o termo Customização em Massa foi apresentado por Davis Stanley em seu livro *Perfect future*, ou Futuro Perfeito (DAVIS, 1987), referindo-se à capacidade de produzir bens customizados em volumes, preços, nível de qualidade e tempo de entrega similares àqueles de uma produção em massa.

Na indústria automotiva por exemplo, há casos em que a produção de dois veículos iguais leva até dois anos para se repetir. Isso se deve à quantidade de itens personalizáveis em cada modelo (HENRY, 2009).

Logo que surgiram, as células de manufatura flexível eram compostas por uma combinação de máquinas-ferramentas de comando numéricos e linhas *transfer*. Esses sistemas tinham elevado custo de projeto e aplicações muito limitadas (ANTUNES JUNIOR et al., 2011).

Hoje, os elementos facilitadores da customização em massa, contudo, são bem diferentes. Surgiram novas técnicas de manufatura,

como a manufatura aditiva (impressão 3D de produtos em diversos materiais). O uso de robôs se tornou muito mais comum e os meios de controle, identificação e rastreabilidade de produtos também evoluíram bastante.

A flexibilidade desse tipo de sistema tem relação com:

- O número de diferentes tipos de peças capazes de serem produzidos (flexibilidade de máquina).
- A ordem em que as operações são executadas (flexibilidade de roteiro).
- Os limites inferior e superior de volumes que podem ser processados economicamente.
- A quantidade de processos ou peças produzidas sem que sejam necessárias operações de *setup*.
- A possibilidade de expansão incremental.



Pesquise mais

Além do modelo Toyota de Produção, consolidado e difundido em diversas empresas, mesmo fora do ramo automotivo, existem outros modelos de produção estabelecidos. A BMW, por exemplo, foca seu modelo de produção na manufatura flexível. No artigo indicado a seguir, o autor relata a experiência da BMW na produção de um veículo com uma grande possibilidade de variações e solução que a empresa encontrou para atender a essa demanda. Boa leitura!

CABLE, Josh. Flexibility Fuels BMW's Unique Manufacturing Model. **IndustryWeek**. U.S.A., nov. 2011. Disponível em: <http://www.industryweek.com/articles/flexibility_fuels_bmw's_unique_manufacturing_model_26067.aspx?page=3>. Acesso em: 2 abr. 2017.

Além de escolher o layout mais favorável à estratégia competitiva da organização, é importante nos preocuparmos com as possíveis formas de movimentação de materiais ao longo do processo, sob dois aspectos: fluxo de informações e equipamentos de movimentação.

Com relação ao fluxo de informações, é necessário garantir o reconhecimento e a rastreabilidade do material transportado, de tal forma que o manuseio de materiais seja feito de maneira correta. Chamamos de rastreabilidade a capacidade de manter e acessar informações sobre a identidade, atributos e histórico de um

produto. Os procedimentos para manutenção da rastreabilidade de produtos podem ser feitos manualmente, mantendo listas atualizadas que correlacionam datas e lotes de produção de componentes, ou informatizada, utilizando etiquetas com códigos de barras, radiofrequência (RFID) ou características do material que, lidas por sensores scanners, são enviadas para bancos de dados e sistemas que processam informações, como destino das peças (estoque, próxima operação, expedição etc.), sistemas de controle da qualidade, locais de armazenamento e atributos, como código do produto, dados dimensionais, data e lote de fabricação.



Exemplificando

Uma aplicação prática dos sistemas de rastreabilidade por radiofrequência é o uso de etiquetas RFID para identificar eletronicamente componentes ou contentores de peças para garantir que os itens passaram por todas as etapas de fabricação. O sistema também pode detectar quanto tempo o item permaneceu em cada local, ajudando a identificar gargalos de produção ou quantidade de produtos em processo (*WIP – Work in Progress*, ou traduzido: trabalho em processo).

Na manufatura de um produto, a matéria-prima sofre diversas operações e componentes são agregados à sua estrutura, de forma que é necessário sincronizar os processos e fluxo de materiais. Isso pode ser feito interligando terminais de coleta de dados, computadores de controle das máquinas e sistemas de programação e controle da produção. Os terminais de coleta de dados podem ser utilizados para alimentar o sistema com informações a respeito da chegada de componentes em uma etapa do processo ou da conclusão de um processo. No início do processo, a produção de um item pode ser disparada a partir de ordens de produção impressas pelo sistema de programação da produção ou, ainda, via sistemas de Kanban eletrônicos, por exemplo.

Os equipamentos de movimentação de material podem ter diferentes configurações, dependendo de fatores, como tipo de layout do chão de fábrica, tipo de produto a transportar, espaço disponível para manobras, distâncias a serem percorridas. Os mais comuns são:

- Esteiras: transportadores contínuos como rolos, correias, ou esteiras que formam um leito pelo qual o material desliza, interligando várias etapas do processo.

- Equipamentos de elevação: pontes rolantes utilizadas para movimentar grandes ferramentas ou peças pesadas, gruas ou guindastes para alimentar ou retirar peças de estações de trabalho ou embalagens, sistemas monotrilho para movimentação de peças durante seu processamento em uma linha de pintura ou outras operações.

- Veículos industriais: podem ser carrinhos industriais, empilhadeiras, carros autoguiados.

- Veículos industriais: carrinhos industriais, empilhadeiras, rebocadores, veículos autoguiados (AGV – *automated guided vehicle*).

- Robôs: utilizados para carregamento e descarregamento de peças em suas estações de trabalho ou movimentação entre as estações.



Assimile

É importante você conhecer os seguintes tópicos desta seção:

Tipos de layout de produção:

- Por produto ou em linha: o produto se movimenta em uma linha e os meios de produção são fixos.

- Por processo: a produção é organizada em departamentos por tipos de processo.

- Posicional: quando o produto permanece estacionado e os meios de produção vão até ele.

- Layout Celular: máquinas arranjadas em células, modelo híbrido entre layout em linha e por processo.

- Manufatura flexível: troca do tipo de produto a ser produzido com mínimo custo e tempo.

Comunicação entre etapas do processo

- Fluxo de informação:

- Ordens de produção.

- Kanbans eletrônicos.

- Equipamentos de movimentação:

- Carrinhos, empilhadeiras, esteiras, pontes rolantes, veículos guiados automaticamente, robôs.
- Sistemas de rastreabilidade:
- Códigos de barra, tecnologia RFID, scanners, sensores, apontamentos manuais.

Sem medo de errar

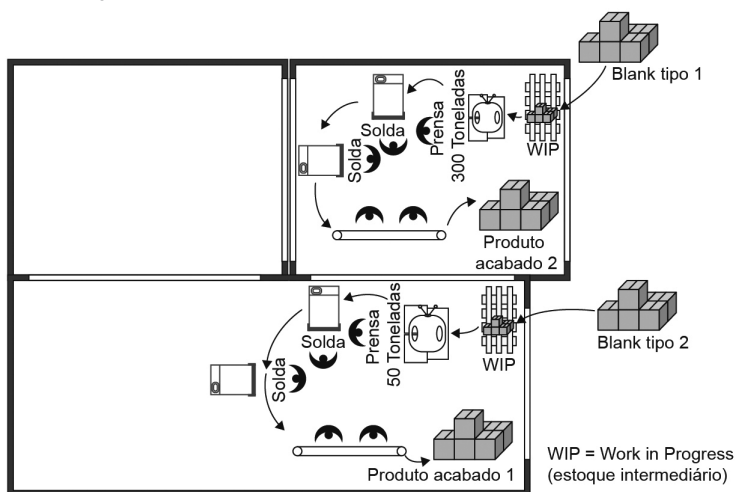
Caro aluno, no *Convite ao estudo* desta unidade você foi desafiado a realizar um plano de ação em três partes. As duas primeiras foram realizadas nas seções anteriores e está na hora de você realizar a última parte, que lhe foi apresentada no *Diálogo aberto* desta seção, a qual você deve responder aos seguintes pontos: qual é o tipo de layout atual? Esse layout é adequado para esse tipo de operação de manufatura? Que modificações no layout poderiam ser feitas para deixar o sistema de manufatura mais eficiente?

Primeiramente, é necessário, então, identificar o tipo de layout presente na fábrica, atualmente, representado na Figura 1.3. Observe como as máquinas estão agrupadas por processo (solda, prensas, montagem) e fica fácil de verificar que o tipo de layout é funcional, ou por departamento.

Note, pelas flechas, que o fluxo de materiais é bem confuso, havendo cruzamento em vários pontos. Além disso, o material fica estocado entre cada etapa, e uma etapa de inspeção é necessária para garantir que produtos defeituosos não sejam transferidos para as estações de soldagem.

O movimento de material, armazenagem e inspeção são atividades que não agregam valor ao produto, e deveriam ser minimizadas ou eliminadas. Observando as setas da Figura 1.3, que indicam o fluxo de material, é possível notar que há dois tipos de fluxo, o do material que passa pela prensa de 50 toneladas e o que passa pela prensa de 300 toneladas. Portanto, poderíamos alterar o layout e propô-lo em duas células, uma para cada tipo de material, conforme indicado na Figura 1.4.

Figura 1.4 | Layout otimizado em célula



Fonte: elaborada pelo autor.

As vantagens do layout proposto são:

- O produto tem menos movimentação na fábrica.
- O fluxo de material é mais claro.
- São eliminados os estoques intermediários (WIP).
- A necessidade de inspeção é eliminada e substituída pela autoinspeção (autonomação).

O layout em célula possibilita uma reação mais rápida em caso de aumento ou diminuição da demanda. Basta reorganizar as operações padrão de cada operador, retirando ou incluindo operadores na célula e, com isso, alterando o tempo de ciclo, até o limite em que cada operador faça todas as operações da célula, o que seria muito difícil em um layout por departamento.

Agora que você fez o reconhecimento inicial da fábrica, fez algumas análises baseadas nas características de um sistema de manufatura enxuta e até otimizou o layout do chão de fábrica, podemos esperar um aumento visível na eficiência da operação. Portanto, é hora de reunir as informações das três etapas do seu plano de ação e preparar um primeiro documento com os resultados. Como diriam os inventores do sistema de manufatura enxuta, *Ganbatte Kudasai!* (Faça o seu melhor!)

Avançando na prática

Selecionando o layout de uma nova fábrica

Descrição da situação-problema

Uma empresa de motores elétricos de superfície (daqueles que acionam motobombas, compressores, ventiladores, exaustores) está sendo planejada para fabricar três modelos de motores que são classificados conforme sua potência. Os motores são constituídos de três componentes principais: A, B e Cn, sendo “n” um número de 1 a 3, dependendo da potência do motor. Assim, o Motor 1 é composto de A, B e C1; o Motor 2 é composto de A, B e C2 e o Motor 3 é composto de A, B e C3. Os componentes A e B são comprados e os componentes C1 a C3 são torneados a partir de um *blank* comprado. Para a troca de operação de usinagem entre os modelos C2 e C3 não é necessário nenhum *setup* e para a troca de C2 ou C3 para C1 são necessários 30 minutos de *setup*.

A Tabela 1.2 fornece informações sobre as demandas mensais de cada motor e a Tabela 1.3 mostra as características de cada componente e das suas operações de montagem.

Tabela 1.2 | Variação de demanda de motores (unidades por mês)

Motor	Mínimo	Média	Máximo
Motor 1	100	200	800
Motor 2	400	600	1200
Motor 3	300	400	600

Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 1.3 | Características de montagem dos motores (DM = dispositivo de montagem, DU = dispositivo de usinagem)

Produto ou componente	Peso (Kg)	Tamanho (mm)	Ferramentas	Operações de montagem	Tempo por operação (segundos)
Motor 1	15	400x100	DM_9147 + Parafusadeira	4	120
Motor 2	8.0	300x100	Parafusadeira	5	28
Motor 3	7.5	280x90	Parafusadeira	5	28
Componente A	3.0	180x80	-	0	
Componente B	1.0	180x80	-	0	
Componente C1	11	150x50	DU_1001	5	

Componente C2	4.0	130x50	DU_1002	2	
Componente C3	3.5	120x40	DU_1002	2	

Fonte: elaborada pelo autor.

Baseado nessas informações obtidas, que tipo de layout você sugeriria? Como você trataria a variação de demanda? Bom trabalho!

Resolução da situação-problema

Para o caso exemplificado nessa situação, o layout celular seria uma boa escolha. Podemos perceber que o motor 1 e os motores 2 e 3 têm características de montagem bem distintas. Assim, poderíamos pensar em duas células diferentes, uma para o motor do tipo 1 e uma para os motores do tipo 2 e 3.

Esse tipo de layout poderia nos dar uma boa flexibilidade em termos de variação da produção, pois para alterar o tempo de ciclo de uma célula, bastaria alterar as operações padrão de cada operador. Assim, poderíamos ir de um limite em que cada operação é executada por um operador, ao outro em que todas as operações são executadas por um único operador, com tempo de ciclo total maior.

Com relação à operação de torneamento, poderíamos escolher uma máquina mais rápida e centralizar a operação de usinagem ou selecionar duas máquinas mais simples e dedicar uma máquina a cada célula. A solução preferencial deve ser a das máquinas mais simples dedicadas a cada célula. Dessa forma, eliminamos a operação de *setup*.

A manufatura posicional não se aplica a esse caso, pois são peças que podem ser facilmente movimentadas. O layout funcional seria menos eficiente, pois as programações deveriam ser feitas em lotes econômicos e os componentes ficariam boa parte do seu ciclo de processamento em espera pela próxima operação.

Faça valer a pena

1. O layout celular pode ser considerado um layout híbrido, que busca capturar as vantagens do layout em linha e por processo. Escolha a alternativa que representa, na ordem correta, as principais vantagens respectivamente do arranjo físico em linha e por processo.

- a) Eficiência do uso de recursos e flexibilidade.
- b) Maior valor agregado e flexibilidade.
- c) Eficiência no uso de recursos e menor consumo de material.
- d) Flexibilidade e eficiência do uso de recursos.
- e) Maior qualidade do produto e melhor controle da rastreabilidade.

2. A rastreabilidade é a capacidade de manter e acessar informações sobre a identidade, atributos e histórico de um produto.

Qual das afirmativas a seguir expressa uma afirmação correta sobre a rastreabilidade?

- a) A utilidade do sistema de rastreabilidade se restringe a operações de recall de produtos.
- b) A rastreabilidade dos produtos pode auxiliar a sincronizar os processos no sistema de manufatura.
- c) A rastreabilidade é uma operação complexa e viável apenas com o uso de recursos de informática.
- d) A rastreabilidade é a correlação entre o lote de fabricação e data de fabricação de um produto.
- e) A rastreabilidade diz respeito apenas à movimentação de material e não dá subsídios para melhoria contínua.

3. A escolha do layout das máquinas em um sistema de manufatura deve levar em conta a estratégia competitiva da empresa e é um elemento com grande contribuição para a sua eficiência.

Se fizermos uma comparação entre a indústria de construção civil e a indústria mecânica, a operação de construção de um edifício seria equivalente a qual dos arranjos físicos a seguir?

- a) Celular.
- b) Por produto.
- c) Por processo.
- d) Manufatura flexível.
- e) Posicional.

Referências

ANTUNES JUNIOR, et al. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2011. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577802494/cfi/2451/4/4@0.00:48.0>>. Acesso em: 18 maio 2017.

ARAÚJO, J. C. **O SAC como deve ser!** O SAC pode ser uma incrível ferramenta de marketing se bem utilizada. **Administradores.com**, 10 set. 2016. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/mobile/artigos/empreendedorismo/o-sac-como-deve-ser/98061/>. Acesso em: 12 jun. 2017.

BURBIDGE, J. L. **Production flow analysis**. The Production Engineer, abr./maio 1971

DAVIS, S. M. **Future Perfect**. Reading: Addison-wesley, 1987. Disponível em: <<https://archive.org/details/futureperfect00davi>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

SOBEK II, Durward K.; SMALLEY, Art. **Entendendo o pensamento A3**: um componente crítico do PDCA da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2015. 192 p.

HENRY, J. BMW Says flexible, not lean, is the next big thing in autos. Cbs Money Watch. U.S.A., p. 1-1. 24 nov. 2009. Disponível em: <<http://www.cbsnews.com/news/bmw-says-flexible-not-lean-is-the-next-big-thing-in-autos/>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota – manual de aplicação**: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2007. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788577800308/pageid/84>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

LIMA, A. D. de; BACHEGA, S. J. Manufacturing Critical-Path time (MCT) e system dynamics (SD): um estudo de caso no processo de orçamentação. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 20. 2010, São Carlos. **Anais do Congresso**. São Carlos: Ufscar/abepro, 2010. p. 1-11. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_113_739_15752.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.

LOHR, S. Making cars the volvo way. **New York Times**. New York, p. 1-1, 23 jun. 1987. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/1987/06/23/business/making-cars-the-volvo-way.html?pagewanted=all&pagewanted=print>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

MITROFANOV, S. P. The Scientific Principles Of Group Technology. Boston, National Library for Science, 1966. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., Ouro Preto/MG, 2003. **Anais...** Ouro Preto/ MG, out. 2003.

ROMEIO FILHO, E. **Sistemas integrados de manufatura**: para gerente, engenheiros e designers. São Paulo: Atlas, 2015. 186 p.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2013. 125 p.

SCHWAB, K. **A quarta Revolução Industrial**. 4. ed. São Paulo: Edipro, 2016. 160 p. Daniel Moreira Miranda.

SHIMOKAWA, K.; FUJIMOTO, T. **O nascimento do Lean**: conversas com Taiichi Ohno, Eiji Toyoda e outras pessoas que deram forma ao modelo Toyota de gestão. Porto Alegre: Bookman, 2011. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788577807598/pageid/0>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

TEMPOS Modernos. Direção de Charlie Chaplin. Produção de Patrícia Santans. Intérpretes: Charlie Chaplin Paulette Goddard Henry Bergman Stanley Sandford Chester Conklin. Roteiro: Charlie Chaplin. Música: Deniss Gilbert. Estados Unidos: United Artists, 1936. (87 min.), Filme, P&B. Disponível em: <<https://vimeo.com/46815391>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

TÖYRYLÄ, I. **Releasing the potencial of traceability**: a case study research on usage and impacts of product traceability. 1999. 211 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia, Industrial Management, Helsinki University Of Technology, Espoo, 1999. Disponível em: <<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/2506/isbn9512278081.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

TUBINO, D. F. **Manufatura enxuta como estratégia de produção**: a chave para a produtividade industrial. São Paulo: Atlas, 2015. 315 p.

WIYARATN, W.; WATANAPA, A. Improvement Plant Layout Using Systematic Layout Planning (SLP) for Increased Productivity. **International Journal Of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic And Manufacturing Engineering**, v. 4, n. 12, p. 1382-1386. dez. 2010. Disponível em: <<http://www.waset.org/publications/3804>>. Acesso em: 1 abr. 2017.

Eliminação de desperdícios e perdas que influenciam na performance

Convite ao estudo

Caro aluno, estamos iniciando nossa segunda unidade de ensino. Na unidade anterior, estudamos sobre os principais elementos que definem a estratégia de um sistema de manufatura. Na Unidade 2, vamos aprofundar nosso conhecimento sobre os fundamentos relacionados à manufatura, aprendendo a identificar o trabalho que agrega valor ao produto e utilizar técnicas para eliminação de desperdícios. Pode ser intrigante pensar que em uma operação de manufatura, na qual todos estão trabalhando para cumprir prazos e metas geralmente desafiadoras, possamos identificar atividades que não agregam valor ao produto, e que, portanto, não deveriam ser realizadas. Porém, vamos verificar que isso não é tão incomum, e que é necessário ter conhecimentos adequados, como os que você vai ter no final da unidade, para identificar as atividades não produtivas e eliminá-las.

Para ajudá-lo a praticar esses conhecimentos, você continuará inserido dentro do mesmo contexto de aprendizagem da unidade anterior, no qual imaginamos que você foi transferido para uma nova fábrica, recém-adquirida pela empresa para a qual você trabalha. Vimos que os padrões de operação da nova fábrica foram considerados antiquados e que o índice de produtividade e qualidade estão abaixo do esperado. Sua missão, na Unidade 1, foi elaborar as três primeiras etapas de um plano de ação coerente, claro e com embasamento técnico para reconhecimento da fábrica, além de relatar suas primeiras impressões e sugerir estratégias de otimização das operações. Agora, na Unidade 2, vamos continuar desenvolvendo o seu plano de ação para deixar a nova fábrica de acordo com

os padrões operacionais do grupo. Realizaremos, portanto, as etapas 4, 5 e 6, seção após seção, da seguinte forma: na Seção 2.1, vamos identificar os principais tipos de desperdício e ineficiências (inconsistência e sobrecarga), na Seção 2.2, planejar e executar as formas de eliminá-los (abordaremos ferramentas de análise e resolução de problemas) e na Seção 2.3, otimizar um processo de manufatura e eliminar gargalos (veremos a Teoria das Restrições).

Segundo a manufatura enxuta, em qualquer tipo de atividade podemos encontrar ineficiências que podem ser eliminadas ou minimizadas utilizando o conceito de ciclos de melhoria contínua. Sendo assim, por que as pessoas e organizações permitem que recursos sejam desperdiçados sem que uma ação sistemática seja tomada para sua eliminação ou redução por meio de melhoria contínua? Poderia ser simplesmente por não enxergar o efeito do desperdício, ou por que ninguém se sente responsável pelo desperdício gerado e sua eliminação? Que outras razões você poderia apontar para isso?

Seção 2.1

Identificação e redução de desperdícios

Diálogo aberto

Você já passou pela experiência de ligar para um serviço de atendimento por telefone e ter que passar todos os seus dados e fazer a sua solicitação para um atendente, e, no final, ele dizer que vai transferir a ligação para o próximo atendente, que por sua vez faz as mesmas perguntas? Já se perguntou por que você tem que chegar ao aeroporto uma hora antes do horário do seu voo? Ou ainda, já teve que resolver um erro na fatura de seu cartão de crédito com a administradora? Essas situações não estão diretamente relacionadas ao consumo de um produto, como temos tratado, mas com certeza não agregam valor à experiência. Em um sistema de manufatura ocorre o mesmo: durante a produção de um produto, existem sobreprocessamento, tempos de espera, erros de processo, entre outros, que estão associados à produção, mas não agregam valor ao produto. A primeira seção da nossa segunda unidade de estudo vai abordar o conceito de perdas, de acordo com a sistematização de Taiichi Ohno que, fundamentado nos princípios da administração de Frederick Taylor, caracterizou sete tipos diferentes de perdas.

Para exercitar a aplicação desses conceitos de maneira prática, vamos voltar ao problema apresentado no *Convite ao estudo* da Unidade 1 e resumir algumas informações que coletamos: (i) a demanda semanal do cliente para o produto suporte SK é de 300 unidades, e sua produção é feita em lotes mensais que duram 39 horas e é condensada em um único lote; (ii) as operações de *setup* estão sempre atrasadas com relação à programação, inclusive o *setup* do recurso gargalo; (iii) durante os últimos inventários foram encontrados em estoque e descartados vários componentes obsoletos; (iv) detectou-se defeito de qualidade em todo o estoque de determinado componente.

Na quarta etapa do seu plano de ação, você deverá identificar a partir desse resumo e da Tabela 2.1: (i) quais os elementos que não agregam valor ao produto e (ii) como eles podem ser classificados seguindo os princípios da manufatura enxuta?

Tabela 2.1 | Dados sobre os tempos de manufatura

Operação	Pré-montagem 1	Pré-montagem 2	Montagem final	Inspeção
	Tempo em segundos (s)			
Caminhar até o local da embalagem	20	30	20	12
Pegar e posicionar peças	10	40	20	-
Montar	20	80	13	-
Inspecionar	-	-	-	16
Armazenar peças no local da embalagem	7	30	7	12
Total	57	180	60	40

Forjamento = 130 s; soma dos totais = 337 s.

Fonte: elaborada pelo autor.

Para responder a essa questão, você deve ler esta seção com atenção e absorver o conteúdo relacionado à identificação e redução de desperdícios apresentado a seguir.

Não pode faltar

Você já refletiu sobre qual é a porcentagem do tempo gasto na produção de um item ou na prestação de um serviço em atividades que transformam ou agregam valor ao produto ou serviço? Por exemplo, quando você precisa fazer um documento pessoal (carteira de motorista, título de eleitor ou registro geral), quanto tempo leva essa atividade em relação ao tempo gasto efetivamente na fabricação desse documento? Pense nos comprovantes que você tem que preparar (procurar, tirar cópias) e apresentar, e que provavelmente vão para um arquivo dos quais nunca mais serão retirados, pense também no tempo que você tem que aguardar em filas, no transporte e entrega do documento.

Podemos aplicar esse mesmo cenário a um sistema de manufatura, no qual também temos tempos de parada com *setup* (preparação), transporte e preenchimento de registros. Todas essas atividades têm em comum o fato de não transformarem o produto, e, portanto, são atividades sem valor agregado (SVA). Do ponto de vista de manufatura enxuta, elas são classificadas como desperdício ou ineficiência, e devem ser controladas, reduzidas ou eliminadas.



Exemplificando

Algumas atividades SVA, se necessárias na configuração atual do sistema, devem ser controladas e reduzidas. Lembrando o que aprendemos na Unidade 1 sobre mapas de fluxo de valor, quando fazemos o MFV atual e planejamos o MFV futuro, devemos focar os nossos estudos na eliminação ou minimização das atividades SVA.

Por exemplo, a atividade de inspeção de um produto pode ser necessária devido à variação excessiva de alguma característica (estado atual do MFV). Porém, essa atividade deve ser reduzida ao máximo por meio do esforço para identificação das causas de variação, com aumento da estabilidade do processo. Mesmo inspeções exigidas pelo cliente podem ser reduzidas se trabalharmos com o intuito de melhorar a confiança no processo, tanto internamente quanto para o próprio cliente.

A eliminação desse tipo de ineficiência é um dos principais conceitos da manufatura enxuta. Na manufatura enxuta, essas ineficiências são classificadas de acordo com três termos japoneses: *Muda*, *Mura* e *Muri*.



Pesquise mais

O conceito de desperdício se tornou mais conhecido pela sua incorporação ao modelo de manufatura enxuta. Porém, a base para sua criação pode ser atribuída a Henry Ford e Frederick Taylor. No capítulo 7 de seu livro, Antunes Júnior (2008) explica como o conceito de perdas foi construído e incorporado no ambiente industrial. Sugerimos sua leitura para aprofundar seu conhecimento sobre esse importante conceito. Vale a pena lembrar que você pode encontrar o material na sua Biblioteca Virtual.

ANTUNES JÚNIOR, José. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/ar7Vbt>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

O termo japonês *Muda* se refere a situações que impedem o fluxo contínuo e suave da produção. Geralmente encontramos sete tipos de desperdícios classificados como *Muda*, listados a seguir.

Excesso de produção: excesso de produção significa produzir em maior quantidade ou antecipadamente em relação ao programado. Esse tipo de desperdício é considerado o mais nocivo pelo sistema de

produção enxuto. Isso porque o excesso de produção gera excesso de estoque, que por sua vez dá origem ou esconde os demais tipos de desperdícios. Por exemplo, em um sistema de manufatura que opere com excesso de estoque, não é tão importante cumprir prazos de produção, pois qualquer atraso pode ser compensado com peças que já estejam em estoque.

O mesmo ocorre com o índice de qualidade: o sistema pode estar produzindo uma quantidade de refugos significativa devido à sua ineficiência, porém, a quantidade de refugo e a ineficiência podem ficar encobertas devido às peças em excesso que estão em estoque e compensam o refugo. O problema é que o estoque está mascarando as ineficiências, o que impede a sua resolução. Os custos de produção também são aumentados com a superprodução, pois os produtos em excesso têm que ser manipulados, armazenados, classificados, inventariados, e todas essas operações agregam custo, mas não valor ao produto. Além disso, embora pareça contraditório, o excesso de produção também pode causar falta de produtos ou componentes, pois, todos no processo, de operadores a líderes, podem estar ocupados produzindo grandes quantidades de alguma coisa diferente daquilo que o cliente necessita naquele momento.

A implementação do *Just In Time* é a principal ferramenta para eliminação desse tipo de desperdício. A implementação e manutenção do programa de 5S e layout adequado também colaboram para a identificação e eliminação do excesso de produção.

Espera: enquanto um produto está simplesmente aguardando qualquer coisa acontecer, nenhum valor está sendo agregado a ele. Portanto, isso constitui um desperdício. Por exemplo: um lote de produtos aguardando ser transferido para a próxima etapa de processamento ou esperando a conclusão de uma troca de ferramental não aumenta seu valor agregado enquanto permanece estacionado.

Para reduzir os tempos de espera, podemos utilizar algumas técnicas como: troca rápida de ferramental (TRF, ou SMED do original em inglês) para reduzir os tempos de espera por *setup*, balanceamento de linha para evitar espera entre etapas do processo, 5S para melhorar a organização e evitar tempos de localização de ferramentas e instruções.

Transporte ou transferência: movimentar um componente ou

um produto final de um ponto a outro de uma fábrica, para dentro e fora do estoque, transferência entre centros de distribuição, ou seja, são todos exemplos de atividades sem valor agregado. Possíveis contramedidas incluem a definição otimizada do layout de produção, redução de estoques e programação puxada.

Sobreprocessamento ou processamento incorreto: a manufatura enxuta considera qualquer processamento pelo qual o cliente não tenha a intenção de pagar como um desperdício. Esse tipo de atividade pode surgir, por exemplo, da má interpretação dos requisitos comunicados pelo cliente, gerando características ou funções não solicitadas.

A inconsistência no volume de produção também pode dar origem ao sobreprocessamento quando o trabalho extra é realizado para preencher o tempo excedente nos momentos de baixa necessidade de produção.



Exemplificando

Quando um processo tem variação muito grande de demanda, geralmente os recursos e tempos são planejados para que o sistema opere adequadamente em seus momentos de pico (*takt time* mais conservador), acarretando ociosidade aos operadores nos momentos de baixa produção). A ênfase na análise de índice de produtividade de recursos ou departamentos isoladamente, em detrimento da produtividade global do sistema ou falta de planejamento, pode levar operadores e máquinas a executar operações desnecessárias, apenas com o intuito de mantê-los ocupados.

Para combater esses tipos de desperdícios, podemos usar ferramentas da qualidade para entender a voz do consumidor (necessidades não atendidas, frustrações, trabalho a ser executado com o produto), técnicas de balanceamento de linha de produção e de previsão de demanda.

Estoque: você já cedeu à tentação de comprar produtos agrupados em embalagens em quantidades maiores do que você precisava, simplesmente porque estava mais barato, e posteriormente, viu o produto perder a validade em sua despensa? Nesse caso, você criou um excesso de estoque e pagou pelas consequências da decisão. O ponto de venda provavelmente detectou que também tinha um excesso de estoque, mas conseguiu transferir o prejuízo para você a tempo.

Considera-se excesso de estoque qualquer quantidade de matéria-prima, em processo ou produto acabado, além daquela necessária para atender a necessidade do cliente em um dado momento. O excesso de estoque gera *lead times* maiores, risco de produtos se tornarem obsoletos antes do momento de seu uso, degradação (oxidação, perda de validade). Os excessos de estoque também comprometem o fluxo de caixa da empresa, pois o dinheiro que deveria estar disponível para uso em um determinado momento, está comprometido na forma de estoque. Nisso reside uma das grandes diferenças entre o sistema de manufatura enxuto e a produção em larga escala. Enquanto na produção em larga escala a preocupação maior está em produzir com a maior eficiência possível no uso dos recursos, a manufatura enxuta se preocupa em produzir da maneira mais eficiente e no momento mais próximo possível da entrega do produto, apenas aquilo que o cliente esteja disposto a pagar. Isso exige flexibilidade para alterar o *mix* de produção ou até pequenas customizações, sem conturbar demasiadamente o fluxo de produção.

Mais uma vez, o JIT é uma das principais ferramentas para eliminar esse tipo de desperdício.

Movimentos ou deslocamentos desnecessários: a movimentação de produtos ou de pessoas difere do transporte. Neste item, agrupamos principalmente atividades como troca de embalagens (por exemplo, um produto passa de um container ou caixa para outro, de um container para uma prateleira, de um local de estoque para outro local de estoque, de uma filial para outra, e assim por diante) ou operadores se movimentando para procurar ferramentas e instruções de trabalho. A movimentação de produtos para executar reinspeção ou retrabalho em caso de produtos com suspeita de qualidade, também são exemplos importantes desse tipo de ineficiência.

A definição de um layout adequado, JIT e 5S fazem parte das técnicas possíveis para eliminar esse tipo de desperdício.

Defeitos: talvez seja essa a forma de desperdício mais evidente de todas. Além do desperdício com o descarte de produtos defeituosos, também devemos considerar que, cada vez que precisamos consertar um produto, substituir componentes ou inspecioná-lo novamente, não estamos agregando valor a ele, pois, a operação pela qual o cliente deseja pagar já foi executada.

Podemos utilizar, por exemplo, o controle integrado da qualidade

e dispositivos *poka-yoke* para nos auxiliar a reduzir esse tipo de desperdício.



Exemplificando

A empresa XYZ estava acostumada a trabalhar com níveis de estoque muito maiores do que o apropriado para seu nível de demanda. Além disso, fazia parte da cultura organizacional dar importância elevada à eficiência local, muitas vezes em detrimento da eficiência global da empresa. Certa vez, durante um período de retração de mercado, XYZ viu seus estoques realmente cheios e, sem mais espaço para armazenamento, teve que tomar uma decisão: reduzir o ritmo de produção e ver seus índices de produtividade reduzirem ou continuar a produzir mercadorias e mandar grandes quantidades de produtos para seus centros de distribuição. Como a opção foi manter o ritmo da produção e enviar produtos para os centros de distribuição, a empresa também resolveu aumentar o tamanho dos lotes e reduzir o número de produtos diferentes, de forma a otimizar o transporte. Observou-se que a produção de lotes maiores do que o normal levou a erros operacionais por vários motivos (sobrecarga de equipamentos, ferramentas, fornecedores e pessoas, substituição indevida de componentes e processos, etc.) e que vários produtos tiveram que retornar à fábrica para execução de retrabalho ou reinspeção. Além disso, nem todos os tipos de produtos foram enviados para todos os centros de distribuição. Assim, uma segunda operação de transporte, dessa vez entre centros de distribuição, era necessária toda vez que algum produto indisponível em um dos centros era solicitado.

Quanto ao segundo termo, *Mura*, ele se refere à falta de consistência, ou irregularidade. Trabalhos feitos de maneira diferente por diferentes operadores e processos fora de controle estatístico são bons exemplos de falta de consistência, que podem ser causadas por falta de padrões de operação adequados (por exemplo, instruções de trabalho), falta de treinamento ou equipamentos e processos inadequados, entre outros.

Outro tipo de instabilidade importante, à qual devemos dar atenção, é a de demanda provocada pela própria organização. Nessa categoria, podemos citar como exemplos as promoções realizadas para vender grande quantidade de produtos em um curto período de tempo, ou ainda o balanceamento inadequado de linhas. As duas situações acabam por sobrecarregar a linha ou deixá-la ociosa.

Segundo Spearman (2000), as variações (de estoque, defeitos,

tempos de operação, etc.) em um sistema de manufatura sempre serão compensadas por meio de aumento de estoque, redução de capacidade ou aumento de *lead time*. Como em um sistema de manufatura enxuta queremos justamente o oposto com relação a esses três elementos, as causas de variação excessiva devem ser eliminadas. Além disso, o processo estável forma uma base, a partir da qual podemos introduzir a melhoria contínua.

Conceitos já discutidos na unidade anterior, como, flexibilidade de linhas, multifuncionalidade de operadores, isolamento das instabilidades e nivelamento da produção, podem ajudar a evitar as ineficiências desse tipo.

O terceiro termo, *Muri*, significa sobrecarga, ou ainda irracionalidade e se refere a utilizar um recurso além dos limites recomendados.



Reflita

Apesar de olharmos o desenvolvimento de sistemas de manufatura do ponto de vista da sua eficiência, com o objetivo de aumentar a competitividade da organização, você consegue identificar elementos do conceito de manufatura enxuta que contribuem para o aumento do desempenho das empresas no que se refere ao controle de seus aspectos ambientais?

Por exemplo, as variações de demanda vistas anteriormente (*Mura*) podem criar sobrecarga da linha, equipamento e pessoas para atender aos picos de produção.

Possíveis causas para a inclusão desses requisitos nos processos são (não se limitando a essas):

- Ineficiência no planejamento e priorização, resultando em atividades urgentes que devem furar filas e serem concluídas em tempo não razoável ou abaixo do recomendado.
- Programar uma entrega sem conhecer ou considerar o *takt time* de um processo.
- Desconsiderar a disponibilidade de recursos para concluir uma atividade.



Reflita

Ao programar uma atividade, pode ser que tenhamos recursos para concluí-la isoladamente. Porém, se a colocarmos em um mapa

contendo todas as atividades, qual é o resultado? Do que temos que abrir mão para concluir essa atividade? Ao fizermos tais perguntas, somos levados a evitar a produção das causas apropriadas para o surgimento de *Muri*.

Em termos de pessoas, os efeitos dessa ineficiência se manifestam na forma de absenteísmo e acidentes, e pode ser evitado pela padronização do trabalho, 5S e *Jidoka*.

Com relação a equipamentos, os efeitos mais comuns são quebras e desgaste excessivo, podendo inclusive levar a acidentes. As causas de *Muri* podem ser combatidas com manutenção adequada e definição robusta de requisitos mínimos para a seleção de equipamentos e processos.



Assimile

A manufatura enxuta considera qualquer atividade que não agregue valor ao produto como um desperdício (*Muda*), que pode ser classificado em sete tipos (Quadro 2.1):

Quadro 2.1 | Tipos de desperdícios e ferramenta para combatê-los

<i>Muda</i>: desperdício	Ferramentas para combatê-lo
Excesso de produção	JIT, 5S, projeto de layout
Espera	SMED, <i>Jidoka</i> , balanceamento de linha, 5S
Transporte	Projeto de layout de redução de estoques, programação puxada
Sobrep processamento	Voz do consumidor, técnicas de balanceamento de linha e de previsão de demanda
Estoque	JIT
Movimento	JIT, 5S
Defeito	<i>Jidoka</i> , <i>poka-yoke</i>

Fonte: elaborado pelo autor.

Além dos desperdícios, há mais dois tipos de ineficiência (Quadro 2.2):

Quadro 2.2 | Tipos de ineficiências e formas de combatê-las

Ineficiência	Conceito	Ferramentas para combatê-la
<i>Mura</i> :	Variação ou instabilidade	<i>Jidoka</i>
<i>Muri</i>	Sobrecarga, irracionalidade	Linhas de produção flexíveis, multifuncionalidade de operadores, controle estatístico de processo, isolamento das instabilidades e nivelamento da produção

Fonte: elaborado pelo autor.

Para alcançar seus objetivos, um sistema de manufatura enxuto deve controlar, reduzir e eliminar essas ineficiências.

Sem medo de errar

No desafio proposto nesta seção, partimos de uma situação em que uma empresa enfrenta problemas de baixa produtividade, atrasos e refugos acima do desejado. Pergunta-se então, quais são os elementos apresentados no resumo que não agregam valor ao produto e como eles podem ser classificados segundo a manufatura enxuta?

No resumo dos dados apresentados e na Tabela 2.1, pudemos identificar os seguintes desperdícios:

Excesso de produção por antecipação: o cliente demanda entregas semanais, porém, a fabricação do produto é programada e executada apenas uma vez por mês, em um lote que dura aproximadamente 39 horas para ser processado. A última entrega do lote fabricado só vai ocorrer três semanas após sua produção.

Esperas: como as operações de *setup* do recurso gargalo estão atrasadas, o material a ser processado após o *setup* fica esperando o término da troca da ferramenta para poder ser processado.

Refugo: em sistemas de manufatura que trabalham com estoques altos, é comum que alguns componentes se tornem obsoletos. Isso ocorre, por exemplo, quando o design do produto é modificado e a modificação deve ser aplicada imediatamente, mesmo havendo quantidades do produto com a definição antiga no estoque. Além disso, quando algum defeito é detectado após o término da produção e os estoques são altos, há o risco de que grandes quantidades de produtos tenham o mesmo defeito e venham a ser descartados.

Movimentação do operador: da Tabela 2.1 podemos tirar a informação de que, 82 segundos do tempo de produção de cada componente são gastos com o operador caminhando para pegar componentes (valor equivalente à soma dos valores da primeira linha da tabela: $20 + 30 + 20 + 12 = 82$), ou 24% (soma linha 1) ÷ (tempo total) = $82 \text{ segundos} \div 337 \text{ segundos} = 24\%$).

Movimentação das peças: 126 segundos são gastos apenas

movimentando a peça (soma dos valores das linhas “armazenar peças no local da embalagem” e “pegar e posicionar peças”: $(10 + 40 + 20 + 7 + 30 + 7 + 12 = 126)$).

Sobreprocessamento: 16 segundos (soma dos valores da linha “inspecionar”) são gastos com inspeção, que é uma atividade que não agrega valor ao produto.

Sistematizando as perdas conforme a Tabela 2.2, podemos ver que apenas 34%, ou 113 segundos – $(337-224)$, do tempo total gasto na produção do item é empregado em operações que efetivamente transformam o produto.

Tabela 2.2 | Comparação entre tempo total das operações e desperdício

	Movimentação do operador	Movimentação da peça	Sobreprocessamento	Total
	Tempo em segundos (s)			
Desperdício	82	126	16	224
Tempo total das operações				337
Porcentagem de desperdício	66%			

Fonte: elaborada pelo autor.

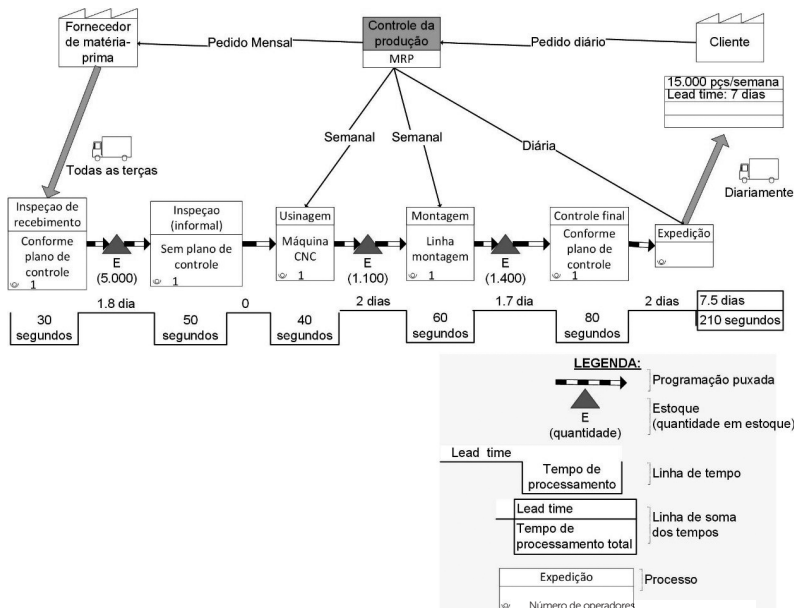
Avançando na prática

Reduzindo desperdícios na Metalúrgica MAPCS

Descrição da situação-problema

Caro aluno, a Figura 2.1 representa o Mapa de Fluxo de Valor de um dos produtos da metalúrgica MAPCS. Os produtos são fornecidos em um ritmo de 15.000 peças por semana. A matéria-prima passa por uma operação de inspeção de recebimento. Porém, como o operador de usinagem (primeiro processo) constantemente identifica rebarbas no componente recebido, e essas atrapalham o processamento, ele acaba realizando mais uma operação de inspeção informal. Após a usinagem o componente vai para a montagem, inspeção final e expedição. A legenda com os símbolos utilizados no mapa está no canto inferior direito da Figura 2.1. Quais são os principais desperdícios possíveis de serem identificados nesse mapa?

Figura 2.1 | Mapa de fluxo de valor de um produto da MAPCS



Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

O principal desperdício observado é o excesso de produção. Podemos observar que cada processo produz a quantidade de produto solicitada pela programação MRP, e não necessariamente o que o processo seguinte necessita, resultando em estoques intermediários (observe as quantidades indicadas logo abaixo dos triângulos). Também podemos observar sobreprocessamento. Os componentes recebidos são inspecionados na chegada conforme um plano de controle, porém, antes de serem usinados eles são inspecionados novamente pelo operador. Inspeções redundantes são comuns quando as inspeções anteriores não são confiáveis. Então, deveríamos concentrar esforços para deixar a inspeção de recebimento mais robusta em um primeiro momento. Melhor ainda seria trabalharmos para assegurar a qualidade da matéria-prima na sua fonte, eliminando a inspeção de recebimento.

Faça valer a pena

1. Uma empresa utiliza componentes fundidos comprados de um fornecedor, para fabricar engrenagens pelo processo de usinagem. No recebimento das peças fundidas, é feita a inspeção de recebimento, durante a qual são escolhidas amostras de acordo com um plano de inspeção. Algumas dimensões e o relatório de matéria-prima são verificados e os resultados anotados no sistema ERP (*Enterprise Resource Management* – Sistemas Empresariais de Planejamento de Recursos). As peças são então transferidas para o setor de usinagem. Antes de serem fixadas na máquina, o operador mede o diâmetro da peça na região utilizada para fixá-la no dispositivo de usinagem em 100% das peças.

Escolha a alternativa que descreve um tipo de desperdício descrito no texto acima.

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| a) Sobreprocessamento | d) Excesso de estoque |
| b) Transporte | e) Espera |
| c) Inspeção | |

2. A fonte mais importante de desperdício é o excesso de produção, que significa produzir em maior quantidade ou antecipadamente em relação à necessidade do cliente. O excesso de produção causa todo tipo de desperdício, não somente excesso de estoque e dinheiro alocado no local de armazenagem (ROTHER; SHOOK, 2012).

Com relação ao excesso de produção, observe as afirmativas de I até IV:

I – A produção em excesso reduz os custos, pois leva o sistema a produzir mais rápido, melhorando a eficiência do uso dos recursos.

II – A produção em excesso resulta em necessidade de capacidade extra de produção, pois parte dos recursos estão sendo utilizados para produzir peças que ainda não são necessárias.

III – A produção em excesso pode resultar em falta de componentes, pois os processos podem estar ocupados, produzindo o produto errado, e não o que o processo seguinte precisa.

IV – A produção em excesso aumenta os custos de fabricação, pois é necessário pessoas, espaço e equipamento especificamente para manusear, classificar e retrabalhar os produtos.

Considere as afirmações para um sistema de manufatura com produção repetitiva em lotes e escolha a alternativa que contém apenas afirmações corretas.

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| a) I e II, apenas. | d) II, III e IV, apenas. |
| b) II e III, apenas. | e) III e IV, apenas. |
| c) I, II, III e IV. | |

3. Na filosofia enxuta, termos japoneses são frequentemente usados para descrever ideias essenciais. A eliminação de desperdício é certamente uma ideia enxuta central. Os termos *Muda*, *Mura* e *Muri* são palavras japonesas que transmitem a ideia de três causas dos desperdícios que devem ser reduzidas ou eliminadas (SLACK; JOHNSTON, 2015).

Com relação a isso, analise as afirmações de I até III:

I – Um produto recebe acabamento superficial apesar de não ser requerido pelo cliente, e a programação da produção tem que ser modificada constantemente, ocorrendo quebra de uma máquina devido ao uso prolongado sem manutenção preventiva.

II – Produto aguardando troca de ferramental para ser processado, cada operador realiza um mesmo processo de maneira diferente, um operador é convocado para substituir outro sem receber treinamento.

III – Um produto passa por operação de usinagem de precisão, o processo produz unidades com medidas acima da especificação nominal, e a máquina trabalha em hora extra para compensar parada devido a uma alteração de layout da fábrica.

Considere as afirmativas de I a III acima e escolha a única que contém exemplos de *Muda*, *Mura* e *Muri*.

- a) I e II, apenas.
- b) II e III, apenas.
- c) I e III, apenas.
- d) II, apenas.
- e) I, II e III.

Seção 2.2

Eliminando desperdício

Diálogo aberto

Caro aluno, a redução de desperdícios é um tema muito importante em um ambiente industrial. Antigamente, a importância da redução de desperdício estava relacionada principalmente ao seu papel na maximização do lucro nas empresas. Atualmente, além dessa função, podemos adicionar o fato de que a redução de desperdício tem uma função socioambiental, pois, quando incorremos em qualquer um dos três tipos de desperdícios sobre os quais aprendemos na Seção 2.1 (*Muda, Mura, Muri*), estamos utilizando recursos naturais de forma indevida, ou ainda causando danos à saúde do trabalhador.

Na primeira seção desta unidade aprendemos quais são os principais tipos de desperdícios nos sistemas de manufatura, segundo a filosofia da manufatura enxuta. Também estudamos sobre a importância de eliminar e evitar esses desperdícios, mas apenas citamos rapidamente algumas maneiras de fazer isso. Agora, nesta segunda seção, vamos estudar de maneira mais detalhada algumas dessas técnicas, além de apresentar mais algumas.

O contexto criado no *Convite ao estudo* da Unidade 1 vai permitir que você aplique essas técnicas para resolver a quinta parte do seu plano de ação, dividido em um total de seis partes, proposta logo a seguir. Portanto, sugerimos que você leia o contexto de aprendizagem novamente.

Na quarta etapa do seu plano de ação, você identificou as principais perdas no sistema de manufatura. Sua lista provavelmente continha os seguintes itens:

- Excesso de estoque, tanto de produto acabado quanto de estoque intermediário, causando perdas por problemas de qualidade e obsolescência de componentes.
- Atrasos constantes na troca de ferramental.
- Sobreprocessamento, relacionado à inspeção de recebimento e reinspeção antes do processamento de componentes.

Considerando a lista com as principais fontes de desperdício em

sua unidade, quais são as técnicas de prevenção, melhoria, controle da qualidade ou método de resolução de problemas mais adequados para cada item da lista?

Após ler esta seção, você terá conhecido alguns dos principais métodos para encontrar e evitar as fontes de desperdícios em ambientes industriais, como o que você está inserido, sendo eles: controle integrado de qualidade, *Kaizen*, projetos seis sigma e MASP (Metodologia de Análise e Solução de Problemas). Com esse conhecimento, você conseguirá resolver essa situação de maneira apropriada.

Não pode faltar

A eliminação de desperdícios em um sistema de manufatura é uma tarefa tão importante quanto difícil. Felizmente, há métodos estruturados que podem nos auxiliar nessa jornada.

Vamos iniciar nosso estudo por aquela que, devido a sua simplicidade e possibilidade de abranger uma grande extensão de tipos de problemas, é uma das ferramentas mais aplicadas nos sistemas de manufatura: o *Kaizen*.

Kaizen é um termo em japonês que significa “Melhoria Contínua”, envolvendo todos os níveis organizacionais e com baixo custo. Por melhoria contínua, entende-se a evolução constante de um sistema (em nosso contexto, um sistema de manufatura) em direção a um resultado esperado, trazendo benefícios significativos ao longo do tempo. O *Kaizen* também considera que a prática de buscar melhorias incrementais e constantes deve ser aplicada não apenas a nossa vida corporativa, mas também ao contexto pessoal, familiar e social. Esse conceito foi difundido por Masaaki Imai a partir de sua publicação *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo* (1986). O *Kaizen* é uma técnica de trabalho, do qual participam representantes das áreas afetadas pelo problema. Alguns *Kaizens* exigem que o grupo se reúna em eventos que podem durar de um dia a algumas semanas, e utilizam técnicas de geração de ideias, mapeamento de fluxo de valor, entre outras (vamos ver algumas delas logo a seguir) para atingir seu objetivo. Geralmente o evento é liderado por um facilitador, que deve garantir a manutenção do foco na discussão do problema em questão e a coerência com os conceitos do *Kaizen*.



Exemplificando

Shimokawa e Takahiro (2011) relatam uma situação em que Taiichi Ohno solicitou a um grupo de *Kaizen* a implementação de ações que aumentassem a produtividade de uma linha de produção de veículos. Orgulhoso com o resultado obtido, um dos responsáveis pelo *Kaizen* levou a notícia para Taiichi Ohno de que a produção havia sido elevada para 8 veículos por hora. A resposta foi a seguinte: "Que ótimo, assim podemos elevar nossa produção para dez veículos por hora na próxima semana". Quando o objetivo foi atingido, a equipe ganhou o novo desafio: elevar a produção para doze veículos por hora. A situação se repetiu ao longo de várias semanas, até que um número de 20 veículos por hora foi atingido. Ao contrário do que se possa pensar inicialmente, a mudança não ocorreu com grandes investimentos em automação nem conceitos disruptivos, mas com ideias obtidas e implementadas com o apoio dos próprios operadores, centrados no objetivo de facilitar e simplificar o trabalho, desafiados e ao mesmo tempo apoiados pela liderança da empresa.

Segundo Imai (2012), o conceito de *Kaizen* é suportado por seis fatores chave, explicados a seguir.

O primeiro fator é a **atuação dos gestores**. De acordo com o conceito de *Kaizen*, um gestor deve executar dois papéis importantes.

Um deles é a manutenção dos padrões tecnológicos e operacionais, por meio de treinamento e outras ações que motivem a conduta de todos de acordo com esses padrões. Por exemplo, ao implementar um novo processo, os gestores das áreas afetadas pela mudança devem se assegurar de que as atividades a serem executadas estão devidamente documentadas. A documentação deve conter informações relevantes para descrever a melhor forma encontrada, até então, para que a atividade seja executada. Além disso, as instruções devem ser suficientemente detalhadas em linguagem apropriada para o entendimento de todos os afetados pelo novo processo, e o gestor deve assegurar que todos a entendem, se comprometem a executar as tarefas dessa forma, e analisar quaisquer desvios. Dessa maneira, uma base estável e regular de trabalho é formada.

O outro papel é melhorar e tornar mais eficiente os padrões em uso. Ao longo do tempo, o gestor deve desafiar seus liderados e participar de seus esforços para encontrar formas mais eficientes de executar o trabalho e tecnologias mais adequadas, encontrando

padrões mais eficientes de trabalho. Esses devem ser documentados e compor um novo padrão operacional e de desempenho. É importante ressaltar, que as atividades de investigação e de tentativas de melhoria não devem comprometer a base de trabalho atual, e devem ser tratadas à parte do contexto normal de produção.

O segundo fator importante no conceito de Imai (2012) é a visão de que **apenas os processos corretos levam aos resultados esperados**. Assim, para alcançar melhores resultados devemos melhorar os processos e, portanto, boa parte dos esforços de um gestor deveria estar concentrada em melhorar os processos. Ao contrário dessa recomendação, muitos gestores se concentram apenas em acompanhar os resultados.

Agir de acordo com o ciclo **PDCA** (acrônimo para *Plan, Do, Check, Act*, ou Planejar, Executar, Verificar e Atuar ou corrigir a rota) é o terceiro fator.

Há cerca de 500 anos a.C., o grande general Ciro II (590-530 a.C.) já ensinava: "Planeje antes, de forma que você sempre possa manter seu exército bem suprido" (HEDRICK, 2007, p. 15). Sendo ele considerado um dos maiores conquistadores da história, o aluno há de concordar que seus ensinamentos devem ser pertinentes.

Filosofia à parte, é justamente o passo de planejamento ao qual menos damos atenção em nosso dia a dia. No afã de resolver o mais rápido possível um problema (nesse contexto, considere problema como qualquer diferença entre uma meta e a situação atual), partimos para a ação sem antes considerar a sua causa fundamental, nem os recursos necessários para resolvê-los. No contexto do *Kaizen*, na etapa de planejamento devemos definir claramente uma meta para melhorar o processo em análise. Para se assegurar que a meta está definida de forma clara, podemos utilizar o conceito de meta SMART (acrônimo para *Specific* – Específica, *Measurable* – Mensurável, *Attainable* – Atingível, *Relevant* – Relevante, *Time based* – Temporal). Segundo esse conceito, para a definição de uma meta estar completa, devemos assegurar que ela é específica, ou, não deve haver dúvidas sobre o seu significado e escopo. A meta também deve ser mensurável, ou seja, devemos ser capazes de representar a meta por uma grandeza possível de ser contada. A meta também deve ser atingível, ou seja, deve haver indícios de que ela possa ser conquistada com esforços razoáveis. Outro ponto importante, é que a meta seja

relevante, e que seja possível demonstrar uma correlação direta entre o atingimento da meta e um benefício gerado para a organização. Finalmente, para ser completa, é necessário que seja estabelecido um prazo para atingir a meta.

O segundo passo do ciclo PDCA diz respeito à execução. Segundo Bossidy, Charan e Burck (2009), a primeira explicação vinda à tona quando uma organização falha em entregar o que prometeu, é de que a estratégia do CEO estava errada, porém, de acordo com a visão apresentada ao longo da obra, na maior parte das vezes, o problema não é a estratégia, mas sim, problemas na execução da estratégia. Portanto, de nada adianta elaborarmos uma estratégia perfeita no primeiro passo do PDCA, mas não seguirmos os próximos passos, a execução, a verificação e a correção de forma diligente.

O próximo passo, a verificação, diz respeito a assegurar que o plano está sendo seguido e de que, no final, os resultados almejados foram alcançados conforme o planejado.

O último passo do ciclo PDCA, atuar, diz respeito a padronizar e revisar ou criar novos procedimentos para impedir a recorrência do problema, estabelecer metas para novas melhorias, ou fazer um novo planejamento, caso sejam identificadas não conformidades na etapa de verificação.

O conceito de PDCA é a base de outros ciclos de planejamento e execução que surgiram ao longo do tempo para atender necessidades mais específicas. Alguns deles são o DMAIC e DMADV e o Método de Análise e Solução de Problemas (MASP).

DMAIC é um acrônimo para *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyse* (analisar), *Improve* (melhorar), *Control* (controlar) e DEMADV é outro acrônimo similar ao DMAIC, substituindo *Improve* por *Design* (projetar) e *Control* por *Verify* (verificar o design). O método DMAIC é utilizado para analisar e melhorar um processo já implementado. O DEMADV é utilizado na fase de projeto de um processo.

O MASP contém oito passos para a resolução de um problema: identificação clara do problema, investigação de suas características específicas, análise e descoberta das causas fundamentais que levaram à ocorrência do problema, estabelecimento de um plano de ação para eliminação da causa fundamental, executar o plano de ação, verificar se as causas fundamentais foram eliminadas, revisar os padrões de trabalho para evitar novas ocorrências e documentar o

processo para uso posterior.

Como quarto fator importante, Imai (2012) identifica o estabelecimento da **qualidade como prioridade sobre os demais objetivos** importantes da organização. Por mais atrativo que o custo ou condições de entrega possam ser, uma organização não vai ser competitiva se a qualidade dos produtos ou serviços for inferior à expectativa do consumidor.

O quinto fator é a importância da análise de dados. O Kaizen é um processo de resolução de problemas e, como tal, baseia-se na **coleta e análise de dados** relevantes como fonte para a correta descrição e entendimento de um problema e a criação de um ponto de partida para a melhoria do processo.

O sexto e último fator é a consideração de que o **próximo processo é o cliente**. Qualquer trabalho é composto de uma série de processos, com clientes e fornecedores, que podem ser tanto internos, ou membros da organização, como externos. Se cada processo encarar a próxima etapa como um cliente, comprometendo-se a não passar produtos ou informações defeituosas adiante, o cliente final receberá um produto também livre de problemas.



Pesquise mais

Masaaki Imai, que sistematizou o conceito de *Kaizen*, esteve no Brasil em 2014 como palestrante no Fórum Nacional de Lean, e concedeu uma entrevista durante o evento. Assista ao vídeo a seguir para, em poucos minutos, ouvir do próprio Masaaki Imai, uma explicação sobre os principais pontos dessa filosofia.

IMAI, Masaaki. **O que é Kaizen e o que significa Lean?** São Paulo: Grupo Lean, 2014. Son., P&B. Legendado. Disponível em: <<http://grupolean.com.br/video/masaaki-imai-o-que-e-kaizen-e-o-que-significa-lean>>. Acesso em: 7 maio 2017.

Outro método importante para a prevenção de desperdícios é chamado de **controle integrado da qualidade**, autonomia, ou pelo seu nome original na manufatura enxuta, *Jidoka*. O controle integrado da manufatura consiste em dispositivos integrados ao processo, com a função de detectar falhas assim que elas acontecem, e avisar o operador, ou seu supervisor, que alguma coisa está errada. A

intenção dessa técnica é projetar sistemas automáticos que permitam a operação das máquinas sem a necessidade de um operador inspecionar o resultado do trabalho, pois o sistema o comunica através de alarme ou indicação de parada quando ocorre um problema, permitindo que sejam tomadas decisões baseadas nessa informação. As principais ferramentas utilizadas para executar essa função são os Andons, que já foram apresentados na primeira seção da Unidade 1, sensores e dispositivos à prova de erro, chamados *poka yoke*.



Exemplificando

Alguns exemplos de dispositivos *poka yoke* comumente encontrados em sistemas de manufatura são:

- Um ventilador criando um fluxo de ar que desvia da esteira as embalagens com peso muito menor do que o especificado, e, portanto, devem estar vazias ou com quantidade menor de produto.
- Um sensor que detecta a sequência de retirada de componentes do bordo de linha pelo operador, evitando que componentes sejam montados na sequência errada.
- Um dispositivo que não permite a montagem errada de um componente em um dispositivo de usinagem.

Mas, e se o próprio dispositivo à prova de erros falhar? Pode parecer uma pergunta paranoica, porém, já observamos isso acontecer inúmeras vezes. Quando um sistema para garantir a operação do processo à prova de erros é instalado, devemos considerar que o próprio dispositivo *poka yoke* possui certos modos de falha, como sensores com mau contato, descalibrados, mau posicionados, ajustes manuais errados ou partes desgastadas.

Acreditamos que você pode imaginar o quão desastroso pode ser o resultado de um dispositivo *poka yoke* funcionando de forma inadequada. Grandes quantidades de produtos podem ser processadas, confiando que, uma vez aprovado pelo *poka yoke*, o produto esteja em conformidade com os requisitos. Felizmente, a contramedida para essa situação é simples, embora muitas vezes ignorada: aconselha-se que tenhamos peças com os tipos de defeito que o dispositivo *poka yoke* deve identificar como peças padrão. A seguir, criamos uma rotina periódica e com frequência não muito

baixa (a cada turno, ou uma vez por dia, por exemplo), para passar as peças padrão pelo dispositivo e verificar se ela é realmente identificada como peça defeituosa. Caso o dispositivo não acuse o defeito, sabemos que alguma coisa está errada. Além disso, é importante garantir a frequência de calibração de qualquer sensor presente no *poka yoke*, e proteger qualquer elemento que possa ser ajustado manualmente contra ajustes inadequados (lacres, senhas, etc.).



Refleta

Os dispositivos *poka yoke* devem ser dispositivos simples e de fácil manuseio. Estudamos, nesta seção, a aplicação deles em um sistema de manufatura. Que outras aplicações você consegue imaginar para dispositivos *poka yoke* no seu dia a dia, ou nas operações ligadas aos serviços que você utiliza todos os dias?

A necessidade desse tipo de dispositivo (*poka yoke*) muitas vezes é evidenciada tardiamente, como forma de reação a repetidas falhas ocorridas no processo. Mas e se pudéssemos determinar a necessidade desse tipo de dispositivo antes mesmo de produzir qualquer defeito? Esse é o objetivo de uma técnica de prevenção de defeitos chamada PFMEA, um acrônimo para *Process Failure Mode and Effect Analysis* (Análise de Modo de Falha e Efeito do Processo). Trata-se de uma técnica de análise de risco, na qual utilizamos a opinião de especialistas, experiência de processos similares e técnicas de geração de ideias para identificar falhas potenciais no processo. Em seguida, julgamos a probabilidade dessa falha ocorrer (índice de ocorrência, "O"), a severidade da falha, ou quão grave é o efeito produzido caso ela ocorra (índice de severidade, "S"), e a probabilidade de que a falha seja detectada pelo processo (índice de detecção, "D"). O risco total é calculado pela multiplicação dos três índices ($\text{risco} = S \times O \times D$). O passo seguinte é determinar planos de ação para aquelas falhas com maior risco. Uma das ações pode ser aumentar o índice de detecção utilizando-se dispositivos *poka yoke*, ou alterando o projeto do processo, reduzindo a probabilidade de ocorrência da falha.



Pesquise mais

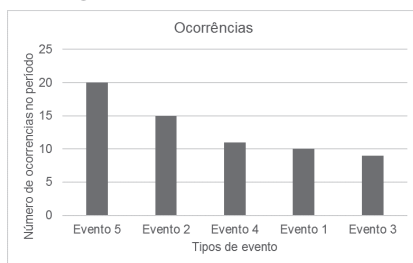
O FMEA é uma importante ferramenta na engenharia de projeto de produto e de processos. No sexto capítulo do livro de Carpinetti (2016),

you can find detailed explanations of this tool. Take advantage to consult it on the site Minha Biblioteca.

CARPINETTI, Luiz Ribeiro. **Gestão da qualidade: Conceitos e Técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

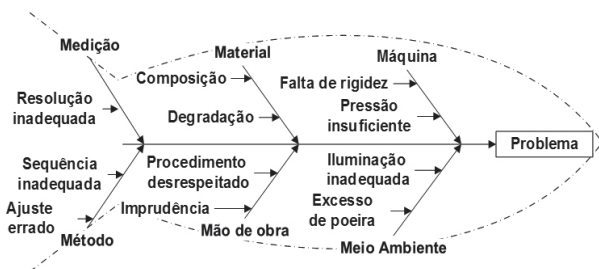
Outra abordagem possível para a eliminação de desperdícios é o uso da metodologia Seis Sigma. O termo Seis Sigma como metodologia para resolução de problemas foi primeiramente utilizado pela Motorola, para identificar projetos de melhoria com um viés muito mais centrado em métodos estatísticos e dados numéricos em contraste com outros projetos que se baseavam mais em opiniões. Esse método parte do conceito de dispersão estatística, medida na forma de desvio-padrão e várias ferramentas analíticas, como o ciclo DMAIC e DEMADV, DOE – *Design of Experiments* (delineamento de experimentos), Diagrama de Pareto (Figura 2.2), Diagrama de Causa e Efeito (Figura 2.3), entre outras, para identificar a causa de não conformidades ou de variações de processo indesejadas e eliminá-las.

Figura 2.2 | Exemplo de diagrama de Pareto



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 2.3 | Exemplo de diagrama de causa e efeito



Fonte: elaborada pelo autor.



Vamos detalhar um pouco melhor, mesmo que de maneira bem sucinta, o significado de algumas ferramentas utilizadas no método Seis Sigma:

DOE: o DOE utiliza uma série de conceitos estatísticos para otimizar o planejamento de um teste. O uso adequado do DOE permite que identifiquemos, entre muitas variáveis de um processo, aquelas que influenciam de maneira significativa no fenômeno que estamos estudando. Para isso, são utilizados testes matemáticos que estabelecem a correlação entre diferentes variáveis. Além disso, por meio do uso de árvores de amostragem, o DOE fornece uma maneira de otimizar o número de amostras e testes necessários para abranger todas as combinações dessas variáveis e de sua intensidade, mantendo a confiabilidade nos resultados em níveis aceitáveis (CARPINETTI, 2016).

Diagrama de Causa e Efeito: também conhecido como diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou diagrama de espinha de peixe (Figura 2.3), devido ao seu formato característico. Essa ferramenta considera que as origens das variações de processo podem ser atribuídas a uma das seis classes mostradas no diagrama: material, mão de obra, máquina, método, medição ou meio ambiente. Como o nome das seis classes de causas é iniciado pela letra M, essa ferramenta também é lembrada pelo nome 6Ms.

Diagrama de Pareto: essa ferramenta é utilizada para ordenar a frequência de acontecimentos de um determinado evento e auxiliar na definição de prioridades. Por exemplo, em um sistema de manufatura, podemos ter vários tipos de refugo em um determinado processo. Os tipos de refugo podem ser estratificados e apresentados na forma de um gráfico de barras, como mostrado na Figura 2.2.

Nesta seção, estudamos vários elementos e conceitos de algumas abordagens de melhoramento de processos. É importante lembrar que, ao longo do tempo, as técnicas de resolução de problema evoluem e, de tempos em tempos, são organizadas e reunidas novamente em diferentes abordagens que muitas vezes agrupam abordagens já existentes anteriormente. Um exemplo claro é o Lean Seis Sigma, que reuniu as ferramentas e conceitos da manufatura enxuta e da abordagem seis sigma, e organizou-as em um mesmo pacote.

Sem medo de errar

Caro aluno, no *Convite ao estudo* da Unidade 1, criamos um contexto no qual você deve apresentar ao CEO da companhia um plano de ação para melhorar a eficiência de uma unidade de manufatura da qual você se tornou gerente geral. Nesta seção, você deve apresentar a parte do plano de ação em que você propõe as ferramentas a serem utilizadas na tratativa dos principais problemas identificados e listados na seção anterior: excesso de estoque, trocas de ferramental constantemente atrasadas e inspeções redundantes.

Com relação ao primeiro problema, excesso de estoque, devido à abrangência de áreas interessadas, e que possivelmente deverão fazer parte do plano de ação, a metodologia de *Kaizen* é a ferramenta mais indicada. Durante a realização do *Kaizen*, representantes das áreas interessadas devem ser reunidos sob a coordenação de um facilitador do *Kaizen*. Inicialmente, o grupo deveria se dedicar a construir o mapa de fluxo de valor atual, e o fluxo de valor futuro, sem os estoques indesejados. Em seguida, o grupo pode utilizar ferramentas analíticas (como as apresentadas nesta seção), e eliminar os fatores que possam dificultar a implementação do fluxo de valor futuro (excesso de refugo, processos não confiáveis, atrasos, e assim por diante).

O segundo problema, os atrasos constantes na troca de ferramental, provavelmente é uma das razões pelas quais a unidade trabalha com estoques altos, que servem como estoque de segurança para atrasos desse tipo. Assim sendo, esse problema também poderia ser tratado durante o mesmo *Kaizen*.

Com relação ao terceiro problema, as inspeções redundantes, vamos resumir a descrição da situação: um determinado componente é recepcionado na área de recebimento de material e inspecionado. Posteriormente, antes de ser usinado, o operador realiza uma nova inspeção, pois ele ainda encontra defeitos no componente. Nesse caso, recomenda-se que a prevenção do problema ocorra o mais próximo possível da fonte. Portanto, como primeiro passo, poderíamos revisar a Análise de Modo e Efeito de Falha (PFMEA) do componente com o fornecedor e verificar se o modo de falha que produz os defeitos identificados pelo operador está sendo considerado, e quais os controles previstos. A partir dessa revisão, podemos sugerir novos métodos de controle ou prevenção da ocorrência do problema como o uso de dispositivos *poka yoke*.

Avançando na prática

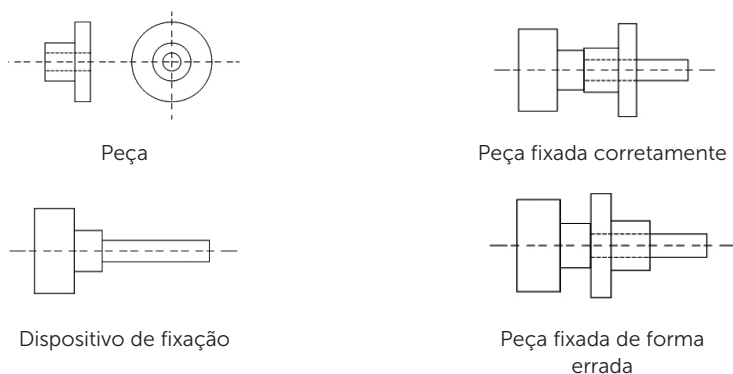
Não culpe as pessoas, melhore o processo!

Descrição da situação-problema

A operação de usinagem descrita na Figura 2.4 é executada em uma empresa metalúrgica. Ocorre que, constantemente, a peça é posicionada de forma errada, causando uma colisão entre a ferramenta de usinagem e a peça, danificando o equipamento. A cada vez que isso ocorre, um grande transtorno é causado devido à parada de máquina não prevista, manutenção corretiva, sem falar no risco de acidente com o operador.

Como podemos melhorar esse processo garantindo que o erro não ocorra?

Figura 2.4 | Fixação da peça no dispositivo de usinagem



Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

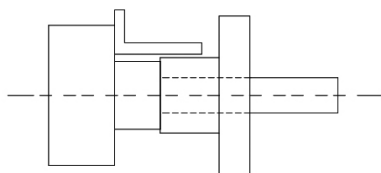
A implementação de um sistema de manufatura enxuta deve ser apoiada por processos robustos, que não dependam unicamente da atenção de operadores para que as falhas não aconteçam.

A descrição mais fácil e óbvia da causa raiz de um problema como o descrito na situação-problema é "erro operacional", ou "falta de atenção do operador". Apesar de ser uma descrição comumente encontrada no mundo corporativo, devemos sempre utilizar o raciocínio crítico e considerar que, se dependermos apenas da atenção do operador, é uma questão de tempo até que a falha aconteça, e decidir se aceitamos essa possibilidade ou não.

Caso a falha não seja aceitável, como é o caso desse exemplo, por envolver além do refugo e parada de máquina, o risco de acidente, devemos encontrar soluções preventivas mais robustas.

No caso do exemplo dessa situação-problema, podemos utilizar o conceito de dispositivo *poka yoke* para evitar a falha. Conforme indicado pela Figura 2.5, a simples colocação de uma trava em forma de "L", pode evitar a montagem da peça de maneira errada. Esse exemplo traduz um dos conceitos do *Kaizen* apresentados no tópico *Não pode faltar* desta seção, segundo o qual os processos corretos levam aos resultados desejados e, portanto, devemos concentrar nossos esforços na melhoria dos processos.

Figura 2.5 | Fixação da peça no dispositivo de usinagem com *poka yoke*



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. A manufatura enxuta é baseada em princípios de redução de desperdícios obtidos em ciclos de melhoria contínua e produção de mudanças incrementais na organização e, para isso, utiliza uma série de ferramentas e conceitos.

Com relação à técnica denominada *Kaizen*, é correto afirmar:

- a) O *Kaizen* é uma técnica de redução de desperdício, que busca a eliminação de defeitos na manufatura por meio do uso de dispositivos à prova de erro e design robusto de processos.
- b) O *Kaizen* é uma técnica de redução de desperdício, que busca a eliminação de perdas por meio da análise de tempos e movimentos do processo, evitando que movimentos e transporte desnecessários sejam executados.
- c) O *Kaizen* é uma técnica de melhoria contínua, que produz mudanças incrementais, cujos objetivos principais são a eliminação da sobrecarga de trabalho ou esforço, do desperdício de recursos e nas variações ou irregularidades de ações e resultados do processo.
- d) O *Kaizen* é uma técnica de melhoria contínua que produz mudanças incrementais, cujo principal objetivo é a redução de custo de produção e maximização do lucro e benefício obtidos pela fabricação do item.

e) O *Kaizen* é uma técnica de balanceamento da produção, que busca a redução de desperdício por meio da eliminação de irregularidades e carga de trabalho entre as diversas etapas do processo, evitando sobrecarga em alguns postos de trabalho e ociosidade em outros.

2. Um dos pilares da manufatura enxuta é a eliminação de desperdícios na produção. Várias técnicas e ferramentas foram desenvolvidas ao longo do tempo com esse objetivo, como *Jidoka*, *poka yoke*, *Heijunka*, *Just in Time*, *Kaizen*, entre outras.

Jidoka é uma técnica utilizada para:

- a) Identificar falhas no processo e avisar o operador ou supervisor.
- b) Garantir a entrega no momento certo ao cliente.
- c) Garantir a entrega na quantidade certa ao cliente.
- d) Balancear a produção.
- e) Evitar o desperdício de movimentos na manufatura de um produto.

3. Segundo a filosofia da manufatura enxuta, os desperdícios e ineficiências dos sistemas de manufatura devem ser identificados e minimizados ou eliminados. O PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*) é uma Técnica que pode auxiliar a redução de desperdícios por refugo.

Escolha, entre as alternativas a seguir, a única que contém uma afirmação verdadeira.

- a) A técnica de PFMEA é uma forma de fazer o controle de risco e aumentar a confiabilidade do produto e processo.
- b) Para elaborar o PFMEA a única informação necessária é a opinião de especialistas do fornecedor.
- c) O uso do PFMEA pode auxiliar na redução de perdas do tipo refugos e estoque.
- d) O índice de risco do PFMEA é obtido a partir dos índices de severidade da falha, probabilidade de que ela ocorra e de que seja detectada.
- e) O PFMEA normalmente serve de dado de entrada para o *Design Failure Mode and Effect Analysis* (DFMEA).

Seção 2.3

Otimizando o processo e eliminando gargalos

Diálogo aberto

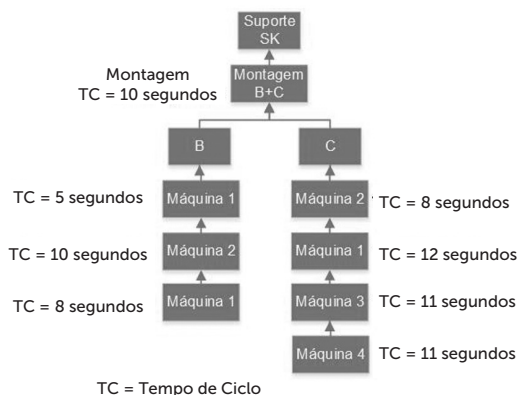
Caro aluno, é importante que um sistema de manufatura esteja em constante processo de melhoria. Essa é uma área em que a criatividade e a capacidade de resolução de problemas por parte dos engenheiros são muito apreciadas pelo mercado de trabalho. Outra boa notícia a esse respeito, é que existem técnicas gerenciais que permitem o aumento da eficiência de um sistema de manufatura apenas com a alteração de padrões operacionais, sem exigir grandes investimentos e alterações estruturais no sistema.

Nesta seção, vamos abordar duas dessas técnicas, o *Just in Time* e a Teoria das Restrições, e como essas duas teorias tratam o tamanho dos lotes. Também vamos estudar sobre os tipos de manutenção e como eles afetam o seu dia a dia. Você poderá exercitar o uso desses conceitos elaborando a última etapa do seu plano de ação. Se precisar, volte ao *Convite ao estudo*, da Unidade 2, para relembrar o nosso contexto de aprendizagem.

Dando prosseguimento à última etapa do plano de ação, a eficiência medida na sua fábrica já deve estar bem maior e o CEO de sua empresa resolveu verificar in loco o que você tem feito. Durante a visita, ele reconheceu o seu esforço e apontou alguns aspectos para os quais você deve dar um pouco mais de atenção. Por exemplo, algumas máquinas importantes no fluxo de produção têm uma disponibilidade abaixo do esperado e alguns estoques intermediários parecem altos. Durante a conversa, o CEO solicitou que você identificasse oportunidades para aumentar a disponibilidade de produtos sem aumentar os estoques.

Considere para isso a Figura 2.6. Nela, as etapas de produção dos componentes do suporte SK, dois componentes forjados que chamaremos a partir de agora de componente B e componente C, estão identificadas. As máquinas são utilizadas durante dois turnos inteiros, exclusivamente para o processamento dos componentes B e C. O tempo de ciclo (TC) de cada processo é indicado ao lado de cada etapa.

Figura 2.6 | diagrama de produção do suporte SK



Fonte: elaborada pelo autor.

A disponibilidade das máquinas de 1 a 4, considerando as trocas de ferramentas de paradas para manutenção, são respectivamente: 70%, 75%, 70% e 72%.

Quais medidas você propõe para, conforme solicitado pelo CEO, aumentar a disponibilidade de produtos sem aumentar os estoques?

Para fazer o seu planejamento, você deve compreender o conceito de recurso gargalo e seu papel como restrição ao aumento de capacidade do sistema, conforme apresentado pela Teoria das Restrições. Também é importante que você compreenda o conceito e a aplicação do *Just in Time* e a formação dos lotes econômicos.

Não pode faltar

Caro aluno, nesta seção, vamos abordar dois dos principais conceitos relacionados à filosofia de gestão da produção que podem nos auxiliar a otimizar um processo: a Teoria das Restrições (TOC, do original em inglês: *Theory of Constraints*) e o *Just in Time* (JIT), sobre o qual já comentamos algumas vezes nas seções anteriores. Vamos iniciar nosso estudo com a TOC. Logo após, vamos estudar sobre o JIT e, no final, faremos uma comparação entre os dois conceitos.

A TOC é um método para a resolução de conflitos aplicável a qualquer área em que exista um conflito ou restrição a ser gerenciado. Ela parte do conceito segundo o qual um sistema pode ser descrito na forma de uma cadeia de atividades, e apenas uma delas limita a

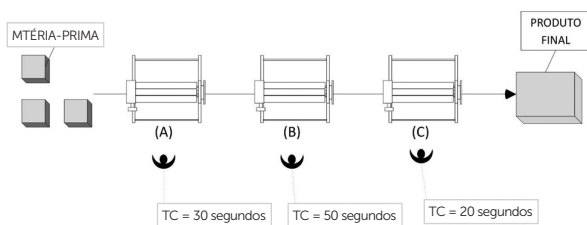
capacidade total do sistema. A atividade ou o recurso que limita a capacidade do sistema é chamada de gargalo, em alusão ao gargalo de uma garrafa. Da mesma forma que o gargalo de uma garrafa limita a passagem de líquido, não importando o diâmetro do corpo do objeto, um sistema de manufatura tem sua capacidade limitada pela etapa com menor capacidade de processamento, não importando qual seja a capacidade dos recursos anteriores a ele no fluxo de produção. Portanto, a TOC pode ser aplicada como uma ferramenta de otimização de processos.



Exemplificando

A Figura 2.7 representa uma linha de produção com três etapas, A, B e C, com tempos de ciclo de 30, 50 e 20 segundos. A capacidade de produção dessa linha é limitada pela etapa B, portanto, B é o recurso restritivo ou o gargalo de produção.

Figura 2.7 | Tempos de ciclo em uma linha de produção



Fonte: elaborada pelo autor.

A abordagem da TOC para otimização de processos envolve cinco passos: identificar o gargalo, explorá-lo, subordinar o processo a ele, elevar sua capacidade e identificar o próximo.

A primeira etapa, identificação do gargalo, consiste em **identificar** o recurso que impede o processo de entregar produtos em maior quantidade ou velocidade. Na Figura 2.7 e no exemplo apresentado alguns parágrafos antes, podemos facilmente identificar a etapa B do processo como sendo o gargalo: ele é o recurso com menor capacidade produtiva.

Agora, tente imaginar o mesmo exercício em um sistema de manufatura que produz vários produtos com roteiros e composições diferentes. À medida que a complexidade do sistema aumenta, mais difícil se torna a identificação do gargalo. Em sistemas mais complexos, os equipamentos de produção podem ser compartilhados para a

fabricação de vários tipos de produtos e roteiros de produção que se cruzam. Nesse caso, a análise dos fluxogramas de produção e o mapeamento de fluxo de valor podem ser de grande valia na identificação dos gargalos. Além disso, podemos pesquisar a localização e quantidade dos estoques intermediários. Normalmente, há uma grande quantidade de material aguardando a vez para ser processado pelo gargalo de produção. Além disso, também podemos investigar os atrasos de produção: há grande chance de que os roteiros de produção dos produtos atrasados passem pelo recurso gargalo.

Após identificar o gargalo, devemos **explorá-lo**. Antes de pensar em aumentar a quantidade de recursos de produção (mais máquinas, mais operadores, robôs, etc.), é sensato tentar otimizar a capacidade de produção do recurso gargalo. Isso significa que devemos investigar formas de diminuir a carga de trabalho desse recurso, utilizando roteiros alternativos de produção ou terceirizando uma parte da produção que supra tais necessidades.

Quando comparamos um fluxo de produção com uma garrafa sendo esvaziada, fica claro que não adianta produzir componentes em quantidade muito maior que o recurso gargalo pode processar. **Subordinar** o processo à restrição significa nivelar a produção de acordo com o ritmo do recurso restritivo. Voltando ao exemplo da Figura 2.7, podemos ver que de nada adianta a etapa (A) do processo continuar a operar em um ritmo de 20 segundos por peça, enquanto a etapa seguinte (B) só pode processar uma peça a cada 50 segundos. Tudo o que vamos conseguir é o aumento de um estoque intermediário entre A e B. Nesse ponto, devemos admitir que A fique ocioso durante alguns períodos, contrariando a máxima de que nenhuma máquina pode ficar parada para não diminuir os índices de produtividade. Porém, se pensarmos que no final das contas não estamos diminuindo o ritmo ou capacidade de entregar produtos, podemos ir dormir tranquilos. Além disso, subordinar o processo à restrição significa que todo o restante do processo deve suportar o recurso gargalo. Isso significa não o alimentar com peças defeituosas e garantir seu estado de manutenção.



Pesquise mais

O vídeo indicado a seguir contém uma interessante demonstração do conceito de gargalo de produção, e de como devemos lidar com ele..

Aproveite para assisti-lo! Em aproximadamente 6 minutos, você pode fixar um importante conceito relativo à otimização de sistemas de manufatura.

THEORY of CONSTRAINTS TOC 3: Bottle Oiled Wheels Demonstration. 2013. Son., P&B. Legendado. Disponível em: <<https://goo.gl/3BAiUE>>. Acesso em: 14 maio 2017.

Uma analogia frequentemente citada no contexto da TOC é o do tambor, corda e pulmão. Segundo essa analogia, o tambor é o processo que dá o ritmo da produção para as demais etapas do processo, tanto antes quanto depois do gargalo. O pulmão representa os estoques de segurança, mantidos entre os recursos não gargalo e o recurso gargalo, e servem para garantir que o recurso gargalo esteja sempre abastecido. A corda significa a comunicação entre o recurso gargalo e os demais recursos, sinalizando o momento e quantidade de produtos a ser produzido.

Agora que o processo está fluindo no mesmo ritmo que o recurso gargalo, se quisermos aumentar a velocidade ou a capacidade de produção do processo, fica claro que devemos aumentar a capacidade do recurso gargalo (ou **eleva a restrição**, para usar o vocabulário mais comum da TOC) tornando-o mais rápido e mais confiável.

As técnicas de manutenção proativas podem aumentar a disponibilidade do equipamento pela diminuição de paradas não esperadas, permitindo que as manutenções sejam feitas de forma programada, em horários em que o recurso gargalo normalmente não está em uso, tornando o equipamento mais confiável. A Manutenção Produtiva Total (TPM), por exemplo, é uma filosofia de manutenção abrangente e sistêmica que envolve todos os níveis da empresa. No chão de fábrica, a TPM preconiza que o próprio operador deve assumir a responsabilidade de manutenção do seu equipamento, criando um autogerenciamento no local de trabalho. A manutenção preventiva é outro conceito de manutenção proativa, que visa evitar as paradas imprevistas dos equipamentos programando paradas em intervalos estabelecidos de acordo com as características de cada equipamento, recomendação do fabricante e experiência dos profissionais envolvidos. Já na manutenção preditiva, em vez

de programar o período de manutenção baseado em intervalos predeterminados, o profissional responsável monitora a condição de algumas variáveis que podem indicar a degradação do equipamento; estima o período da próxima falha e programa a intervenção antes que ela ocorra. Igualmente, as técnicas de troca rápida de ferramenta podem aumentar a disponibilidade do recurso gargalo, transformando horas em que o equipamento ficava aguardando a finalização da troca de uma ferramenta em tempo produtivo. Além das técnicas de manutenção proativas, o conceito de *Jidoka* também pode ser útil, permitindo a automação parcial do equipamento, tornando o processo mais rápido e com investimentos menores que aqueles para uma automação completa do equipamento.

Com relação ao JIT, um dos pilares da manufatura enxuta, devemos lembrar que se trata de um conceito que busca organizar o sistema de manufatura de forma a viabilizar a entrega de produtos no momento mais próximo ao seu uso pelo cliente (seja um cliente interno – próximo processo na cadeia produtiva ou cliente externo – quem compra o produto) e no menor tamanho de lote possível. As principais ferramentas utilizadas para implementação e manutenção do JIT são: o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), o sistema *Kanban* juntamente com supermercados de peças e nivelamento da produção (*Heijunka*).

Já falamos sobre o MFV na Seção 1 da Unidade 1, mas não custa relembrarmos o conceito. O MFV é uma forma gráfica de analisarmos as atividades envolvidas na produção de um item e seu sequenciamento. O objetivo de mapearmos um fluxo de valor é identificar os elementos e atividades que efetivamente agregam valor ao produto, conforme o ponto de vista do cliente, e aqueles que são apenas desperdícios ou fontes de desperdícios. Com base nessas informações, aplicamos os conceitos da manufatura enxuta para construir (e implementar) o nosso novo MFV.

O sistema *Kanban* é um conjunto de cartões que autoriza a produção ou transferência de um componente do supermercado de peças para a próxima etapa de produção. O *Kanban* também pode ser constituído por embalagens padronizadas que comportam determinada quantidade de produtos. A chegada de uma embalagem no processo significa que ele deve produzir peças em quantidade suficiente para preencher aquela embalagem. De forma mais moderna, o sistema *Kanban* também pode ser implementado por meio eletrônico.

O supermercado de peças funciona como um pulmão, com uma quantidade controlada e tão pequena quanto possível de componentes. Os componentes são retirados do supermercado de acordo com a chegada de *Kanbans* de retirada. Por sua vez, as retiradas de componentes do supermercado disparam os *Kanbans* de produção. A manufatura enxuta enfatiza o objetivo de constituirmos lotes unitários de peças, transformando o processo produtivo em um fluxo contínuo. Assim, o supermercado de peças é considerado a segunda pior solução, sendo a terceira a programação empurrada (LIKER; MEIER, 2007).

Outro fator importante para o adequado funcionamento do JIT é o nivelamento da produção ou *Heijunka*, no vocabulário da manufatura enxuta. *Heijunka* significa distribuir a fabricação de diferentes tipos de produtos de maneira uniforme ao longo do tempo. Por exemplo, supondo uma empresa que tenha a semana como referência de tempo e produz os produtos A, B e C. O procedimento convencional de distribuição da produção é fabricar lotes únicos de cada tipo de produto de acordo com a previsão de consumo semanal de cada produto, minimizando a quantidade de trocas de ferramenta. O conceito de *Heijunka* utiliza uma medida de tempo baseado no *pitch* (intervalo ou passo) de produção. O *pitch* de produção corresponde ao *takt time* multiplicado pela unidade de consumo do cliente (produtos por embalagem ou por pedido). Por exemplo, se uma peça "A" tem um *takt time* de 30 segundos e o produto é consumido em embalagens de 80 peças, o *pitch* de produção deve ser de 40 minutos ($30 \text{ segundos} \times 80 = 2.400 \text{ segundos} = 40 \text{ minutos}$). Assim, a cada quarenta minutos deve ser enviada uma ordem para o processo puxador produzir a quantidade de uma embalagem. As embalagens de B e C devem ser projetadas de forma a caber a quantidade correspondente a 40 minutos de produção.

O *Just in Sequence* (JIS) é uma evolução do *Just in Time*. No JIS o fornecedor assegura a chegada do produto no momento mais próximo possível ao seu uso pelo cliente. Além disso, o produto deve ser entregue na sequência em que o cliente vai utilizá-lo. Esse sistema é comum, por exemplo, entre montadoras de veículos e seus fornecedores.



Exemplificando

Em uma montadora hipotética, diversos veículos de uma mesma plataforma são montados em uma única linha. A coluna de direção contém pequenas variações de configuração, dependendo do modelo de veículo (direção hidráulica ou mecânica, etc.) e cada configuração tem um código de produto diferente. O fornecedor recebe a sequência de montagem de veículos a cada 3 horas. A cada intervalo de 3 horas, ele deve assegurar que uma embalagem com a quantidade de componentes a serem consumidos nessas horas estejam disponíveis no posto de montagem da coluna de direção. Além disso, os componentes devem estar ordenados na mesma sequência em que os veículos passam pelo posto de montagem. Um erro na sequência de disposição dos produtos na embalagem pode causar grandes transtornos e até parada da linha de produção do veículo até que se identifique a sequência correta.

Embora a literatura sobre manufatura enxuta e JIT muitas vezes cite os lotes unitários, em sistemas de manufatura de produtos repetitivos em lote, parece ser mais razoável falarmos em lotes tendendo ao lote unitário, ou tão pequenos e controlados quanto economicamente viável (TUBINO, 2015). Devemos considerar que, mesmo reduzindo o tempo de *setup* de um processo, ele sempre vai estar presente na manufatura repetitiva em lotes e fará parte do custo de operação. Quanto maior o tamanho do lote, menor é a contribuição do tempo de *setup* na composição do custo.

No entanto, vimos que estoques estão relacionados a desperdício e geram custos de armazenagem, qualidade, manuseio, entre outros.

O lote econômico de produção corresponde à quantidade a ser produzida cujo custo final, considerando o custo de preparação e o de manutenção do estoque, é o menor.

É importante lembrar, que os benefícios do JIT vão muito além da entrega de produtos no momento e quantidade corretos. Com a redução dos estoques, o JIT melhora uma importante medida financeira, o giro de estoque. Além disso, o JIT aumenta a flexibilidade e a capacidade de reagir a alterações em quantidades e variação de mix.



Refleta

A otimização de sistemas de manufatura é apenas uma das aplicações da Teoria das Restrições. Ela pode ser utilizada para aumentar a capacidade

de qualquer tipo de sistema, encontrando o recurso ou procedimento que restringe a capacidade do sistema.

Você consegue imaginar outras aplicações da Teoria das Restrições além da otimização de processos de manufatura?

Se compararmos os dois conceitos apresentados, JIT e TOC, vamos encontrar vários pontos em comum e algumas diferenças importantes. Por exemplo, o JIT advoga a eliminação de estoques intermediários e estabelecimento de fluxo unitário de peças. Já para a TOC, é essencial manter um estoque antes do recurso gargalo, de forma a nunca o deixar sem material para processar. Outra diferença significativa é no foco das atividades de melhoria. O JIT geralmente está relacionado a uma abordagem mais holística, baseada no *Kaizen*, enquanto a TOC foca as atividades de melhoria no recurso gargalo. Com relação ao balanceamento da planta e tamanho dos lotes, também existe alguma diferença entre os dois conceitos. A TOC admite uma planta desbalanceada com tamanhos de lotes variáveis com o intuito de alcançar um processo com apenas um gargalo, enquanto o JIT preconiza uma planta balanceada (*Heijunka*), com a mesma capacidade em cada estação de trabalho e tamanhos de lote padronizados tendendo a lotes unitários. Assim sendo, não é possível apontar um conceito mais vantajoso que outro. É necessário conhecer o processo e seus objetivos e as características de cada conceito com o intuito de escolher entre um e outro, ou até mesmo uma abordagem híbrida.



Assimile

TOC: busca identificar e quebrar uma restrição (gargalo), aumentando a capacidade do sistema.

- Os 5 passos da TOC para otimizar processos são: 1 – identificar a restrição, 2 – explorar, 3 – submeter o processo à restrição, 4 – elevar a capacidade, 5 – identificar a próxima restrição.

JIT: utiliza a abordagem de *Kaizen* para atingir um fluxo contínuo, com lotes tendendo ao lote unitário e produtos entregues na quantidade e momento mais próximo ao uso.

Técnicas de manutenção proativas:

- **Manutenção preventiva:** feita a intervalos predeterminados.
- **Manutenção preditiva:** monitoramento de variáveis que indicam degradação.
- **Manutenção produtiva total:** envolve todos os níveis da empresa.
- **Teoria dos lotes econômicos:** o lote econômico é o lote com a menor soma dos custos de manutenção de estoque e custo de preparação.

Sem medo de errar

Finalmente você chegou à última etapa da construção de seu plano de ação que teve início na Unidade 1 e o acompanhou até a terceira seção desta unidade. Ao concluir essa etapa, na qual você deve identificar formas de aumentar a disponibilidade de produtos, sem aumentar os estoques, você estará pronto para reunir as informações e formar seu relatório final.

O primeiro passo para executar a etapa atual do seu plano é identificar a restrição do sistema. De acordo com a TOC, deve existir um único recurso que limita a capacidade total do sistema. Conseguindo identificar esse recurso e aumentando sua capacidade, devemos conseguir aumentar a capacidade do sistema. Com isso, podemos aumentar a disponibilidade de produtos sem aumentar os estoques.

Para identificar a restrição, transformamos a informação da Figura 2.6 na Tabela 2.3, na qual cruzamos as informações das etapas de produção dos componentes B e C com os tempos de ciclo de cada etapa e a soma dos tempos em cada máquina.

Tabela 2.3 | Tempos de produção de acordo com a Figura 2.6

		Disponibilidade	TEMPOS DE PRODUÇÃO (SEGUNDOS)								Capacidade por turnos (8horas)	Capacidade em 2 turnos (16horas)
			B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	total		
Máquina	Máquina 1	70%	8	5			10		23	877	1753	
	Máquina 2	75%		10				8	18	1200	2400	
	Máquina 3	70%				11			11	1833	3665	
	Máquina 4	72%				11			11	1885	3770	

Fonte: elaborada pelo autor.

As colunas B1 a C4 indicam o tempo de cada etapa de produção nas máquinas 1 a 4, em segundos. A coluna “Total” indica o tempo total que cada máquina é ocupada para a produção de um componente B mais um componente C. O tempo disponível de cada máquina por turno (Tt) é obtido multiplicando-se o tempo total de cada turno (8 horas) por sua disponibilidade (a disponibilidade das máquinas, apresentada no “Diálogo aberto”, também foi transcrita para a Tabela 2.3), conforme a equação a seguir:

$$TT = \frac{18000 \text{ segundos}}{450 \text{ produtos}} = 40 \frac{\text{segundos}}{\text{produto}}$$

Dividindo Tt pelos valores da coluna “total” obtemos a quantidade de peças por cada turno de 8 horas.

$$NO = \frac{600 \text{ segundos}}{120 \frac{\text{segundos}}{\text{operação}}} = 5$$

Assim, chegamos aos valores da coluna capacidade por turno. A quantidade da coluna “capacidade em 2 turnos” é obtida multiplicando-se a coluna “capacidade por turno” por dois.

Assim, podemos verificar na Tabela 2.3 que a capacidade total do sistema é limitada a 1.753 peças a cada dois turnos pela Máquina 1.

Como não recebemos um objetivo quantitativo, vamos adotar o de aumentar a quantidade de peças de 1.753 a cada 2 turnos, para 2.400 peças, que corresponde à capacidade do próximo gargalo, a Máquina 2.

Nenhuma produção é feita no terceiro turno, portanto, a primeira medida poderia ser utilizá-lo para produzir a diferença entre a capacidade da Máquina 1 e a Máquina 2, que equivale a 647 peças

$$140.400 \frac{\text{segundos}}{\text{produto}}$$

Contudo, essa provavelmente não é a medida mais eficiente. Conforme apontado durante a reunião, a disponibilidade dos recursos gargalos estão abaixo do esperado. Portanto, você deveria explorar os motivos de parada de máquina por manutenção e troca de ferramentas. É possível que você encontre oportunidades de aumentar a disponibilidade aplicando técnicas de manutenção mais eficientes, como a TPM ou manutenção preventiva e preditiva. Você também pode tentar melhorar a disponibilidade da máquina diminuindo os tempos de troca de ferramental utilizando técnicas de troca rápida de ferramentas. Também podemos tentar terceirizar parte da operação

que é feita na Máquina 1, ou utilizar roteiros alternativos de produção para diminuir a carga de trabalho dessa máquina.

Avançando na prática

Nosso cliente quer reduzir os lotes de entrega. E agora?

Descrição da situação-problema

A empresa Plásticos Silva do Brasil (PSB) fornece um componente para um cliente. O cliente aplicou técnicas de manufatura enxuta e conseguiu reduzir o tamanho dos lotes de montagem do produto para o qual a PSB fornece os componentes. A redução do lote do cliente foi de 60 para 40 unidades. Em seguida, o cliente solicitou que a PSB fizesse o mesmo com os lotes de entrega de seus componentes.

O custo de manutenção de estoque na PSB é calculado por: $ET = 20 + 10 + 20 + 40 + 80 + 20 + 11 + 16 = 219 \text{ segundos}$, e o custo de preparação é calculado por:

$NO = \frac{219 \text{ segundos}}{117 \text{ segundos}} = 1,8$, onde:

CME = custo de manutenção de estoque.

CP = custo de preparação.

L = tamanho do lote.

CS = custo unitário de preparação.

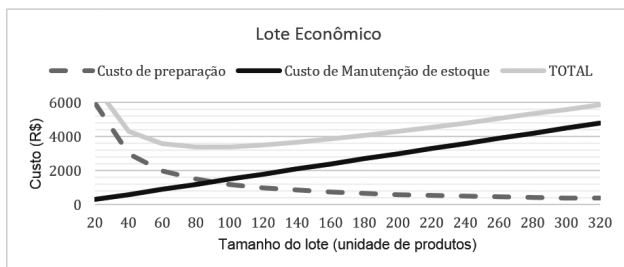
Considerando os dados a seguir, quais são as consequências do pedido de redução do tamanho do lote à PSB, e como esta deveria tratá-lo?

Resolução da situação-problema

Reduzir os lotes de produção pode ser muito saudável, pois gera aumento do giro de estoque e expõe desperdícios, facilitando sua eliminação. Porém, devemos considerar o tamanho dos lotes econômicos. Traçando a curva de variação dos custos de preparação e de manutenção de estoques e do custo total da PSB em função do tamanho dos lotes, obtemos a Figura 2.8. O ponto mais baixo da curva de custo total corresponde a um tamanho de lote de aproximadamente 80 peças. Portanto, diminuir os lotes de 60 para 40 unidades vai aumentar o custo do produto. Assim, para atender o pedido do cliente da PSB, deveríamos tentar diminuir os

custos que podem ser influenciados pelo sistema de manufatura. Por exemplo, podemos executar *Kaizens* com o objetivo de encontrar formas de *setup* mais eficientes e com menor custo, redução de refugos e paradas imprevistas. Dessa forma, podemos reduzir o tamanho dos lotes e atuar em sintonia com o cliente.

Figura 2.8 | Custos totais



Fonte: adaptado de Tubino (2015).

Faça valer a pena

1. O *Material Requirement Planning* (MRP), *Just in Time* (JIT) e Teoria das Restrições (TOC) são os principais conceitos utilizados na programação de produção.

Com relação à TOC, escolha a alternativa que contém uma afirmação correta.

- a) Os gargalos de produção existem principalmente devido a questões relacionadas ao comportamento e motivação dos funcionários e devem ser resolvidos utilizando-se os conceitos da teoria de restrições de Maslow.
- b) Os gargalos devem ser preservados, pois sua capacidade excedente pode ser utilizada nos momentos de alta sazonalidade dos produtos.
- c) Uma hora de produção perdida em um recurso gargalo corresponde a várias horas de produção perdida em todo o sistema.
- d) Uma hora de produção perdida em um recurso não gargalo é uma hora de produção perdida em todo o sistema.
- e) Para aumentar a capacidade produtiva, é necessário aumentar a capacidade do gargalo (elevar a restrição).

2. Uma fábrica possui duas linhas de produção similares. Após uma parada imprevista para troca de um componente com alto custo em uma das linhas, o gerente de produção deve tomar a decisão sobre trocar o mesmo componente na outra linha. Devido ao custo do componente versus o risco de parar a outra linha, o gerente decide consultar sua equipe, os técnicos A, B, C e D emitiram as seguintes opiniões:

Técnico A: "vamos trocar o componente apenas quando ele falhar."

Técnico B: "o componente deve ser trocado periodicamente, de acordo com a vida útil recomendada pelo fabricante. Se ultrapassamos esse período, devemos trocar, senão, devemos esperar."

Técnico C: "o componente deve ser analisado periodicamente com relação a desgaste e vibração. Devemos trocá-lo apenas se houver indício de iminente falha."

Técnico D: "o componente deve ser substituído de acordo com o período de uso recomendado pelo fabricante. Devemos prever uma parada total do setor para todos os técnicos poderem auxiliar na manutenção."

Considerando o texto acima, assinale a alternativa que correlaciona corretamente a opinião de cada técnico a cada tipo de manutenção.

- a) O técnico A propõe realizar a manutenção preventiva que, nesse contexto, tem a vantagem de permitir programação de parada para substituir o componente antes da falha.
- b) O técnico C defende a realização de uma manutenção preditiva, propondo o monitoramento de uma variável relacionada ao modo de falha previsto.
- c) A proposta do técnico D corresponde ao conceito de manutenção produtiva total.
- d) O técnico D está propondo uma manutenção corretiva, cuja vantagem é explorar ao máximo a vida útil do componente.
- e) A proposta do técnico B é fazer uma manutenção preditiva, que não é a mais adequada, já que pode resultar na substituição desnecessária de um elemento.

3. O *Just in Time* (JIT) é um conceito de organização do sistema de manufatura que emprega um conjunto de técnicas com o objetivo de atingir um fluxo de produção enxuto.

Com relação ao JIT, é correto afirmar que:

- a) Ao implementar o JIT, buscamos produzir o máximo possível.
- b) Ao implementar o JIT, buscamos produzir apenas o necessário com o máximo de eficiência.
- c) O JIT prega a manutenção de altos estoques de produto de forma a garantir a pronta entrega.
- d) O JIT tem como desvantagem o alto custo de manutenção de estoques.
- e) A principal vantagem do JIT é a manutenção de um baixo índice de giros de estoque.

Referências

AMATO NETO, João. **A era do ecobusiness**: criando negócios sustentáveis. Barueri: Manole, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

ANTUNES JÚNIOR, José. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

BOSSIDY, Larry; CHARAN, Ram; BURCK, Charles. **Execution**: the discipline of getting things done. Danvers: Crown Business, 2009. 290 p.

CARPINETTI, Luiz Ribeiro. **Gestão da qualidade**: conceitos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

DENNIS, Pascal. **Produção lean simplificada**: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 17 maio 2017.

GUIMARÃES, Leonardo Miranda; NOGUEIRA, Cássio Ferreira; SILVA, Margarete Diniz Brás da. Manutenção industrial: implementação da manutenção produtiva total (TPM). **E-xacta**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 175-194, 30 jul. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v5i1.735>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

HEDRICK, Lerry. **Xenophon's Cyrus the Great**: the arts of leadership and war. New York: Truman Talley Books, 2007.

HENRIQUE, Fábio; FIORIO, Vivian. **O que é Kaizen?** Conheça o método de melhoria contínua Kaizen, saiba qual é a sua origem e quais suas aplicações na indústria. 2013. Disponível em: <<http://www.industria hoje.com.br/kaizen>>. Acesso em: 6 maio 2017.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **Factory Physics**: Foundations of Manufacturing Management. 2. ed. New York: Irwin Mcgraw-hill, 2000.

HUTCHINS, David. **Hoshin Kanri**: the strategic approach to continuous improvement. Abingdon-on-thames: Routledge, 2008.

IMAI, Masaaki. **Gemba Kaizen**: a commonsense approach to a continuous improvement strategy. 2. ed. New York: Mcgraw-hill Education, 2012. 448 p.

LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O modelo Toyota – manual de aplicação**: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2007. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

MASAAKI Imai – O que é Kaizen e o que significa Lean? São Paulo: Grupo Lean, 2014. Son., P&B. Legendado. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=31_HCFEnh5o>. Acesso em: 7 maio 2017.

PLANTULLO, Vicente Lentini. Um pouco além do just-in-time: uma abordagem à teoria das restrições. **Revista de Administração de Empresas**, [s.l.], v. 34, n. 5, p. 32-39, out. 1994. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0034-75901994000500005>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2012. 125 p.

SHIMOKAWA, Koichi; FUJIMOTO, Takahiro. **O nascimento do lean**. Porto Alegre: Bookman, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 6 maio 2017.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 6 maio 2017.

SLACK, Nigel Brandon-Jones; JOHNSTON, Robert Alistair. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manufatura enxuta como estratégia de produção**: A chave para a produtividade industrial. São Paulo: Atlas, 2015. 315 p. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com>>. Acesso em: 6 maio 2017.

UTIYAMA, Marcel Heimar Ribeiro; GODINHO FILHO, Moacir. A literatura a respeito da comparação entre a teoria das restrições e a manufatura enxuta: revisão, classificação e análise. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 20, n. 3, p. 615-638, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2013000300009>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

Sistema integrado de manufatura: aspectos iniciais e estruturais

Convite ao estudo

Caro aluno, nas duas unidades anteriores, apresentamos a base teórica dos principais elementos que formam os sistemas de manufatura. Na Unidade 1, estudamos os fundamentos dos sistemas integrados de manufatura, como foi sua evolução ao longo do tempo e a sua importância. Também estudamos as características dos sistemas de Manufatura Enxuta e as diferentes formas de layout no qual o chão de fábrica pode ser organizado. Na Unidade 2, estudamos maneiras de otimizar processos de produção por meio de eliminação e tratamento de desperdícios e gargalos.

Na Unidade 3, vamos estudar como podemos organizar os elementos abordados nas unidades anteriores para formar um Sistema Integrado de Manufatura, seguindo um roteiro em dez passos.

Ao completar o estudo desta unidade, você terá instrumentos para converter um sistema de manufatura convencional em um Sistema Integrado de Manufatura.

Que tal treinarmos essa competência em um ambiente controlado? Você poderá fazer isso utilizando o contexto de aprendizagem que preparamos para você. Para começarmos, imagine que você teve sucesso na implementação das melhorias de processo na unidade que você assumiu há algum tempo. Considerando isso, você recebe um novo desafio. Dessa vez, você foi convidado a gerir outra unidade de manufatura do grupo, cujo produto principal são embalagens. Os processos dessa unidade são mais estruturados e robustos que o da anterior.

Porém, os sistemas de manufatura não operam de maneira integrada: há produtos que percorrem uma distância muito grande na fábrica antes de ficarem prontos, há picos de trabalho e ociosidade e estoques mais altos que o esperado. Também há pouca integração entre a empresa e seus fornecedores, e os clientes também reclamam de constantes atrasos nas entregas. Aproveitando sua experiência anterior, você mais uma vez deve fazer um plano de ação dividido em seis passos. Os três primeiros passos do plano serão trabalhados nesta unidade. No primeiro passo, a ser executado na primeira seção, seu plano deve conter análise e proposta de melhoria do fluxo de produção por meio da formação de células de manufatura e trocas de ferramenta. No segundo passo, o plano deve abordar a integração das células de manufatura via Kanban e, no terceiro, a integração das funções de qualidade e manutenção. Os três últimos passos do plano de ação serão abordados na Unidade 4.

Considerando que esse tipo de mudança envolve praticamente todas as interfaces da organização, que tipos de competências, além das que trataremos aqui, você considera importantes para atingir essa mudança?

Nesta unidade, iniciaremos com uma visão geral sobre o plano de implementação de um Sistema Integrado de Manufatura. Na primeira seção, aprenderemos, por exemplo, sobre a formação de células de manufatura e a troca rápida de ferramentas. Na segunda seção, vamos aprofundar um pouco mais nosso estudo sobre a integração da função qualidade e manutenção preventiva, além do nivelamento da produção e integração das células via sistema Kanban. Na terceira seção, vamos abordar o conceito de gestão de estoques e a integração com fornecedores e aspectos relacionados à automatização e à informatização.

Seção 3.1

Implementação de sistemas integrados de manufatura: primeiros passos

Diálogo aberto

Caro aluno, o assunto de que estamos tratando nesta disciplina é diretamente relacionado ao desenvolvimento industrial e ao aumento de competitividade das empresas. Os procedimentos e as técnicas tratados permitem às empresas organizar o sistema de manufatura de forma que haja aumento de eficiência de maneira incremental e contínua.

Nesta seção, vamos aprofundar nossos conhecimentos com relação às células de manufatura. Vimos, nas unidades anteriores, como esse tipo de organização de layout pode reduzir o desperdício na produção. Nesta seção, vamos abordar o processo de planejamento de uma célula de manufatura. Também vamos aprender a respeito de uma técnica chamada Troca Rápida de Ferramenta (TRF), que é um dos pontos-chave para a flexibilidade da célula de manufatura.

Como sempre, elaboramos um contexto de aprendizagem, exposto no *Convite ao estudo* da Unidade 3, para você poder praticar os conhecimentos adquiridos, cujas principais informações, resumidamente, eram: em uma unidade de manufatura hipotética, os sistemas não operam de maneira integrada, há produtos que percorrem uma distância muito grande na fábrica antes de ficarem prontos, picos de trabalho e ociosidade, estoques mais altos que o esperado e pouca integração entre a empresa e seus fornecedores. Nesta seção, você deve desenvolver o primeiro passo do seu plano de melhoria do fluxo de produção: a formação de células de manufatura e a redução do tempo de troca de ferramentas.

A Tabela 3.1 mostra os tempos de fabricação dos componentes nomeados de A a K, de três tipos de embalagem, e seus tempos de montagem de acordo com o layout e organização atual da fábrica, mostrados na Figura 3.1. A sequência de operação para os três tipos de embalagens é: transformação da matéria prima nos componentes de “A” a “K” em qualquer uma das máquinas M1 a M4 (elas são iguais),

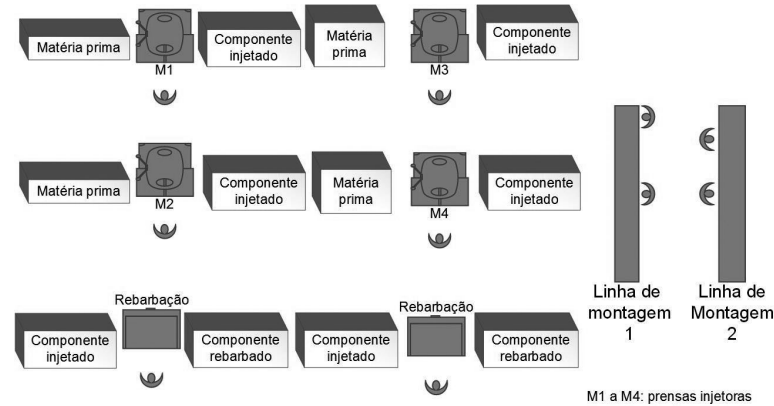
rebarbação (eliminação das rebarbas nas regiões de fechamento do molde) manual e montagem nas linhas 1 ou 2. Cada componente é fabricado com uma ferramenta de injeção de plástico diferente. Portanto, a cada troca de produto a ser fabricado na mesma máquina, há uma troca de ferramenta.

Tabela 3.1 | Informações de produção de embalagens

Produto	demanda diária (unidades)	componentes	Prensa	Rebarbação	Montagem
			Tempo de ciclo (segundos)		
Embalagem 1	850	A	5	3	20
		B	8	5	
		C	8	5	
		D	10	4	
Embalagem 2	500	E	5	3	22
		F	6	5	
		G	20	5	
		H	5	4	
Embalagem 3	150	I	50	8	60
		J	25	9	
		K	20	7	

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3.1 | Layout da fábrica



Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando essas informações, quais são as suas sugestões para organizar a produção em células de manufatura?

Para desenvolver essa etapa do plano, você deve conhecer os dois primeiros passos da integração de processos de manufatura: o planejamento de células de manufatura, incluindo os conceitos de Tecnologia de Grupo e a troca rápida de ferramentas.

Não pode faltar

Abordamos vários conceitos que fazem parte de um sistema de manufatura, a partir de agora, vamos começar a reunir esses conceitos para formar um Sistema Integrado de Manufatura.

Com esse intuito, vamos seguir uma abordagem elaborada por Black (1998) para converter uma fábrica existente em uma fábrica do futuro, dividida em 10 passos, são eles: (1) formação de células de manufatura, (2) redução ou eliminação do *setup*, (3) integração do controle de qualidade, (4) integrar a manutenção preventiva, (5) nivelamento e balanceamento, (6) interligação de células via Kanban, (7) redução dos estoques intermediários, (8) construção de programas de fornecedores, (9) automatização e (10) aplicação de sistemas informatizados. A ordem de implementação dos sistemas é importante, pois os oito primeiros passos constituem a base do sistema e integram as funções críticas de controle de qualidade, controle de estoque, controle da produção e manutenção de máquinas. Em seguida, podemos aplicar a automação e a informatização.

Na Seção 3.1 desta unidade, vamos estudar os dois primeiros passos.

É importante salientar que essa é uma mudança radical na forma de organização do sistema de manufatura. Portanto, trata-se de um projeto de longo prazo, que envolve o apoio da alta administração e a compreensão dos objetivos e etapas de implementação por toda a organização. A abordagem escolhida para a mudança, além dos aspectos óbvios, como disponibilidade de recursos financeiros e humanos, é um dos fatores determinantes para o sucesso do projeto. A abordagem *Kaizen* e o ciclo PDCA, já estudadas anteriormente, constitui um dos caminhos possíveis.

Nesta seção, vamos abordar apenas os aspectos relacionados ao primeiro passo do PDCA para a formação de uma célula de

manufatura, o planejamento. Os próximos passos do PDCA você já sabe: executar conforme planejado, verificar os resultados e agir para corrigir se necessário.

Planejamento da formação de células de manufatura

As células de manufatura formam o tipo de layout mais comum nos Sistemas Integrados de Manufatura, de acordo com os princípios da Manufatura Enxuta. Conforme estudamos na Unidade 2, esse é um tipo de layout em que um conjunto de máquinas e equipamentos de transporte são organizados em grupos capazes de processar um número limitado de tipos de produtos. A disposição das máquinas segue a sequência do processo de fabricação de uma família de produtos, geralmente definida segundo o conceito de Tecnologia de Grupo, o qual vamos estudar logo adiante. O resultado do processamento do material na célula normalmente é um produto pronto para ser enviado ao cliente ou semiacabado, que segue para processo posterior em outra célula ou linha de montagem.

A primeira parte da fase de planejamento da célula de manufatura deve ser a **construção do escopo** do projeto, que deve conter os objetivos operacionais e as melhorias almejadas, além de qualquer condição externa e restrições que possam afetar o projeto. Também é recomendável que se verifique quem é dono ou patrocinador do projeto e as partes interessadas, e quais são os requisitos de ambos com relação ao projeto da célula de manufatura. Antes do início formal do projeto, é importante que todos conheçam o escopo, e que este tenha sido aprovado pelo patrocinador.

Com o escopo definido, podemos elaborar uma lista de assuntos (problemas, oportunidades ou questões), da qual normalmente fazem parte: responsabilidades pela inspeção e pela manutenção, cálculo de custos, procedimentos de programação da produção, padronização de trabalho e treinamento, interação com o restante do layout da fábrica etc.

A partir do escopo e da lista de assuntos, podemos elaborar o cronograma do projeto e uma lista de tarefas e responsabilidades.

O segundo passo da fase de planejamento da célula de manufatura é **classificar as peças e agrupá-las em famílias**. O objetivo dessa fase é identificar peças com características similares que possam formar

famílias e que, portanto, são candidatas a serem processadas na mesma célula. Para esse fim, podemos utilizar a Tecnologia de Grupo (TG). Essa ferramenta agrupa peças com características comuns, que possam ser fabricadas por processos similares. Dessa forma, é possível maximizar a utilização dos recursos de produção (HYER; WEMMERLÖV, 1984). Algumas das principais vantagens das células de manufatura, como redução do número e do tempo de *setup* e simplificação do fluxo de produção, vêm do agrupamento de peças, que também agrupa tarefas similares, evitando redundâncias.

A base da TG é o estabelecimento de um sistema de códigos no qual cada elemento do código descreve algum atributo da peça. Associando esses códigos a cada peça, podemos agrupá-los de acordo com conjuntos de características semelhantes. Uma confusão frequente é a de que os códigos de agrupamento e os códigos de identificação das peças sejam a mesma coisa. Na verdade, os códigos de agrupamento podem compor um sistema paralelo ao sistema de códigos de identificação dos produtos ou, em alguns casos, substituí-los. As similaridades podem estar relacionadas, por exemplo, à geometria (como vários eixos que exigem as mesmas operações, mas são distinguidos pelo comprimento de um rasgo de chaveta), dimensões (quando se criam duas linhas diferentes, uma para a produção de refrigeradores de uma porta e uma para refrigeradores de duas portas, na mesma fábrica, por exemplo), roteiro de fabricação (peças diferentes mas que passam pelas mesmas máquinas na sua sequência de fabricação), material, tolerâncias exigidas, acabamento, peso, volume de produção, tempo de ciclo, entre outros.

A indústria utiliza três tipos principais de sistemas de codificação. O Sistema Opitz é composto por nove dígitos que representam dados de geometria da peça. Também podem ser utilizados quatro dígitos adicionais para identificar a sequência das operações de fabricação. O sistema MultiClass (MICLASS), que utiliza até 30 dígitos, e é implementado em programas de computador que fazem uma série de perguntas e, com base nas respostas, geram o código. O sistema KK-3, projetado para aplicação em peças usinadas, que utiliza 21 dígitos para descrever a função geral das peças (eixos, engrenagens) e detalhes funcionais.

Nosso próximo passo é **analisar o processo e balancear a produção da célula**.

Com o uso de diagramas de fluxo, ou melhor ainda, do mapa de fluxo de valor atual das peças candidatas (que tal voltar à Seção 1.2 e relembrar esse tema?) a serem processadas na célula sendo projetada, é possível enxergar os roteiros de fabricação de cada tipo de componente e, com isso, determinar o tempo e a quantidade de recursos (máquinas, operadores, estações de trabalho) necessários para atingir a meta de produção definida no escopo do projeto. O mapa de fluxo de valor também pode nos auxiliar a enxergar o *takt time* e o tempo de ciclos atuais. Em seguida, dividimos o processo em atividades menores e as organizamos de forma a atingir um fluxo com o tempo de ciclo mais próximo possível do *takt time*. Em seguida, podemos fazer o projeto preliminar da célula.

Nesse ponto do planejamento, estamos prontos para **elaborar um plano operacional da célula**. O plano operacional é composto por layout da célula, método de movimentação do material, procedimentos operacionais e planos de treinamento. É importante não deixar de considerar, no layout, forma de armazenamento de materiais, equipamentos de alimentação de peças, locais de armazenamento de ferramentas e dispositivos auxiliares, suportes e área para dispositivos de medição, mesas para auxiliar o *setup*, local para segregação de material não conforme, terminais de computador, impressoras, telas, etc.

Com relação aos procedimentos operacionais, não podemos esquecer das políticas de programação da produção (estoques mínimos e máximos, quaisquer restrições de sequência, horário, etc.), planos de controle, política e procedimentos de treinamento e de estabelecer relatórios e objetivos de desempenho.

É possível que, nesse ponto, tenhamos mais de uma alternativa para a formação da célula em questão. Antes de partir para a execução do plano, é necessário considerar mais uma vez os requisitos do projeto e **selecionar o projeto preliminar que melhor atende aos objetivos**. Alguns critérios comuns utilizados na escolha entre diferentes projetos de célula são: investimento em equipamentos, custos de movimentação, custos de operação, flexibilidade, espaço, efeito na qualidade do produto, facilidade de instalação, entre outros. Podemos utilizar matrizes de decisão (forma de organizar em uma matriz os critérios de escolha, relevância de cada um e compará-los com as opções disponíveis) para guiar nossa escolha.

Finalmente, passamos à **elaboração de um projeto detalhado**, contendo desenhos minuciosos, em escala apropriada, para visualização da célula e movimentação dos operadores e materiais. Para células mais complexas, modelos tridimensionais e até protótipos em escala real feitos com madeira, papelão e outros materiais de fácil manuseio e modelagem são utilizados.



Refleta

A alteração de um sistema de manufatura tradicional para o conceito de células e Manufatura Enxuta é uma mudança radical na forma de operação de uma fábrica. Quais são os possíveis pontos de resistência a esse tipo de mudança? Como você lidaria com eles?

Troca Rápida de Ferramentas (TRF)

Segundo a filosofia da Manufatura Enxuta, um sistema de manufatura deve operar com um fluxo de produção contínuo e com tamanhos de lotes tendendo ao lote unitário (conceito visto na Seção 1.2). Isso significa que o sistema deve ser capaz de reagir de forma ágil às mudanças de tipos de produto.

Uma das principais dificuldades na redução do tamanho dos lotes é o tempo gasto na operação de troca de produção de um produto para outro (*setup*). A troca de ferramental, ajustes e produção dos primeiros itens para medição e confirmação da realização correta do *setup* são atividades necessárias e que impedem os recursos produtivos de produzir durante determinados períodos.

Vamos utilizar uma analogia para ajudar a fixar esse conceito. Podemos comparar a troca de ferramental em um sistema de manufatura à operação de troca de pneus em uma corrida de Fórmula 1. Tanto na Fórmula 1 quanto na manufatura em lotes repetitivos, a troca de ferramenta e de pneus, apesar de necessárias, constituem um desperdício, pois o recurso produtivo, o carro ou a linha de produção, não estão produzindo nada enquanto as operações de troca são executadas. Portanto, as equipes responsáveis por essa operação se esforçam para reduzi-las ao máximo.



Pesquise mais

Os dois vídeos sugeridos a seguir mostram duas operações de troca de pneus em uma corrida de Fórmula 1. Uma bem-sucedida e uma malsucedida. Sugerimos que você os assista e tente imaginar o resultado

das mesmas situações em uma troca de ferramentas em um sistema de manufatura.

DHL (Comp.). **DHL Fastest Pit Stop Award**: 2016 FORMULA 1 GRAND PRIX OF EUROPE. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=7VCYBtx6h4g>>. Acesso em: 2 maio 2017.

FORMULA 1 Tuero Pit Stop en GP Argentina 1998. 2015. Color. Disponível em: <<http://www.dailymotion.com/video/x2sxtcu>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

Instigado por esse tipo de desperdício, Shigeo Shingo, um engenheiro industrial nascido no início do século XX e considerado um dos maiores experts no Sistema de Produção Toyota, criou uma série de princípios que permitem uma redução drástica no tempo gasto com essa operação. O conjunto desses princípios recebeu o nome de SMED – *Single Minute Exchange Die*, que em tradução literal significa troca de ferramenta em um minuto. Normalmente utilizamos o termo Troca Rápida de Ferramenta (TRF) em português. Baseando-se em suas observações e estudos ao longo de quase vinte anos, Shingo concluiu que qualquer troca de ferramenta pode ser reduzida a menos de dez minutos.

As primeiras observações que levaram à elaboração da TRF vieram da operação de troca de matrizes em prensas em 1950 em uma planta da Mazda em Hiroshima, Japão. Shingo observou que boa parte do tempo em que a máquina permanecia parada era gasto em atividades que, se fossem melhor organizadas, poderiam ser eliminadas. Por exemplo, em um dos casos relatados, Shingo (2015) observou que a falta de um tipo de parafuso foi a atividade mais demorada de uma troca de matrizes. Por não achar o parafuso adequado, o responsável pelo *setup* tomou um parafuso similar de outra matriz e o retrabalhou para obter a peça necessária. A contramedida para isso foi simplesmente organizar todo o material necessário em caixas específicas e conferência antes do início da operação de *setup*. Outra observação importante foi a de que nem todas as operações necessárias para conclusão do *setup* tinham que ser feitas com a máquina desligada e sem produção. Por exemplo, o transporte das matrizes e a conferência do material para o *setup* poderiam ser feitas antecipadamente.

O processo para otimização de troca de ferramental proposto por Shingo (2015) é composto de três etapas: separar o *setup* interno do externo, converter o *setup* interno em externo e racionalizar os aspectos do *setup*.

No **primeiro estágio** de otimização, **separamos o *setup* interno do externo**.

O *setup* externo abrange todas as etapas de ajuste e troca que podem ser executados com a máquina ainda em funcionamento, e o *setup* interno abrange as atividades que são executadas com a máquina parada.

O objetivo dessa etapa é identificar claramente quais são as atividades *setup* interno e externo, padronizá-las e implementar mecanismos e procedimentos para evitar erros.

Por exemplo, uma simples lista de verificação de material (Checklist) pode ajudar que se identifique a indisponibilidade de um elemento de fixação ou ferramenta antes que a operação de *setup* seja iniciada. Para ser efetivo, o checklist deve ser específico para cada operação de *setup* e indicar os modos de falha específicos a cada *setup* a que se refere. Também podemos utilizar mesas de *setup*, em que figuras definindo a posição de cada material são feitas na mesa, de forma que se possa identificar rapidamente a falta de qualquer material. No caso da Figura 3.2, por exemplo, podemos observar facilmente que algumas ferramentas não estão disponíveis na mesa. Nesse caso, as ferramentas faltantes deveriam ser providenciadas antes do momento previsto para o início do *setup*, para não atrasá-lo.

As listas de verificação deveriam abranger não apenas a disponibilidade do material necessário, mas também sua condição de funcionamento, incluindo a própria ferramenta ou matriz.

Figura 3.2 | Mesa de *setup*



Fonte: elaborada pelo autor.

O **segundo estágio** consiste em **converter o *setup* interno em externo**. Nesse estágio, analisamos a operação de *setup* mais uma vez e tentamos identificar atividades que são feitas com a máquina parada e que poderiam ser feitas com a máquina ainda em produção, e as antecipamos. Isso pode incluir, por exemplo, o preaquecimento de moldes e o posicionamento da parte funcional de matrizes em gabaritos com tamanhos padronizados, indicando previamente a posição correta da matriz, o transporte das matrizes e seu posicionamento próximo à área de trabalho.

Uma vez separadas as operações em *setup* interno e externo, e tendo convertido algumas das operações de *setup* interno em externo, podemos passar para o **terceiro estágio**, que consiste na **otimização das operações de *setup* interno**.

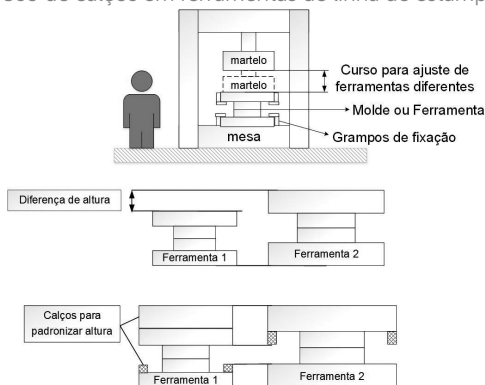
A padronização das dimensões dos moldes é uma das formas de otimizar as operações de *setup* interno. O uso de calços para padronizar a altura dos moldes pode evitar a etapa do ajuste de curso das prensas, uma das etapas mais demoradas do *setup* desse tipo de equipamento.



Exemplificando

Em operações de *setup* de ferramentas em linhas de estamparia, o ajuste das alturas do martelo das prensas para cada tipo de molde pode ser a etapa mais demorada do *setup*. O uso de calços, como indicado na Figura 3.3, pode evitar a necessidade de ajustar a altura do martelo. O uso de calços na parte inferior da ferramenta também possibilita a padronização de elementos de fixação.

Figura 3.3 | Uso de calços em ferramentas de linha de estamparia



Fonte: elaborada pelo autor.

O estudo dos elementos de fixação envolvidos no *setup* é outro ponto que geralmente pode otimizar as operações de *setup* interno. O uso de fixadores funcionais como fixadores de uma volta, furos em forma de pera, arruela em U, parafusos com rosca fendida e encaixes em U são formas possíveis de redução do tempo dispendido na fixação dos elementos.

A análise de graus de liberdade e a magnitude de forças também podem facilitar a identificação de oportunidades de otimizar as operações de fixação.

A otimização do *setup* interno também pode ser feita pela implementação de operações em paralelo. Trocas de ferramentas em injetoras de plástico e grandes prensas geralmente demandam operações em várias posições ao redor da máquina. O uso de mais de uma pessoa na operação, realizando operações simultâneas em posições diferentes da máquina, evita o desperdício de movimentos. Por isso, o resultado da redução de tempo pode ser maior do que a razão do número de pessoas pelo tempo de *setup* com apenas uma pessoa (dois operadores podem fazer a troca de ferramenta em menos da metade do tempo que levaria um operador apenas, devido à economia do tempo de movimentação ao redor da máquina).

Um argumento frequente contra as operações paralelas é a indisponibilidade de operadores para realizá-las. Ao analisar esse argumento, devemos considerar que as operações de *setup* padronizadas devem ser simples o suficiente para que operadores menos treinados possam auxiliar no *setup*. Além disso, o tempo total da troca rápida de ferramenta deve ser muito pequeno em relação ao tempo das operações produtivas, e os operadores dos processos onde o conceito de *Jidoka* (balanceamento da célula de manufatura) foi aplicado devem estar disponíveis para outras atividades.



Assimile

Em linhas gerais, resumimos os primeiros dois passos para a integração de sistemas de manufatura:

1. Planejamento da formação de células de manufatura

- a. Construir o escopo do projeto.
- b. Classificar as peças e agrupá-las em famílias.

- c. Balancear a produção da célula.
- d. Elaborar um plano operacional da célula.
- e. Selecionar o projeto preliminar que melhor atende aos objetivos.
- f. Elaborar um projeto detalhado.

2. Troca rápida de ferramentas (técnica elaborada por Shigeo Shingo)

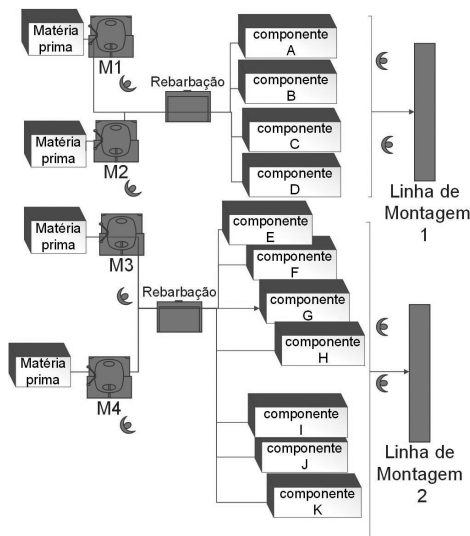
- a. Separar o *setup* interno do externo.
- b. Converter o *setup* interno em externo.
- c. Otimizar as operações de *setup* interno.

Sem medo de errar

Os principais problemas enfrentados pela unidade que você recém assumiu estão relacionados à falta de integração dos sistemas de manufatura. Os produtos percorrem uma distância muito grande durante a fabricação, o trabalho é desbalanceado, os estoques são mais altos que o esperado e os clientes reclamam de constantes atrasos nas entregas. Considerando o que aprendemos nesta seção, podemos trabalhar na formação de células de manufatura e redução do tempo de *setup*.

Para começar, podemos expandir a Tabela 3.1 e dividir as operações de forma que o tempo de ciclo seja menor que o *takt time*. Também podemos utilizar o conceito de Tecnologia de Grupo e dividir as células de acordo com o seu volume de produção e tempo de ciclo. Assim sendo, formamos as células mostradas na Figura 3.4 e na Tabela 3.2.

Figura 3.4 | Novo layout organizado em células



Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3.2 | Informações de produção de embalagens e cálculo do *takt time*

Produto	demanda diária (unidades)	componentes	demanda diária (unidades)	M1 prensa injetora	M2 prensa injetora	M3 prensa injetora	M4 prensa injetora	LINHA MONTAGEM 1	LINHA MONTAGEM 2
				Tempo de ciclo em segundos					
Embalagem 1	850	A	800	5				20	
		B	800	6					
		C	800		6				
		D	800		5				
Embalagem 2	500	E	500			5		22	
		F	500			6			
		G	500			5			
		H	500			5			
Embalagem 3	150	I	150				35		60
		J	150				40		
		K	150				50		
Tempo de ciclo total (segundos)				11	11	21	125	42	60
Número de trocas de ferramenta:				1	1	3	2	0	0

Tempo de troca de ferramenta (segundos):	1,200	3,600	10,800	-	0	0
Tempo disponível bruto (segundos):	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600
Tempo disponível líquido (tempo disponível bruto - tempo de troca de ferramenta)	56,400	54,000	46,800	57,600	57,600	57,600
Demanda diária (unidades)	1600	1600	2000	450	1300	150
takt time	35	34	23	128	44	384
Tempo de ciclo total - takt time (segundos)	24	23	2	3	2	324

Fonte: elaborada pelo autor.

As vantagens desse tipo de layout são: os estoques intermediários são eliminados, e as distâncias percorridas pelos produtos e os tempos de troca de ferramenta são reduzidos.

Avançando na prática

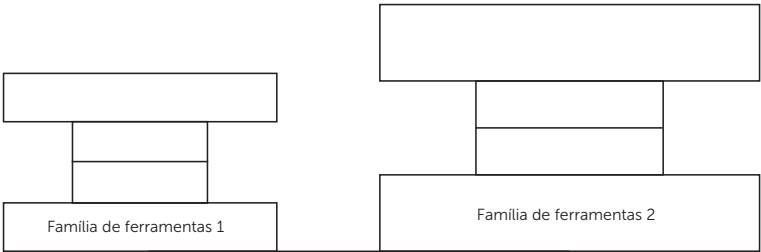
Reduzindo o tempo de setup

Descrição da situação-problema

Uma empresa metalúrgica ganhou novos contratos de fornecimento e, com isso, necessita aumentar sua capacidade de produção. Considerando esse contexto, o gerente de manufatura solicitou ao diretor de operação novas prensas. Em resposta a esse pedido, o diretor de operações solicitou uma análise de aumento de capacidade pela redução do tempo de troca de ferramentas.

A Figura 3.5 mostra duas famílias de ferramentas que são utilizadas na prensa com maior frequência, e a Tabela 3.3 mostra algumas informações sobre os tempos de setup coletadas por meio de estudos de tempos.

Figura 3.5 | Família de ferramentas



Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 3.3 | Tempo para troca de ferramentas

Transporte/ajuste da ferramenta	Tempo (minutos)
Transportar ferramenta até a prensa	12
Procurar chave	6
Retirar parafusos (4x)	2
Retirar ferramenta da prensa	1
Transportar ferramenta até o armazém	12
Colocar a ferramenta na prensa	1
Ajustar o curso da prensa	10
Apertar parafusos (4x)	2
Total	46

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir da Figura 3.5 e da Tabela 3.3, que medidas você sugeriria para diminuir o tempo de *setup*?

Resolução da situação-problema

O tempo gasto no processo de troca de ferramentas é considerado um desperdício, de acordo com a filosofia da Manufatura Enxuta. Portanto, devemos tentar minimizá-lo.

A Troca Rápida de Ferramentas indica uma série de procedimentos que podem nos auxiliar nessa tarefa.

Conforme verificamos na Figura 3.5, as ferramentas de diferentes famílias possuem alturas diferentes, trazendo a necessidade de ajustes do curso da prensa. Essa atividade consome 10 minutos do tempo de troca de ferramentas.

A colocação de calços de padronização de altura da ferramenta, conforme apresentamos na Figura 3.3, pode eliminar a necessidade de ajuste de altura do curso da prensa.

Também poderemos buscar oportunidades de converter o *setup* interno em *setup* externo. Por exemplo, o transporte das ferramentas pode ser feito com a prensa ainda em funcionamento. Com isso, é possível reduzir o tempo de *setup* interno em 24 minutos.

A fixação e o desprendimento da ferramenta da prensa também pode ser reduzido substituindo-se os parafusos por fixadores funcionais, como grampos, por exemplo.

Com relação aos seis minutos perdidos apenas para procurar a chave, uma mesa de *setup* padronizada, conforme mostrado na Figura 3.2, pode eliminar totalmente o problema. A ausência da chave seria percebida antes da parada da máquina para o *setup*, e assim seriam as devidas providências tomadas.

Com essas medidas, obtemos a Tabela 3.4, com um tempo total de *setup* bastante reduzido.

Tabela 3.4 | Novos tempos de *setup*

Transporte ajuste da ferramenta	Tempo (minutos)
Transportar ferramenta até a prensa	0
Procurar chave	0
Retirar parafusos (4x)	0.5
Retirar ferramenta da prensa	1
Transportar ferramenta até o armazém	0
Colocar a ferramenta na prensa	1
Ajustar o curso da prensa	0
Apertar parafusos (4x)	0.5
Total	3

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. Para conseguir integrar as células de manufatura, de forma que elas consigam trabalhar de maneira regular, em um fluxo contínuo e sem estoques intermediários, é necessário diminuir os desperdícios do sistema. Um dos fatores que contribui para a formação dos estoques é o tempo de espera do material para ser processado.

Com relação a esse tema, considere os elementos de I a IV a seguir:

- I - Matriz de competência dos operadores.
- II - Troca rápida de ferramentas.
- III - Sincronização do fluxo de trabalho.
- IV - *Poka Yoke*.

Selecione a opção a seguir que contenha elementos que reduzem o desperdício por tempo de espera.

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) II, III e IV, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) IV, apenas.

2. A célula de manufatura pode proporcionar um significativo aumento na produtividade dos sistemas de manufatura, pois reduzem os estoques intermediários e as distâncias percorridas pelo material e pelos operadores. Selecione a alternativa que melhor descreve uma célula de manufatura.

- a) Um conjunto de máquinas dispostas na mesma sequência, em que as etapas do processo de fabricação de um produto ou família de produtos são executadas.
- b) Um conjunto de máquinas com características semelhantes que podem ser operadas por um único operador.
- c) Um conjunto de máquinas automatizadas e ligadas por um sistema de transporte e abastecimento, dispensando a necessidade de um operador.
- d) Um conjunto de máquinas alocadas em um mesmo centro de custo.
- e) Um conjunto de máquinas dedicadas à fabricação de um único tipo de produto, dispostas em linha, projetado de forma a maximizar a eficiência pelo uso ininterrupto.

3. A Tecnologia de Grupo (TG) agrupa tipos de peças de acordo com determinadas características, ou seja, com características comuns que possam ser fabricadas por processos similares. Dessa forma, é possível maximizar a utilização dos recursos de produção. Algumas das principais vantagens das células de manufatura, como redução do número e do tempo de *setup* e simplificação do fluxo de produção, vêm do agrupamento de peças, que também agrupa tarefas similares, evitando redundâncias. O objetivo de utilizar a Tecnologia de Grupo na formação de células de manufatura é:

- a) Facilitar a troca de ferramentas.
- b) Diminuir o tempo de ciclo de fabricação.
- c) Diminuir o *takt time*.
- d) Aumentar a satisfação do colaborador.
- e) Diminuir os estoques intermediários.

Seção 3.2

Implementação de sistemas integrados de manufatura: integração

Diálogo aberto

Caro aluno, você já passou alguma vez pela situação de chegar em sala de aula e perceber que esqueceu alguma obrigação em casa que deveria ser entregue naquele dia? Isso acontece com todo mundo, e não adianta nos martimizarmos por isso. Após passar por essa situação algumas vezes, ficamos convencidos de que Shingo (1985) tinha razão quando afirmou que a melhor forma de evitar isso é elaborando checklists específicos. O mesmo ocorre em uma linha de produção. Não adianta confiarmos na memória dos operadores e exigir que eles não cometam erros, apenas prestando mais atenção no trabalho. Esse vai ser um dos temas abordados na Seção 3.2, quando estudarmos a respeito dos Sistemas de Controle da Qualidade Integrado (CQI). Também vamos abordar como integrar a função de Manutenção Preventiva (MPI). Logo a seguir, estudaremos como nivelar e sincronizar o trabalho das células de manufatura e, ainda, a comunicação entre células por meio do sistema Kanban.

Vamos utilizar novamente o contexto de aprendizagem que você pode encontrar no *Convite ao estudo* desta unidade para criar uma situação na qual você vai poder treinar o uso dessas técnicas, desenvolvendo a segunda de um total de seis partes do seu plano de ação. Imagine agora que, durante a conversa com o seu CEO, ele apontou a necessidade de diminuir alguns estoques intermediários e aumentar a disponibilidade de algumas máquinas. A Tabela 3.5 contém o registro do diário de ocorrência de máquina e o registro da qualidade dos últimos três dias de produção de dois equipamentos escolhidos aleatoriamente. Com essas observações, que medidas você propõe para aumentar a eficiência do sistema de manufatura?

Tabela 3.5 | Registro de ocorrências na manufatura

Data	Ocorrência	Impacto
Registro de ocorrência em máquina		
10/11	Peça escapou da castanha devido à pressão de fixação inferior errada. Painel quebrou devido ao impacto com a peça. Quase causou acidente com operador.	2 turnos com a máquina parada (não havia painel prontamente disponível).
12/11	Produção interrompida devido ao aquecimento de um dos motores. Constatada falta de lubrificação devido a um vazamento de óleo já conhecido pelo operador.	Máquina parada durante 1 turno.
Diário da qualidade		
11/11	Lote de 100 produtos foi refugado devido a diâmetro de furação fora do especificado em um dos componentes. Foi utilizada broca errada para a operação de furação.	100 produtos a retrabalhar. 100 componentes refugados.

Fonte: elaborada pelo autor.

Para implementar essa melhoria, você deverá compreender e ser capaz de aplicar os conceitos de Manutenção Preventiva Integrada e Sistema de Controle da Qualidade Integrado.

Esforce-se e tenha um bom trabalho!

Não pode faltar

Caro aluno, o Controle da Qualidade Integrado (CQI) é uma abordagem para garantir a conformidade com as especificações dos resultados produzidos por um sistema de manufatura, segundo a qual todos os níveis organizacionais devem se envolver no compromisso para manutenção e melhoria da qualidade. A ênfase é dada na inspeção e no controle integrados ao sistema de manufatura e na responsabilidade e autoridade dada aos trabalhadores em garantir a qualidade dos produtos e, se necessário, interromper a produção. Nesse caso, o papel do departamento de qualidade passa a ser o de promover os conceitos de qualidade na organização. Esse pensamento é completamente diferente da abordagem tradicional, em que a responsabilidade pela garantia da qualidade é atribuída a um departamento da qualidade central.



Refleta

O Sistema Toyota de Produção, base da manufatura enxuta, procura desenvolver a plena utilização das competências de todos os

colaboradores. Esse princípio permite delegar maiores responsabilidades aos operadores nas atividades de qualidade e manutenção, por exemplo. Em sua opinião, quais são as competências mais importantes, tanto dos operadores quanto supervisores, para o sucesso da implantação de um sistema integrado de qualidade e manutenção?

Essa abordagem combina perfeitamente com o conceito de células de manufatura e lotes tendendo ao unitário. Em uma célula de manufatura com lotes unitários, cada trabalhador é responsável por garantir a qualidade do produto da sua célula antes de liberá-lo para a próxima célula ou operação.

Por outro lado, a inspeção manual é considerada uma maneira ineficiente de utilizar a mão de obra (LEVINSON, 2007), pois uma boa parte dos erros não serão detectados. Ciente desse fato, Shigeo Shingo criou o conceito de *Self Check* (auto inspeção), viabilizando a inspeção em 100% dos produtos de maneira eficiente e com baixo custo. De acordo com Shingo (1985), os primeiros métodos de inspeção eram baseados em amostragens e julgamento para descobrir os defeitos produzidos. Considerava-se que uma certa quantidade de produtos defeituosos era inevitável em qualquer trabalho executado por humanos, e a única forma possível para reduzir defeitos de produtos enviados ao cliente era adotar inspeções mais rigorosas e com maior frequência. Posteriormente, foram desenvolvidos os métodos de controle estatístico de processo, que utilizam critérios científicos para determinação de limites de controle (menores que os limites de especificação ou as tolerâncias de desenhos), desvios padrões, experimentos estatísticos, histogramas e outras ferramentas estatísticas para implementar inspeções capazes de detectar alterações no processo, antes que ele viesse a produzir defeitos no futuro. Portanto, o controle estatístico de processo efetivamente reduzia a quantidade de defeitos produzidos. Porém, o controle estatístico de processo ainda era baseado na premissa de que um certo número de defeitos era inevitável. Assim, em um terceiro estágio da evolução dos sistemas de controle da qualidade, surgiram os dispositivos à prova de erro (*Poka Yoke*), que possibilitaram a inspeção 100% de forma eficiente e com baixo custo.

O próximo estágio de evolução dos sistemas de controle de qualidade foram as autoinspeções e as inspeções sucessivas. Essa

abordagem surgiu do seguinte questionamento: por que os métodos estatísticos apenas reduziam os defeitos e não os eliminavam completamente? A resposta encontra foi que a velocidade de reação de sinais identificados pelos controle estático de processo não era suficiente para evitar os defeitos. Considerando isso, a alternativa encontrada foi a autoverificação. Segundo essa abordagem, o operador deveria ser responsável pela verificação e pela ação. O ponto fraco dessa abordagem era a ideia de que as inspeções não deveriam ser feitas pela mesma pessoa que executava a operação, para evitar análises tendenciosas. Se a inspeção for feita pelo próximo operador, e não pelo próprio operador que executa a tarefa, esse problema é eliminado, pois criava uma relação clara de cliente-fornecedor entre as sucessivas etapas do processo produtivo.

A seguir, o controle de qualidade evoluiu, incorporando o método de inspeções na fonte, baseado na premissa de que ocorrência de defeitos é resultado de alguma condição ou efeito inapropriado. Se essa condição ou efeito são descobertos antes de se transformarem em erros, os defeitos podem ser eliminados completamente. Assim, a inspeção das condições operacionais antes do início de qualquer trabalho é a base do controle de qualidade na fonte.

Portanto, o CQI utiliza os conceitos de controle estatístico, zero defeito, inspeção na fonte, *Poka Yoke* e 5S para:

- Determinar quantos produtos suficientes foram produzidos.
- Determinar se alguma parte do processo está operando de forma diferente do planejado.
- Determinar se alguma coisa está mudando no processo, podendo gerar defeitos no futuro.

O CQI também pressupõe a melhoria contínua dos sistemas e a extensão do mesmo conceito para os fornecedores, eliminando a necessidade de inspeção na entrada do material.

O conceito de Manutenção Preventiva Integrada (MPI) está intimamente ligado ao conceito de CQI. Na MPI, o comportamento dos equipamentos deve ser conhecido pelos seus operadores, incluindo os problemas rotineiros e os fatores que causam perda da estabilidade estatística.

A MPI leva em consideração um conceito apresentado na Seção 2.1 da Unidade 2, chamado Muri, ou sobrecarga. Segundo a MPI, a

programação de uso dos recursos deve levar em consideração um período específico para a manutenção de máquinas, dispositivos de fixação, ferramentas de corte e pessoal. Certamente há um paradigma a ser quebrado, na maioria das empresas, relacionado a esse ponto, pois o que a MPI propõe é uma programação que considera uma utilização menor do que 100% da capacidade da máquina. Para operacionalizar esse conceito, o ritmo da fábrica deve ser programado de forma a permitir intervalos de tempo específicos para a realização da manutenção preventiva. Dessa forma, a vida das máquinas é estendida grandemente e as paradas imprevistas reduzidas drasticamente. Lembrando que, conforme estudamos na Seção 2.1 da Unidade 2, uma das razões para a existência de estoques maiores que o necessário são as paradas imprevistas de máquina, obrigando os programadores da produção a contar com estoques de segurança. Dessa forma, a MPI contribui para a redução do desperdício decorrente de excesso de estoque.

Outro conceito da MPI é o da transferência da responsabilidade da manutenção preventiva para os operadores. Diariamente, antes de iniciar o turno, os operadores utilizam checklists para verificar as condições operacionais da máquina. A maior parte das manutenções rotineiras ficam a cargo dos operadores. Por sua vez, o departamento de manutenção é encarregado de fazer as principais revisões das máquinas e agir em caso de problemas mais complexos.

A MPI também utiliza os principais elementos da Manutenção Produtiva Total: (i) eliminar as seis grandes perdas que impedem o aumento da eficácia do equipamento: falhas nos equipamentos, *setup* e regulagem, operação em vazio, queda de velocidade, defeitos no processo, defeitos no início da produção; (ii) desenvolver um programa de manutenção autônoma, envolvendo limpeza, padrões de operação e inspeção; (iii) desenvolver um programa de manutenção planejado; (iv) aumentar a habilidade dos operadores e pessoal da manutenção, por meio da participação dos operadores, mesmo nas atividades de manutenção mais complexas, executadas pelo pessoal do departamento de manutenção; (v) desenvolver um programa de gerenciamento do uso do equipamento, incluindo registros do seu uso.

O layout em células de manufatura juntamente com as técnicas de troca rápida de ferramentas, estudadas na Seção 3.1 desta unidade, o Controle Integrado da Qualidade e a Manutenção Preventiva Integrada

tornam o sistema de manufatura estável o suficiente para que os lotes de produção sejam reduzidos consideravelmente, abrindo caminho para o próximo grande passo na melhoria do sistema de manufatura: o balanceamento e o nivelamento da produção.

Nossa primeira preocupação deve ser selecionar o processo puxador do fluxo de produção e definir o ritmo desse processo, levando em consideração o *takt time*. Para o sistema funcionar adequadamente, é importante que toda a transferência de material, desde o processo puxador até o final da montagem dos produtos, seja feita em um fluxo contínuo, sem supermercados de componentes ou estoques intermediários. Por isso, normalmente, o processo puxador é a última etapa antes do envio do produto ao cliente. O ritmo de produção, ou o tempo de ciclo, deve ser o mais próximo possível do *takt time*.

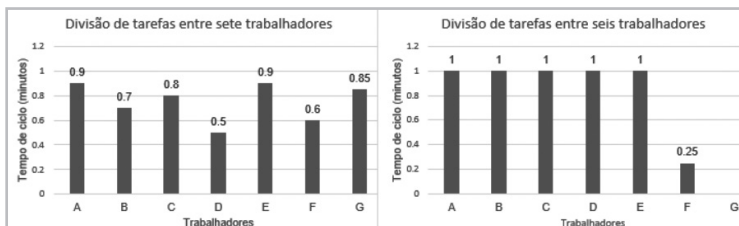
Uma vez definidos o processo puxador e o *takt time*, devemos balancear as células de manufatura. Para isso, o primeiro passo é decompor o trabalho a ser executado em tarefas menores. Em seguida, atribuímos as tarefas aos operadores, de tal maneira que a soma dos tempos das tarefas de cada operador fique mais próxima possível do *takt time*. É importante que a distribuição de tarefas e o seu tempo padrão deva ser documentado em fichas de operações padrão ou Rotina de Operação Padrão (ROP). Nos sistemas de produção enxuta, os padrões operacionais são utilizados para atingir e manter uma produção balanceada com o mínimo custo de processamento.



Exemplificando

A Figura 3.6 mostra dois exemplos de divisão de tarefas em uma linha de produção. A primeira mostra a divisão de trabalho entre sete trabalhadores e a segunda, entre seis trabalhadores, cinco dos primeiros com um minuto de trabalho e o sexto com 0,25 minutos de trabalho. No segundo caso, o trabalhador F pode ser utilizado para absover irregularidades na linha (auxílio em caso de problemas, faltas etc.), ou podemos executar melhorias adicionais para poder liberá-lo para o trabalho em outra célula.

Figura 3.6 | Exemplo de um balanceamento de linha



Fonte: adaptada de Black (2001).

Após o balanceamento da produção, as linhas e células de manufatura devem ser sincronizadas. Sincronizar o sistema de manufatura balanceado significa fazer com que todos os elementos (células, linhas e equipamentos) iniciem e terminem o trabalho de maneira coordenada, para que não haja acúmulo de peças entre eles, nem que uma célula fique aguardando a transferência de material para poder iniciar seu trabalho.

A sincronização entre equipamentos pode ser feita de maneira automática, com o uso de dispositivos mecânicos ou microchaves que estabelecem a comunicação entre eles, indicando o término de uma operação ou a disponibilidade de uma peça para processamento.

Um método para realizar a sincronização entre equipamentos que não são interligados por esteiras, ou que não estejam próximos, é o sistema *Yo-I-Don* (termos em japonês que significam "aprontar", "preparar", "ir"). O *Yo-I-Don* é operacionalizado da seguinte forma: em um sistema que utilize diferentes células ou linhas balanceadas e sincronizadas para produzir um mesmo produto final, os operadores pressionam um botão assim que terminam sua tarefa e passam o componente para a próxima operação. O botão acende uma luz verde no sistema *Andon*, indicando que a tarefa foi concluída. As luzes do sistema *Andon* correspondentes às diferentes operações formam um quadro. Caso uma operação não tenha sido concluída no tempo de ciclo predeterminado, uma luz vermelha se acende no quadro, no lugar correspondente à operação não completada, indicando um problema. Nesse caso, os operadores mais próximos ao local e o supervisor movimentam-se para o posto que não conseguiu completar a operação e prestam auxílio. Quando o problema é resolvido e a tarefa concluída, a luz vermelha se apaga e um novo ciclo de trabalho é iniciado em todos os processos ao mesmo tempo.

Além de manter a sincronização da fábrica em termos de ciclos de tempo, também é necessário garantir a sincronização do fluxo de materiais. Os operadores devem saber para onde o material vai, de onde ele vem, em que quantidade ele é necessário e em que quantidade ele deve ser produzido. O sistema Kanban é um sistema de gerenciamento das informações de produção e controle de inventário utilizado para esse propósito.

No sistema Kanban mais simples, um cartão de produção é fixado a uma caixa de transporte específica para cada tipo de componente, na qual cabe uma quantidade predeterminada de componentes. Quando uma caixa com componentes chega ao processo cliente, o cartão é retirado dela, levado até o supermercado de peças e colocado no quadro de Kanban daquela peça, sempre na fileira mais baixa disponível. O quadro de Kanban possui fileiras de cartões com cores diferentes, iniciando com fileiras verdes na base (que indicam menor prioridade: o nível de estoque do componente está verde), amarelas no meio e vermelhas no topo (que indicam alta prioridade: o nível de estoque daquele componente está no vermelho). O processo fornecedor analisa o quadro de Kanban e decide o que produzir, baseado no número de cartões em cada fileira (cartões nas fileiras vermelhas têm ordem de prioridade superior aos das fileiras amarelas, que têm prioridade superior aos que estão na fileira verde). Tomada a decisão, ele retira o cartão de Kanban do quadro, fixa à caixa de peças e a leva para a célula de produção, indicando aos operadores da célula para produzir a quantidade correspondente a uma caixa daquele componente. Terminada a produção daquela caixa, ela vai para o supermercado de componentes e o cartão é fixado a ela, até que o processo cliente a retire do supermercado, iniciando um novo ciclo daquele cartão.

O número de cartões Kanban (N) circulando na fábrica é calculado de acordo com a equação $N = \left[D \times (T_w + T_p) \times (1 + \alpha) \right] + a$, onde: N = número de cartões Kanban; D = Demanda; T_w = Tempo de espera pelo Kanban; T_p = Tempo de processamento; a = Capacidade do container; α = variável política.

A implementação do Kanban não produz os resultados esperados se deixarmos de considerar que o sistema de manufatura não está inserido em um contexto dinâmico, com constantes mudanças. Por exemplo, a variável política (α) utilizada no cálculo para o número de

cartões Kanban (N) é incluída no cálculo como forma de considerar a capacidade de um setor em lidar com os desperdícios e interferências externas. Setores incapazes de melhorar suas operações devem trabalhar com valores maiores de α temporariamente, ou seja, utilizando um número maior de cartões. À medida que melhorias são implementadas, é possível diminuir o valor de α e o número de cartões Kanban. Portanto, o valor de α também permite à alta gerência medir a evolução e a capacidade de implementar melhorias do setor. Como o número de cartões (N) é fixo, quando a demanda (D) aumenta, é necessário diminuir o valor de $(T_p + T_w)$, ou seja, diminuir o *lead time*.



Pesquise mais

Os dois vídeos a seguir demonstram de maneira bastante simples o funcionamento de um sistema Kanban. Aproveite alguns minutos do seu tempo e os consulte para entender um pouco mais dessa ferramenta.

CANAL da indústria. **KANBAN produção:** animação do fluxo de cartões. 2009. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Q3x6DbIDNbk>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

GMAP Unisinos. **KANBAN – Drops Indústria Mais SEBRAE RS.** 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hb_9m53Ykuo>. Acesso em: 14 jun. 2017.

Essas técnicas permitem que a fábrica, como um todo, funcione de maneira sincronizada. Considere, por exemplo, uma fábrica de refrigeradores em que os produtos são montados com um tempo de ciclo de 180 segundos. Como cada refrigerador precisa de um gabinete, é necessário que a célula de produção de gabinetes os produza com o mesmo ritmo. Contudo, se o mesmo refrigerador utilizar 3 prateleiras iguais, é necessário que elas sejam produzidas em um ritmo de uma prateleira a cada 60 segundos. O fluxo de material e o balanceamento da mão de obra devem respeitar esse ritmo. Todas as peças que entram no sistema de manufatura são processadas e montadas como se estivessem em uma mesma linha de produção. No final, os produtos saem prontos da linha, um a um, e, em caso de problemas, toda a linha para, mas passa a andar novamente de forma mais ágil que nos sistemas tradicionais de montagem. O sistema de Kanban é o elemento que conecta todas as linhas e células de manufatura.



A seguir, um breve resumo do que vimos nesta seção.

- Controle da Qualidade Integrado (CQI):

- Envolvimento de todos os níveis organizacionais.
- Uso intensivo de *Poka Yoke* e inspeção na fonte.
- Operadores garantem a qualidade dos produtos.
- Autonomia para parar a produção, se necessário.
- Qualidade central promove os conceitos e técnicas utilizados.

- Manutenção Preventiva Integrada:

- Responsabilidade da manutenção preventiva transferida para os operadores.
- Além da conservação das máquinas, considera as condições que produzem variações na qualidade dos produtos.
- Operadores com conhecimento profundo do comportamento das máquinas e de fatores que geram variações na qualidade dos produtos.
- Checklists de verificação das condições operacionais no início dos turnos.
- Utiliza conceitos da manutenção produtiva total.

- Balanceamento e nivelamento da produção:

- Funcionamento estável do sistema como pré-requisito.
- Decomposição do trabalho de cada célula em tarefas menores.
- Atribuição de conjuntos de tarefas com tempo total igual ao *takt time*.
- Elementos do sistema de manufatura iniciam e terminam os ciclos de produção de cada produto no mesmo instante.
- Conceito Yo-I-Don.

Integração das células via Kanban:

- Kanban estabelece a comunicação entre células e linhas de produção.
- Cartão Kanban autoriza a produção ou a transferência de componentes.
- Decisão de produção baseada na prioridade visualizada no quadro de cartões Kanban.
- Cálculo do número de cartões Kanban admite alterações no contexto de produção.

Sem medo de errar

Considerando as informações dos diários de qualidade e ocorrências em máquinas apresentadas na Tabela 3.5, fica clara a motivação do pedido do seu CEO. Notamos grandes desperdícios ocasionados por falhas operacionais que poderiam ser evitadas com a aplicação de técnicas de Controle da Qualidade Integrados (CQI) e Manutenção Preventiva Integrada (MPI).

Com relação ao primeiro problema, a peça que escapou da castanha devido à pressão de fixação incorreta no dia 10/11, podemos recorrer tanto ao conceito de inspeção na fonte quanto ao conceito de MPI. Do ponto de vista de inspeção na fonte, devemos considerar que a forma mais eficiente de assegurar a qualidade das peças é garantir que as condições operacionais do processo estejam conforme o planejado e sejam suficientes para produzir produtos e componentes de acordo com a especificação. Nesse caso, a forma de fixação da peça é um importante elemento, pois a fixação inadequada de peças durante sua fabricação é uma das fontes comuns de variações dimensionais. Portanto, essa característica deveria estar registrada em uma ficha de Rotina Operacional Padrão (ROP) e ser verificada por um operador sênior ou supervisor antes do início da operação. Dessa forma, a garantia dessa condição operacional, além de assegurar a qualidade da peça, proporcionaria uma operação segura e livre de acidentes. Do ponto de vista da MPI, o operador deve conhecer profundamente o comportamento da máquina, não apenas do ponto de vista de conservação e manutenção da sua vida útil, mas também as condições necessárias para produção de itens com qualidade. Mais uma vez, a condição de fixação da peça deveria ser conhecida como um fator importante e verificada durante a produção. Nesse caso, o treinamento

adequado do operador deveria ser reforçado e esse comportamento deveria ser registrado em checklists de verificação.

Com relação ao segundo problema (ocorrência do dia 12/11), sobre o aquecimento devido ao vazamento de óleo, durante a implementação do conceito de MPI devemos treinar os operadores para que eles conheçam as máquinas por eles operadas, a ponto de poderem executar as tarefas de manutenção mais simples e que essas sejam executadas diariamente. Assim, podemos evitar que situações simples e conhecidas interrompam a produção enquanto o departamento de manutenção trata de problemas mais complexos.

Com relação ao terceiro problema (ocorrência de 11/11), os 100 produtos refugados devido a um componente não conforme, mais uma vez a implementação do conceito de CQI e inspeção na fonte pode nos ajudar. Basta lembrar que a inspeção na fonte deve garantir as condições operacionais para produção de itens conforme a especificação. Portanto, a verificação do diâmetro da broca pelo supervisor ou operador sênior deve ser incluída na ROP para liberação do início de produção daquele processo.

Avançando na prática

Nossos operadores precisam ser mais atentos

Descrição da situação-problema

Uma fábrica de painéis elétricos produz três diferentes tipos de painéis de controle para uma grande indústria de bens duráveis. Em um dos modelos de painéis, duas pequenas lâmpadas do tipo LED devem ser montadas sob os botões de acionamento e de parada de emergência, de maneira a indicar quando um desses botões é acionado. O operador retira cada lâmpada de uma caixa que contém 100 unidades e que fica ao lado da linha de montagem. Frequentemente, a instalação de uma das lâmpadas deixa de ser feita pelo operador e o defeito só é descoberto no teste final ou pelo cliente. Mesmo quando descoberta, no teste final, há um grande inconveniente, pois o produto deve voltar para a linha de produção para ser retrabalhado, gerando desperdícios. Os operadores desse posto já foram trocados várias vezes e o supervisor solicita frequentemente que os operadores não esqueçam de fazer essa montagem.

Que solução você proporia para evitar esse problema?

Resolução da situação-problema

Esse problema é similar ao relatado por Shingo (1985) a respeito de uma operação de montagem em uma fábrica de produtos eletrônicos. Foi dessa situação que surgiu o conceito de *Poka Yoke*, ou dispositivo à prova de erros. Assim como na situação relatada por Shingo (1985), devemos considerar que qualquer operador está sujeito a cometer falhas e que, um processo que dependa apenas de sua atenção, eventualmente produz produtos com defeitos. Assim, é necessário introduzir no processo algum elemento que indique quando uma operação é feita de maneira inadequada ou incompleta, por exemplo, o checklist utilizado por pilotos de aviação antes de decolar qualquer aeronave. Nesse caso, abastecer a linha de produção com uma embalagem menor, contendo apenas a quantidade de lâmpadas prevista para serem instaladas em um determinado período (não maior que um turno) pode ser útil. Com embalagens menores, é mais fácil perceber quando algum painel não teve a lâmpada instalada, pois, se no final do turno sobrar alguma, significa que algum painel foi montado com sua ausência. Esse procedimento pode minimizar a possibilidade de envio de peças defeituosas para o cliente, mas ainda não evita o retrabalho de peças, pois apenas detecta o problema no final do turno. Um procedimento mais eficaz poderia ser o estabelecimento de uma rotina de operação à prova de falhas. Por exemplo, as caixas contendo 100 lâmpadas poderiam ficar afastadas do posto de montagem. No início de cada ciclo de montagem, o operador ou o abastecedor da linha retira da caixa maior apenas as duas lâmpadas correspondentes a cada produto e as deposita em uma embalagem menor no posto de montagem do produto. Dessa forma, a falha em instalar a lâmpada seria percebida antes da transferência do painel para a próxima estação de montagem, limitando o problema à mesma estação onde ele é gerado e possibilitando seu reparo imediato.

Faça valer a pena

1. O controle de qualidade integrado utiliza o conceito de inspeção na fonte como forma de evitar que peças defeituosas sejam produzidas e enviadas ao cliente ou à próxima etapa do trabalho.

Assinale a alternativa que corresponde a uma inspeção do tipo inspeção na fonte.

- a) Uma célula de produção utiliza um sistema *Poka Yoke* para testar o diâmetro e a posição de um furo e impedir que peças defeituosas sejam transferidas para a próxima célula.
- b) O próprio operador toma as medidas do diâmetro e a posição do furo que ele está usinando e anota os resultados em uma carta de controle.
- c) Um operador sênior verifica as coordenadas dos posicionadores e o diâmetro da broca antes do início de uma operação de furação.
- d) O operador da célula seguinte mede o diâmetro e a posição de um furo executado pela célula anterior e interrompe a produção em caso de problema.
- e) Um operador mede o diâmetro e a posição de um furo a cada dez peças usinadas.

2. Um dos passos para a implantação dos Sistemas Produtivos de Manufatura Integrada SPMI, uma derivação direta das ideias propostas originalmente por Shigeo Shingo e Taiichi Ohno, e proposta por Black (2001), é a incorporação da Manutenção Preventiva Integrada. (BLACK, 2001).

Com relação à Manutenção Preventiva Integrada, é correto afirmar que (selecione a alternativa correta):

- a) A base da MPI é o uso de técnicas de monitoramento de variáveis que indicam a degradação dos equipamentos.
- b) A MPI se preocupa apenas com o aumento da vida útil das máquinas.
- c) A MPI se preocupa com as condições que podem levar à produção de peças defeituosas.
- d) A base da MPI é a utilização de complexas técnicas de confiabilidade para garantir a vida útil das máquinas.
- e) Devido à sua complexidade, a MPI é executada por um departamento especialista em técnicas de manutenção.

3. O nivelamento e a sincronização de células de manufatura é uma das etapas para a formação de um Sistema Produtivo de Manufatura Integrada (SPMI). Com relação a essa etapa, considere as afirmações a seguir:

- I. Sincronizar e balancear as células de manufatura têm o mesmo significado.

II. Em um SPMI, quando uma célula está atrasada, os operadores das demais células param para prestar auxílio à célula com problema.

III. Em um SPMI, a soma dos tempos das tarefas de cada operador deve ser similar a dos demais.

IV. Em um SPMI, cada célula deve operar de forma mais rápida possível para eliminar os desperdícios com espera.

Verifique atentamente as afirmações de I a IV e selecione a alternativa a seguir que contém apenas afirmações corretas.

a) I, apenas.

b) I e II, apenas.

c) I, II e III, apenas.

d) II e III, apenas.

e) II, III e IV apenas.

Seção 3.3

Implementação de sistemas integrados de manufatura: facilitando as coisas

Diálogo aberto

Caro aluno, tente lembrar de um estabelecimento comercial que você frequente com certa constância e considere a forma como você é atendido (quem sabe até, em alguns momentos, compre fiado!). Muitas vezes as pessoas que o atendem até já conhecem o que você gosta de pedir e seus horários. Agora, compare essa experiência com outra qualquer de comprar em um estabelecimento que você frequenta esporadicamente. Em qual das duas as suas necessidades são atendidas de forma mais fácil? Em um sistema de manufatura, é possível estabelecer os mesmos tipos de relacionamento. A manufatura enxuta sugere o estabelecimento de alianças duradouras com os fornecedores, de modo a deixar toda a cadeia de fabricação mais eficiente. Esse é um dos assuntos que serão tratados nesta seção. Além disso, vamos falar sobre outras formas de aumentar a eficiência, como a diminuição dos estoques intermediários, a informatização e a automação.

Considerando esses temas e o contexto de aprendizagem apresentado no *Convite ao estudo* da Unidade 3, no qual você assumiu a gerência geral de uma fábrica de embalagens, vamos estabelecer uma situação hipotética para que você possa aplicar o uso desse conteúdo.

Imagine agora que, no último relatório de produtividade da manufatura, é possível verificar que algumas máquinas ficaram por períodos significativos sem funcionamento pela falta de material para processar, apesar do produto a ser manufaturado com aquele material já estar com prazo de entrega atrasado. Após alguma investigação, foi possível concluir que o pedido de vendas foi aceito levando em consideração uma hipótese errada: como, no mês anterior, o fornecedor concordou em antecipar a entrega mensal de materiais em dez dias, a equipe de planejamento da produção e planejamento de materiais supôs que ele concordaria em antecipá-la novamente. Porém, dessa vez ele não concordou e ainda mostrou certo

descontentamento com o segundo pedido de antecipação. Há um segundo fornecedor que entregou o mesmo tipo de componente há pouco tempo, mas, por ter sido preterido em outro projeto, resolveu interromper o fornecimento do componente em questão.

Que oportunidades de melhoria você poderia propor para aprimorar a integração do controle de estoques e dos fornecedores?

Para resolver essa situação, você pode utilizar os conceitos sobre redução de estoques e integração de fornecedores, tema que vamos estudar logo a seguir.

Não pode faltar

Caro aluno, conforme temos estudado até agora, a redução de estoques de matéria-prima, estoques intermediários e de produto final é um dos elementos principais da manufatura enxuta. A redução de estoques resulta em maior giro do estoque, permite uma reação mais rápida a alterações de volumes e mix de vendas, além de expor os problemas e desperdícios do sistema de manufatura.

Temos tratado esse assunto do ponto de vista “porta a porta”, ou seja, da entrada de matérias primas na fábrica até o envio de produtos aos clientes. Nesta seção, vamos incluir mais um conceito importante, nesse contexto, o de cadeia de suprimentos. Antes de reduzir os estoques de maneira mais ousada, temos que nos assegurar de que as matérias-primas e os componentes estejam sempre disponíveis.

A manufatura enxuta considera os fornecedores de matérias-primas e de componentes como células remotas, integradas ao sistema produtivo da empresa, por meio do sistema Kanban. Contudo, considerar o fornecedor como uma célula remota e reduzir os estoques no fornecedor também envolve riscos. A implementação desse conceito deve ser feita de forma gradual, com os estoques sendo reduzidos à medida que o fornecedor demonstra capacidade em melhorar processos e eliminar desperdícios. As empresas que efetivamente aplicam a filosofia da manufatura enxuta em sua cadeia de suprimentos utilizam os conceitos de um tipo de relacionamento entre clientes e fornecedores chamado de Keiretsu. Esse termo se refere a um grupo de companhias que possuem negócios em comum e estabelecem relações de longo prazo, baseadas não apenas em obrigações contratuais, mas também em confiança e cooperação.



O tipo de relacionamento conhecido como Keiretsu é aplicado, há muito tempo, por grupos de empresas no Japão. Que tipo de cuidados adicionais você levaria em consideração ao adaptar esse tipo de ligação aos conceitos e à geografia de países ocidentais?

Ao estender o conceito de manufatura enxuta a uma cadeia de suprimentos, é importante levar em conta alguns fatores determinantes na formação do novo arranjo conjuntural.

Em primeiro lugar, é importante nos assegurarmos de que a **cultura dos fornecedores é compatível com os princípios da manufatura enxuta**. Fornecedores que não compartilham os princípios da manufatura enxuta geralmente não conseguem ser flexíveis o suficiente para realizar fabricação e entrega em pequenos lotes, atendendo a programação Just in Time do cliente. Portanto, eles dependem da manutenção de lotes grandes para que, ao receber os pedidos, possam atendê-lo prontamente. O problema é que estoques significam custos e, dessa maneira, a economia trazida pelo JIT na linha do cliente corre o risco de desaparecer devido aos custos adicionais dos componentes, causados pelos elevados estoques do fornecedor. Além disso, os fornecedores devem ter uma cultura voltada à melhoria contínua e à redução de desperdícios, que acaba gerando ganhos de qualidade e financeiros ao longo do tempo.

Em segundo lugar, é necessário desenvolvermos **parcerias e alianças duradouras com os fornecedores**, que possam participar da integração entre engenharia de produto e de processo, ainda nos estágios de concepção do produto. Assim sendo, é possível garantir a qualidade do produto durante todo o seu ciclo de vida. O desenvolvimento de parcerias duradouras também facilita a troca de tecnologia e o investimento por parte dos fornecedores em tecnologias que vão ao encontro das necessidades futuras de seus clientes (HENKE, 2014). Outra característica das alianças duradouras é a ênfase da relação em confiança, e não apenas em termos contratuais. Por exemplo, os contratos estabelecidos entre a Toyota e seus fornecedores possuem cláusulas genéricas que, se expressas de maneira muito específica, poderiam encorajar os fornecedores a fazer apenas o que está declarado no contrato. A relação baseada em confiança pressupõe que o fornecedor esteja disposto a ir além das

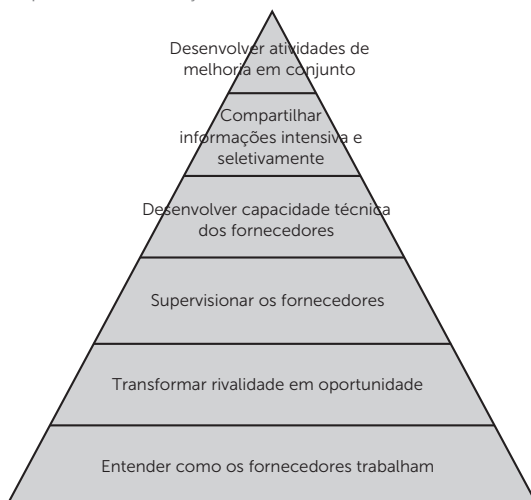
obrigações contratuais e aprender a respeito das necessidades dos clientes, além de inovar processos, encontrar e tratar erros e fazer o que for preciso para alcançar os prazos acordados.

Por outro lado, esse tipo de relação também pressupõe que os ganhos obtidos com inovação e redução de custo são compartilhados de forma justa. Outra prerrogativa é a de que os fornecedores não são substituídos por outros que ofereçam preços menores como única vantagem. Ao contrário, a Toyota suporta os fornecedores na otimização de processos organizando grupos de estudo e até mesmo enviando engenheiros especialistas de seu quadro de funcionários para auxiliar os fornecedores a melhorar a qualidade das operações e reduzir custos. Porém, esse tipo de parceria não deve significar uma relação paternalista. A participação dos fornecedores em novos projetos deve levar em conta a sua habilidade de apresentar ideias inovadoras, otimização de processos e custos e compatibilidade com os princípios da manufatura enxuta, verificada ao longo da vida dos produtos para os quais eles já fornecem componentes.

Em terceiro lugar, lembremos que **a saúde financeira de seus fornecedores é importante**. Como os estoques de segurança são reduzidos, é imperativo que matérias-primas e componentes estejam prontamente disponíveis. Nesse cenário, o impacto de um fornecedor enfrentando problemas financeiros e com dificuldades em adquirir matérias-primas ou ter sua capacidade de produção limitada é bem maior do que em um sistema de produção convencional.

Ao analisar o modo como as montadoras americanas e japonesas se relacionam com fornecedores, Liker e Choi (2004) chegaram à conclusão de que a Honda e a Toyota desenvolvem excelentes relacionamentos com seus fornecedores, utilizando valores que formam uma pirâmide, conforme apresentado na Figura 3.7. Estudos mostram que há ligação entre a qualidade desse relacionamento e os resultados financeiros da empresa cliente (HENKE, 2014; MILAS, 2005).

Figura 3.7 | Hierarquia de colaboração com os fornecedores



Fonte: adaptada de Liker e Choi (2004, p. 1).



Pesquise mais

Para complementar seus conhecimentos sobre a importância da cadeia de suprimentos e como tratá-la, sugerimos a leitura de *A Gestão da Cadeia de Suprimentos da Toyota: Uma abordagem estratégica aos princípios do sistema Toyota de produção*, que está disponível na *Minha Biblioteca*. Boa leitura!

IYER, Ananth V.; SESHADRI, Sridhar; VASHER, Roy. **A gestão da cadeia de suprimentos da Toyota**: uma abordagem estratégica aos princípios do sistema Toyota de produção. Porto Alegre: Bookman, 2009. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577807635/cfi/227!4/4@0.00:0.00>>. Acesso em 13 out. 2017.

À medida que uma operação de manufatura cresce, adquire novos clientes, novos fornecedores e passa a produzir uma quantidade maior de tipos de produtos, a administração de sua cadeia de suprimentos fica cada vez mais complexa. Em algum ponto dessa história, a quantidade e a complexidade das informações passam a ser tais, que é humanamente impossível considerar todas as possibilidades matemáticas e os cenários envolvidos na programação de produção e na cadeia de suprimentos. Antes desse problema se tornar difícil

demaís de ser gerenciado, a adoção de sistemas informatizados é um processo praticamente inevitável.

A filosofia da manufatura enxuta tem uma maneira particular de considerar o processo de informatização de um sistema de manufatura. O sistema informatizado deve servir a um propósito claro e se enquadrar no processo de agregação de valor. Isso significa que, antes da adoção da nova tecnologia, deve estar claro como ela vai auxiliar as pessoas a realizar a melhoria contínua do processo, a eliminar perdas e a atingir o que o cliente deseja. Em hipótese alguma, a adoção da nova tecnologia deve desestimular as pessoas a analisar e melhorar continuamente os processos. A lógica e os princípios implementados nos algoritmos dos softwares selecionados para controle da cadeia de suprimentos devem levar em conta os princípios de controle local e relacionamento entre processos clientes e processos fornecedores do sistema Kanban. Ainda, espera-se que a alta administração não substitua a atitude conhecida como *genchi genbutsu* na manufatura enxuta (ir até o local onde as coisas acontecem e verificar os problemas com os próprios olhos) pelo sistema informatizado.

A automação de processos de manufatura segue a mesma lógica da adoção da tecnologia de informação.

Em um sistema integrado de manufatura, a automação de processos de fabricação é enquadrada como um processo de melhoria contínua, ou Kaizen. Assim sendo, ele acontece no formato de pequenos incrementos, concentrados em resolver problemas de qualidade ou capacidade identificados no sistema. Esses pequenos incrementos podem iniciar com a mecanização de operações simples, como o carregamento e descarregamento de peças em máquinas. Nesse nível de automação, os equipamentos não são capazes de executar tarefas que envolvam decisões ou avaliação. Portanto, é necessário que o processo produtivo seja mapeado de forma adequada, identificando verificações informais que os operadores eventualmente realizam e integrá-las ao processo ou, quando possível, eliminar a necessidade das avaliações, corrigindo os problemas identificados ainda na fonte.

Um caso quase caricaturesco de aplicação inadequada de automação de processos é descrito em Gilmore (2006). No início da década de 1980, uma montadora de veículos norte-americana, que

naquela época utilizava aproximadamente 300 robôs, anunciou que teria 14.000 robôs em suas plantas até o final da década, formando uma *joint venture* (tipo de acordo entre empresas que dividem recursos com um determinado objetivo) com uma empresa fabricante de robôs. Após o investimento de valores que, naquela época eram equivalentes ao valor de duas importantes concorrentes juntas, os robôs nunca funcionaram adequadamente e outros concorrentes próximos eram capazes de fabricar o mesmo volume de veículos com quantidade de mão de obra bem menor.

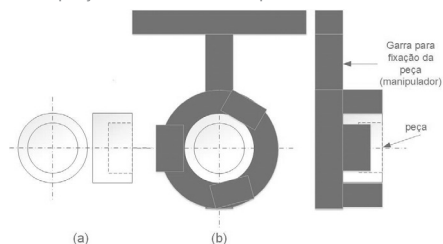
Visitantes das plantas automatizadas relataram que presenciaram robôs pintando eles mesmos, entre outras falhas. É claro que o problema não foi a automação em si, mas o emprego da automação sem um propósito de eliminar problemas específicos.



Exemplificando

Durante o processo de automação do carregamento de uma peça cilíndrica em um centro de usinagem, percebeu-se aumento considerável de refugos em relação ao processo manual. A investigação da causa revelou que, no processo manual, o operador identificava visualmente as irregularidades na forma do produto antes de fixá-lo na castanha da máquina e escolhia as regiões da peça com menor deformação como apoio. A Figura 3.8 mostra na parte (a), a vista frontal e lateral de uma peça. Na parte (b) da mesma figura, é representada a vista frontal e lateral de um manipulador automático utilizado para alimentar a peça em uma máquina. Ao automatizar a operação, o manipulador automático, mostrado na Figura 3.8, não era capaz de fazer essa verificação e escolha. Quando a região de apoio coincidia com regiões de maior deformação (por rebarbas, região de quebra de massalote, etc.), a operação de usinagem era malsucedida, gerando refugo. A peça fundida teve que ser redesenhada, considerando zonas específicas de apoio com erro de forma controlado.

Figura 3.8 | Desenho da peça e do manipulador automático, peça cilíndrica solta (a) e a mesma peça fixada em manipulador automático (b)



Fonte: elaborada pelo autor.

Outros fatores a serem considerados no processo de automação em um sistema de manufatura integrado são a Capabilidade de Processo dos Robôs (CPR) e a manutenção da flexibilidade da célula.

Tipicamente, o layout de uma célula mecanizada é disposto em forma de “U” ou circular; para permitir que o robô acesse todos os equipamentos, o robô está no centro da célula e executa tarefas sensíveis de carregamento e descarregamento de peças. Para tanto, ele deve ter a capacidade de executar tarefas repetidas vezes com um desvio máximo dentro de um limite especificado. Essa capacidade é chamada de Capabilidade de Processo do Robô (BLACK, 1998).

Com relação à flexibilidade da célula, não podemos esquecer de que, em uma célula manual, o treinamento dos operadores é o elemento mais crítico para a manutenção da sua flexibilidade. Porém, em uma célula mecanizada, a habilidade dos equipamentos automáticos em manipular as diferentes peças passa a ser o elemento crítico na manutenção da flexibilidade. Portanto, contramedidas devem ser previstas para que o sistema não seja engessado.



Assimile

Vamos recordar os principais conceitos estudados na Seção 3.3:

1. Redução de estoques intermediários:

- a) Melhora nos resultados financeiros.
- b) Melhor identificação dos desperdícios.
- c) Aumento da flexibilidade.
- d) Representa um risco se a cadeia de suprimentos não seguir mesmos princípios.

2. Integração da cadeia de suprimentos:

- a) Fornecedores com cultura compatível com a manufatura enxuta.
- b) Formação de alianças duradouras com os fornecedores.
- c) A saúde financeira do fornecedor afeta os resultados do cliente.
- d) A qualidade do relacionamento com os fornecedores afeta os resultados financeiros do cliente.

e) Hierarquia de colaboração com fornecedores.

3. Informatização:

a) Não deve ser um fim, mas uma ferramenta para melhorar os processos.

b) Algoritmos devem emular o sistema Kanban.

c) Sistema de informação não deve inibir melhorias contínuas nem substituir o *genchi genbutsu*.

4. Automação:

a) Automação incremental, como processo de melhoria para resolver problemas de qualidade ou capacidade.

b) Mapeamento do processo, incluindo decisões e avaliações realizadas pelos operadores, deve preceder implementação de robôs.

c) Considerar Capabilidade de Processo dos Robôs.

d) Planejar como a flexibilidade da célula será mantida.

Sem medo de errar

Caro aluno, seguindo a proposta do *Convite ao estudo* da Unidade 3, você deve apresentar nesta seção a terceira etapa do seu segundo plano de ação para o CEO da empresa, relativo a uma nova operação de manufatura, da qual você assumiu a liderança. Neste momento, o seu plano de ação deve conter propostas para melhorar a integração do controle de estoques e dos fornecedores.

Voltando ao *Diálogo aberto* desta seção, podemos notar, na situação hipotética descrita, que o fornecedor dos componentes que sua empresa precisa faz o fornecimento em lotes mensais. A manufatura enxuta considera os fornecedores como uma extensão da linha de produção do cliente. Dessa maneira, para integrar o fornecedor à sua linha, também é necessário integrá-lo ao sistema de manufatura enxuta.

Como sabemos, a redução de estoques é um dos passos mais importantes da manufatura enxuta e, portanto, também deve ser

aplicado pelo fornecedor em questão. Vamos supor que as entregas inicialmente possam passar de mensais para semanais, baseadas na redução dos estoques intermediários e finais do fornecedor. Assim, a flexibilidade no atendimento do fornecedor poderia ser muito maior, e o item necessário para atender o pedido em atraso poderia ser obtido com menos inconvenientes. Porém, para conseguir que o fornecedor também passe a utilizar os conceitos da manufatura enxuta, pode ser necessário mostrar os benefícios dessa decisão e, muitos deles, podem ser causados pela mudança e atitude do próprio cliente.

Por exemplo, podemos notar que o mesmo item era ofertado por dois fornecedores. A manufatura enxuta recomenda que tenhamos apenas um fornecedor para cada item. A concorrência entre fornecedores, de modo a manter a competitividade, pode ser estabelecida no momento da nomeação dos fornecedores para novos projetos e novos itens. Dependendo da estrutura e da competência do fornecedor, também pode ser necessário o suporte do cliente, formando grupos de estudo e envio de especialistas para realizar treinamentos e desenvolver a capacitação para resolução de problemas e para promover as melhorias contínuas.

Avançando na prática

Melhorando um processo de automação

Descrição da situação-problema

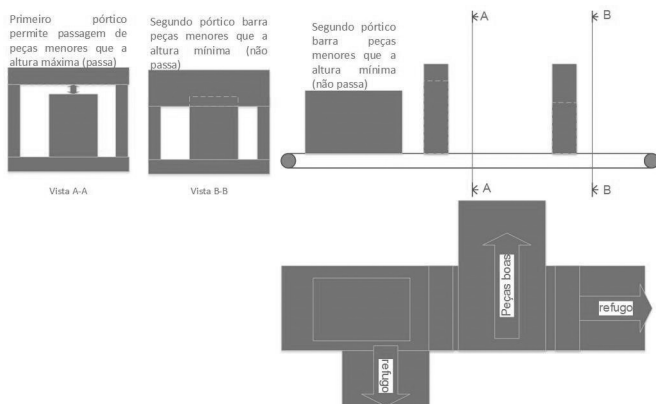
Uma empresa está iniciando um processo de automação de algumas células de usinagem. Como primeiro passo, a empresa decide automatizar o carregamento e o descarregamento de uma peça cilíndrica que sofre uma usinagem em um torno. Porém, após algumas semanas de testes com o novo equipamento, notou-se que o índice de refugos naquele processo aumentou consideravelmente. Verificando a causa raiz, os engenheiros de processo concluíram que a razão para o aumento de refugos decorre do fato de que, antes de fixar a peça no torno, o operador media a altura do cilindro a ser usinado e descartava as peças brutas que eram maiores ou menores que determinados limites.

Que medidas você propõe para eliminar o refugo causado pelo processamento automático das peças nessas condições?

Resolução da situação-problema

Como parte do processo de automação, recomenda-se que ele seja mapeado, considerando inclusive as tarefas informais realizadas pelos operadores. Nesse caso, a medição da altura do cilindro não foi considerada durante o processo de automação, gerando aumento do índice de refugos. Como contramedida, poderíamos instalar um dispositivo *Poka Yoke*, do tipo passa/não passa, na entrada da máquina, que refugasse automaticamente as peças fora dos limites de especificação, conforme exemplificado na Figura 3.9. Porém, nosso estudo não pode parar nessa etapa; em seguida, devemos descobrir a causa raiz que leva as peças fora dos limites de especificação a chegarem no processo seguinte. Apenas quando descobrirmos e eliminarmos a causa raiz, nosso estudo estará completo.

Figura 3.9 | Dispositivo Poka Yoke para esteira de abastecimento



Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1.



Os muros que separam os diferentes departamentos no interior da cadeia de suprimentos devem ser derrubados para assegurar que a eficiência global da cadeia de suprimentos ganhe precedência sobre eficiências no âmbito local. Em outras palavras, o todo é maior do que a soma das partes. (IYER; SESHADRI; VASHER, 2009, p. 234)

Com base do texto anterior, avalie as seguintes afirmações e a relação entre elas.

(I) Ao planejar a redução dos estoques de segurança, deve-se levar em consideração a capacidade dos fornecedores em se adequar ao sistema de produção Just in Time

PORQUE

(II) Para atender pedidos de pequenos lotes com mix de produtos variados, o fornecedor pode optar por adequar seu sistema de produção ao Just in Time ou produzir lotes grandes e retirar os produtos do estoque ao receber os pedidos. Porém, a produção de lotes maiores pode elevar os custos do produto devido ao custo de manutenção de estoques.

A respeito das afirmações anteriores, assinale a opção correta.

- a) As afirmações I e II são verdadeiras e I é uma justificativa de II.
- b) As afirmações I e II são verdadeiras, mas não estão relacionadas.
- c) A afirmação I é verdadeira e a afirmação II é falsa.
- d) A afirmação I é falsa e a afirmação II é verdadeira.
- e) As afirmações I e II são falsas.

2.

[...] Este princípio de produção é chamado também de “Toyotismo”, “Ohismo” ou “Japonismo”, caracterizando-se por uma extrema flexibilidade de produção e altos níveis de qualidade. Sua face mais evidente está em sistemas de gestão da qualidade e de organização do trabalho, além de uma utilização adequada de tecnologias informatizadas para a integração das diferentes fases de produção. A partir disso, pode-se dizer que a vantagem competitiva representada pela produção enxuta foi impulsionada, ou multiplicada, pela aplicação da informática. (ROMEIO FILHO, 2015, p. 22)



Com relação ao processo de informatização e automação em um sistema de manufatura enxuto, é correto afirmar que:

- a) A informatização melhora os processos e, portanto, é um elemento imperativo.
- b) A informatização pode auxiliar a melhoria contínua dos processos e deve fornecer subsídios para a tomada de decisão.
- c) Os processos devem se adaptar aos algoritmos escolhidos pelo fabricante dos sistemas de informação.
- d) O algoritmo do fabricante do sistema deve substituir a lógica de Kanban e relação cliente e fornecedor.
- e) Com os sistemas informatizados, o modo de operação dos Kanbans se torna obsoleto.

3. Em 1920, o dramaturgo checo Karel Capek foi o primeiro a cunhar o nome “robô” (veio da palavra eslava “trabalho”). Desde então, os robôs deixaram a ficção científica para se tornarem um elemento comum, senão ubíquo, das operações de produção em massa. Há mais de um milhão de robôs industriais executando tarefas rotineiras nas linhas de produção. Os robôs não têm intervalos para refeições, não ficam doentes, não reclamam ou trocam de emprego por melhor oferta salarial. Desempenham tarefas repetitivas mais barato do que os humanos, oferecem maior precisão e repetibilidade e podem também ser usados onde as condições são perigosas ou desconfortáveis para as pessoas. Alguém que observa como os robôs soldam os chassis de automóveis, montam produtos complexos ou carregam e descarregam peças do interior de uma máquina não pode deixar de reconhecer o impacto que a robótica vem tendo nas operações de produção desde que foi primeiramente introduzida nos anos 1960. (SLACK; JOHNSTON, 2015).

Considere o texto anterior e avalie as afirmativas de I a III.

- (I) O uso de robôs deve substituir gradativamente toda a mão de obra devido às vantagens apresentadas no texto anterior.
- (II) A automação de processos deve ser um processo gradual e servir para resolver problemas específicos de qualidade ou gargalos de produção.
- (III) A filosofia da manufatura enxuta é contrária ao uso de robôs.

Com relação às afirmações de I a III, assinale a alternativa, a seguir, que contenha apenas afirmações verdadeiras.

- a) I, apenas.
- b) II apenas.
- c) I, II e III.
- d) II e III, apenas.
- e) III, apenas.

Referências

AOKI, Katsuki; LENNERFORS, Taro. **The new improved Kairetsu**. 2013. Disponível em: <<https://hbr.org/2013/09/the-new-improved-kairetsu>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

DHL (Comp.). **DHL Fastest Pit Stop Award**: 2016 FORMULA 1 GRAND PRIX OF EUROPE. 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=7VCYBtx6h4g>>. Acesso em: 2 maio 2017.

FORMULA 1 Tuero Pit Stop en GP Argentina 1998. 2015. Color. Disponível em: <<http://www.dailymotion.com/video/x2sxtcu>>. Acesso em: 1 jun. 2017.

GILMORE, Dan. **The 11 greatest supply chain disasters**. 2006. Disponível em: <http://www.scdigest.com/assets/rep/SCDigest_Top-11-SupplyChainDisasters.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.

HENKE, John W. **2014 Annual Automotive OEM-Supplier Relations Study**. 2014. Disponível em: <<http://www.ppi1.com/wp-content/uploads/2015/05/2015-WRI-Press-Release-May-19.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

HENRIQUE, Fábio; FLORIO, Vivian. **O que é Kanban?** 2013. Disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/o-que-e-kanban>>. Acesso em: 14 jun. 2017.

HYER, By Nancy L.; WEMMERLÖV, Urban. **Group technology and productivity**. 1984. Disponível em: <<https://hbr.org/1984/07/group-technology-and-productivity>>. Acesso em: 4 jun. 2017.

IYER, Ananth V.; SESHADRI, Sridhar; VASHER, Roy. **A gestão da cadeia de suprimentos da Toyota**: uma abordagem estratégica aos princípios do sistema Toyota de produção. Porto Alegre: Bookman, 2009. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577807635/cfi/227!4/4@0.00:0.00>>. Acesso em: 13 out. 2017.

KANBAN - Drops Indústria Mais SEBRAE RS. Roteiro: Aline Dresch, Daniel Lacerda, Douglas Veit, Mateus Tegner, Pedro Nascimento de Lima. 2016. P&B. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hb_9m53Ykuo>. Acesso em: 14 jun. 2017.

KANBAN PRODUÇÃO - ANIMAÇÃO DO FLUXO DE CARTÕES. [s.i.]: Aliada Industrial, 2009. P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Q3x6DbIDNbk>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

LEVINSON, William A. **Beyond the theory of constraints**: how to eliminate variation & maximize capacity. Boca Raton: CRC Press, 2007.

LIKER, Jeffrey K.; CHOI, Thomas Y. **Building deep supplier relationships**. 2004. Disponível em: <<https://hbr.org/2004/12/building-deep-supplier-relationships>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O modelo Toyota - manual de aplicação**: um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2007. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577800308/pageid/1>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

MILAS, Matthew J. **The economic value of supplier working relations with automotive original equipment manufacturers**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Economia)-Department Of Economics Eastern Michigan University, Eastern Michigan University, Ypsilanti, 2005. Disponível em: <<http://commons.emich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1107&context=theses>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

MONDEN, Yasuhiro. **Toyota production system: an integrated approach to Just-In-Time**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

ROMEIO FILHO, Eduardo. **Sistemas integrados de manufatura: para gerente, engenheiros e designers**. São Paulo: Atlas, 2015. Disponível em: <biblioteca-virtual.com>. Acesso em: 24 jun. 2017.

SLACK, Nigel Brandon-Jones; JOHNSTON, Robert Alistair. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo, Sp: Atlas, 2015. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

SUGIMORI, Y. et al. Toyota production system and Kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. **International journal of production research**, [s.l.], v. 15, n. 6, p. 553-564, jan. 1977. Informa UK Limited. <<http://dx.doi.org/10.1080/00207547708943149>>.

SHINGO, Shigeo. **Zero quality control: source inspection and the Poka-Yoke system**. Portland: Productivity Press, 1985.

SHINGO, Shigeo. **Sistema de troca rápida de ferramenta: uma revolução nos sistemas produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: <biblioteca-virtual.com>. Acesso em: 4 jun. 2017.

Sistema integrado de manufatura: manufatura auxiliada por computador

Convite ao estudo

Caro aluno, pesquisadores da evolução dos sistemas de manufatura consideram que estamos à beira de mais uma revolução industrial. Na segunda metade do século passado acreditava-se que a configuração das fábricas do futuro seriam as chamadas “fábricas escuras”, e muito se discutiu sobre o futuro do emprego caso essa realidade se concretizasse. Esse tema tem ganhado mais força desde a feira de Hanover de 2012, na Alemanha, quando o termo indústria 4.0 passou a ser utilizado para se referir à quarta revolução industrial.

Contudo, algumas alternativas às fábricas escuras têm surgido e o futuro pode não estar na substituição completa da força de trabalho dos humanos pelos robôs, mas nos dois elementos trabalhando em conjunto.

Nas unidades anteriores estudamos os fundamentos da manufatura enxuta, a eliminação de desperdícios e sobre os passos para a implementação de um sistema integrado de manufatura. Ao falarmos sobre automatização e monitoramento dos processos e novas tecnologias, é importante termos em mente o que estudamos naquelas unidades e que as tecnologias que vamos estudar na Unidade 4 só fazem sentido se estiverem ajudando a simplificar a operação do processo e a eliminar desperdícios.

Na Unidade 4 vamos estudar a respeito da implementação de robôs e a informatização dos sistemas de manufatura, a integração entre projeto de produto e a manufatura e sobre tendências e novas ferramentas relacionadas aos sistemas de

manufatura. Ao conhecer esse conteúdo, você será capaz de julgar a conveniência, benefícios, cuidados e riscos na adoção de cada uma dessas tecnologias, podendo fazer melhor uso delas.

Vamos utilizar o mesmo contexto de aprendizagem apresentado no *Convite ao estudo* da Unidade 3 para você poder treinar a aplicação dos conhecimentos a serem adquiridos na Unidade 4. Nesse contexto, você é responsável por uma fábrica que produz embalagens para diversos tipos de produtos. Nas etapas anteriores do plano de ação, o objetivo era atingir a excelência nas questões básicas da manufatura, com a formação e integração de células, redução de setup, integração do controle da qualidade e manutenção preventiva, e assim por diante. A partir de agora, você deve se concentrar em encontrar oportunidades de otimizar o sistema integrado de manufatura, utilizando ferramentas de informatização e automação da produção.

É muito provável que você se depare com esse tipo de situação em sua carreira profissional. Portanto, é importante fazer a seguinte reflexão: como você acha que essas novas ferramentas podem alterar o modo como trabalhamos, aprendemos e como nos preparamos para o trabalho?

O conteúdo desta unidade vai ajudá-lo a responder essas questões, começando, na Seção 4.1, pela automação de processos e o impacto que o uso de robôs e outras ferramentas de informação têm trazido aos sistemas de manufatura. Na Seção 4.2 estudaremos sobre a integração entre projeto de produto e projeto de processos e, finalmente, na Seção 4.3, nosso tema estará relacionado a tendências em sistemas integrados de manufatura.

Seção 4.1

Automatização dos sistemas de manufatura integrados

Diálogo aberto

Caro aluno, o custo da tecnologia de informação e equipamentos de automação tem caído consideravelmente desde que esses recursos começaram a ser criados. Com isso, a maior barreira ao seu uso para aumentar a eficiência das operações, não está, necessariamente, na disponibilidade de capital, mas na elaboração de projetos adequados, em que as oportunidades de ganho sejam realmente identificadas. Por se tratar de um assunto em voga e apontado como uma tendência, há diversos casos relatados na literatura de empresas que partiram para a tentativa de modernizar suas operações, sem uma reflexão profunda o bastante para definir o que se espera com o uso das novas tecnologias e quais os reais benefícios, riscos e efeitos colaterais. O resultado do investimento, nesses casos, acaba sendo frustrante. Considere essa informação enquanto relembremos nosso contexto de aprendizagem apresentado no *Convite ao estudo* da Unidade 3, em que você é responsável por uma unidade de manufatura.

Imagine que, nessa unidade de produção, os sistemas de produção ainda não operam de maneira integrada e você acaba de receber um e-mail solicitando seu plano de investimento e metas para o próximo ano, incluindo medidas que poderiam modernizar sua unidade e melhorar ainda mais seus resultados. O e-mail solicita especificamente que você investigue o uso de robôs na manufatura como possível solução para reduzir o tempo de fabricação. Revisando suas prioridades, você verifica que os primeiros itens da sua lista de maiores problemas a serem resolvidos, durante o próximo ano, incluem:

1. Há muitos componentes na fábrica, vários deles com a mesma função, mas com design um pouco diferente. Parece que o processo de fabricação de cada um desses componentes foi elaborado por pessoas diferentes, pois eles se diferenciam até mesmo para componentes similares.

2. O setor que emprega maior número de funcionários é o de acondicionamento e embalagem do produto final. Nesse setor, há constantes reclamações relacionadas à ergonomia e qualidade, devido a produtos embalados de forma errada ou trocados.

Nesse contexto, quais são as suas recomendações para a automatização de processos?

Para responder a essa questão, você deve assimilar, nesta seção, os conceitos de automação e informatização de processo e sistemas integrados de monitoramento de performance.

Não pode faltar

Você já deve ter se deparado com o termo “fábrica escura” em algum momento ao longo de seus estudos. Esse termo diz respeito a linhas totalmente informatizadas e automatizadas, nas quais só há robôs trabalhando, tornando a iluminação desnecessária. Muito se discute atualmente sobre os desafios e até mesmo a efetividade dessa ideia. Há exemplo de casos bem-sucedidos, como o da fábrica da Phillips na Holanda (VIALLI, 2016), e outros ainda frustrantes (CANALTECH, 2016). A principal barreira à automação das fábricas tem sido a falta de flexibilidade dos robôs para se adaptarem aos pequenos imprevistos e variações que podem surgir em uma linha de produção. Para que os robôs funcionem de forma adequada, os componentes envolvidos devem ter variações muito pequenas e as condições de trabalho devem ser previsíveis, repetitivas e quantificáveis matematicamente. Essa condição pode ser difícil de ser encontrada em uma linha de produção convencional, na qual, tanto o projeto do processo quanto o projeto do produto tenham sido idealizados considerando a capacidade humana de fazer avaliações e tomar decisões, tornando o trabalho de conversão de uma linha convencional em uma linha totalmente automatizada, desafiador. Há estudos que mostram, por exemplo, que robôs convencionais são péssimos em dobrar toalhas e outras tarefas que as crianças aprendem por volta de 10 anos de idade (NESS, 2010). Já a criação de uma linha totalmente nova, considerando os conceitos de automação desde o projeto dos produtos e componentes, e todas as restrições envolvidas, pode ser menos problemática.



Refleta

Um estudo realizado por Frey e Osborne (2013) mostra que entre 702 profissões analisadas nos Estados Unidos, 47% delas sofrem o risco de serem automatizadas no futuro. Você já pensou quais são os conhecimentos e habilidades que você pode adquirir para não correr esse risco?

O uso intenso de robôs industriais no Brasil teve início no ramo automotivo, marcadamente pela Volkswagen do Brasil. Atualmente, é comum encontrar robôs na execução de operações de solda e pintura nas linhas de fabricação de todas as montadoras de veículos. Um dos motivos para a robotização desse tipo de processo está relacionado às operações perigosas, repetitivas e que envolvem grande esforço. Etapas que envolvem maior nível de detalhe, como a montagem de cabeamento e peças de acabamento ainda são realizadas por operadores.



Pesquise mais

O vídeo indicado a seguir fala de uma nova geração de robôs, chamados de robôs colaborativos. Assista ao vídeo e veja como essa tecnologia é utilizada na manufatura.

BBC BRASIL (Org.). **Cientistas apostam nos 'co-bots', robôs que trabalham junto com humanos**. 2016. Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/geral-36424564>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

O uso de robôs colaborativos é uma abordagem recente no que se refere a robotização e automação de linhas de produção, que pode mudar o cenário descrito anteriormente. Tradicionalmente, os robôs são vistos em linhas de produção protegidos por gaiolas e avisos de “não se aproxime”, requerem programadores altamente especializados e, uma vez instalados e programados, dificilmente são movidos ou têm sua função alterada. Porém, os robôs do tipo colaborativos, também conhecidos por “co-bots”, são capazes de trabalhar lado a lado com os operadores (MICHALOSA et al., 2015), além de serem facilmente programáveis e, devido ao seu tamanho reduzido, podem ser facilmente movidos. Contudo, a aplicação da informatização e robotização em um sistema de manufatura, embora seja uma tendência natural, não deveria se reduzir a uma análise

técnica. As formas de gerenciamento da informação possibilitadas pelo uso de novos recursos tecnológicos também podem trazer ganhos de produtividade significativos e ajudar a eliminar restrições do sistema de manufatura atual. Vamos nos ater a alguns desses exemplos nos próximos parágrafos.

A Tecnologia de Grupo, estudada na Seção 3.1, juntamente com uma ferramenta chamada CAPP (*Computer Aided Process Planning* ou Planejamento de Processo Assistido por Computador), possibilita melhorias que incluem um projeto de produto e processo mais adequado ao sistema de manufatura, estoques menores, menores tempos de espera e de setup das máquinas, entre outros, que nos direcionam a um fluxo de valor conforme os princípios da Manufatura Enxuta.

O Planejamento de Processos é a função do projeto que integra a infraestrutura fabril (máquinas e equipamentos) e o projeto do produto (desenhos, modelos e especificações), decidindo a melhor forma de fabricação, representada em documentos chamados planos de fabricação.



Exemplificando

A Tabela 4.1 mostra um exemplo de plano de fabricação. Nele, normalmente estão contidas as informações de matéria-prima, a sequência de operações, máquina em que a operação é executada, as ferramentas e os meios de controle necessários, e os tempos de operação. Podemos comparar o plano de fabricação à “receita” de fabricação do produto ou componente.

Tabela 4.1 | Exemplo de plano de processo ou de fabricação

Sua Empresa Ltda.		FOLHA DE PROCESSO				
		Número do produto	47013776	Revisão	3	
		Número da peça	4701399	Revisão	3	
		Descrição	Eixo estriado			
Material	ABNT 1045 .h11D180				Quantidade	1000
No. da operação	Operação	Máquina	Ferramenta	Dispositivo de fixação	Tempo	
10	serrar	Serra 11	----	----	20s	
20	usinar	CNC 1	Cp03	Disp CNC4	40s	
30						

Fonte: elaborada pelo autor.

Se pensarmos em um contexto de poucas células e produtos, e sem muitas alterações ao longo do tempo, podemos imaginar que peças similares terão um mesmo roteiro de fabricação. Porém, esse cenário raramente corresponde a um ambiente industrial. Em uma empresa que tenha mais de um planejador, eles podem apresentar planos de processos diferentes para um mesmo tipo de peça. Além disso, ao longo do tempo, conforme novos equipamentos e novas células são criadas na empresa, novas formas de produzir o mesmo produto são criadas, e raramente os planos antigos são atualizados. O resultado é um excesso de roteiros de fabricação, nem sempre correspondendo ao mais produtivo.

A automatização do processo de planejamento dos roteiros de produção através dos sistemas CAPP juntamente com a Tecnologia de Grupo (TG), torna a padronização, otimização e atualização dos roteiros de produção muito mais fácil e eficiente.

Há dois tipos de sistema CAPP: o que utiliza o planejamento baseado em variantes e o que utiliza o planejamento generativo.

No planejamento baseado em variantes, um plano padronizado (e, possivelmente, um ou mais planos alternativos) é criado e armazenado para cada parte da família. Quando o planejador insere o código do grupo de uma peça (criado durante a análise de Tecnologia de Grupo), o sistema recupera o plano de processo mais adequado e o atribui àquela peça. Caso ainda não exista um plano de processo para aquele grupo de peças, o sistema procura planos para peças semelhantes e sugere opções para o planejador criar o novo plano.

A técnica generativa cria novos planos de processo utilizando uma abordagem interativa, baseada na mesma lógica e conhecimento normalmente utilizado pelos planejadores de processo. Essa abordagem é muito mais complexa e está muito próxima das técnicas de inteligência artificial. No entanto, ela também é mais flexível, pois, para incluir uma nova máquina no processo, basta alterar a lógica de planejamento, ao passo que, na abordagem baseada em variantes, seria necessário reconsiderar todos os planos existentes e corrigir aqueles que podem ser afetados pela nova máquina (HYE; WEMMERLÖV, 1984).

Como a parte repetida da criação de novos processos passa a exigir menos esforço e tempo dos planejadores, e a atualização de planos em uso também é mais fácil (ou automática no caso dos

sistemas generativos), a atenção dos planejadores pode se voltar para atividades de otimização e melhoria contínua, resultando em menores custos unitários de fabricação e maior eficiência do sistema.

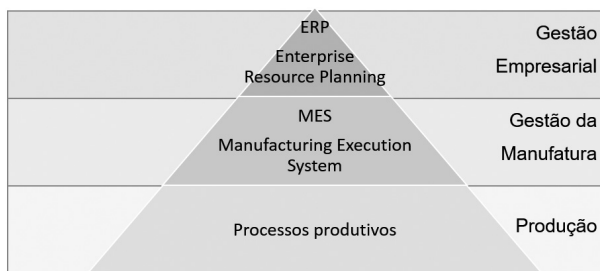
Os sistemas de planejamento de recursos da empresa (ERP – Enterprise Resource Planning) e os sistemas de execução da manufatura (MES – Manufacturing Execution System) também fazem parte do conjunto de tecnologias relacionadas à gestão de informação dos sistemas de manufatura, e que podem proporcionar ganhos significativos, se empregados de maneira correta.

Os sistemas ERP são sistemas informatizados, geralmente divididos em vários módulos, com a função de organizar e processar todas as operações de uma organização, desde a folha de pagamento e contratações em recursos humanos, passando pela compra e recebimento de materiais, planejamento da produção, missão de ordens de produção e de envio de produtos aos clientes até o planejamento e controle financeiro da empresa.

Porém, a ênfase dos sistemas ERPs é o planejamento, programação e o controle da produção utilizando dados que correspondem a uma previsão ou média histórica de valores, mas na realidade são variáveis que mudam a cada lote produzido: quantidade de peças produzidas por ordem de produção, quantidade de peças produzidas por turno, número de peças defeituosas, tempo de espera, tempo de fila, tempo de setup, tempo de máquina parada, tempo de processamento, tempo de movimentação, identificação de máquinas gargalo, capacidade utilizada (MARDEGAN; MARTINS; OLIVEIRA, 2003).

Percebendo a falta de um elo entre os sistemas ERPs e o chão de fábrica, os fabricantes de software criaram, na década de 1990, uma nova ferramenta para a indústria denominada MES (*Manufacturing Execution System*, ou Sistemas de Execução de Manufatura), cujo objetivo é coletar e registrar dados em tempo real das atividades de máquinas, robôs e empregados que estão em atividade no chão de fábrica, transformá-los em informações visuais e auxiliar no sequenciamento, programação e controle da performance de operações, completando a estrutura de planejamento e controle operacional, conforme apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 | Camadas de gestão e planejamento nas empresas



Fonte: Meyer (2009 apud Berti, 2010, p. 22).

O sucesso da implementação da Manufatura Enxuta depende em muito da assertividade dos dados disponíveis para a tomada de decisão. Lembrando que, na ME, devemos substituir o excesso de estoques pela eficiência nas operações como forma de garantir a disponibilidade de produtos, a velocidade e qualidade com que as informações são disponibilizadas e organizadas para os responsáveis pelas tomadas de decisão, sendo fatores importantes para determinar o tamanho dos estoques de segurança. Por exemplo, um planejador de produção que tenha dados assertivos e atualizados em tempo real sobre a quantidade de componentes em estoque e em produção pode considerar estoques de segurança menores que um planejador que tenha dados que dependam de contagem física e atualização manual de sistemas. Uma das grandes vantagens do sistema MES está no fato de serem capazes de coletar dados diretamente das máquinas em que os processos estão ocorrendo. Por exemplo, em um processo de usinagem, dados podem ser coletados diretamente do sistema CNC (Comando Numérico Computadorizado), do CLP (Controlador Lógico Programável), sensores que enviam dados para sistemas de supervisão e sistemas de monitoramento dedicados. Os sensores podem medir diretamente a potência dos motores de acionamento das máquinas e informar se ela está em funcionamento ou não, e ainda, se está funcionando em vazio ou efetivamente usinando uma peça (MARDEGAN; MARTINS; OLIVEIRA, 2003). Outros sensores como de aceleração e acústica podem coletar dados para determinar a necessidade de manutenção de máquinas. Os sistemas MES podem ser conectados diretamente a sistemas de medição de peças, coletando a porcentagem de peças produzidas conforme a especificação e a quantidade de refugos.

Como podemos ver, os sistemas MES são úteis no gerenciamento

do dia a dia do chão de fábrica, determinando o curso de ações em um período muito mais curto que aquele utilizado pelos sistemas ERPs.

Vale ainda ressaltar que, ambos, ERP e MRP, devem trabalhar em conjunto, considerando horizontes de programação diferentes. Portanto, é importante considerar a interface entre os dois sistemas. A norma ISA-95, da Internacional Society of Automation (Sociedade Internacional de Automação), fornece diretrizes para as funcionalidades dos sistemas MES e a interface dele com os sistemas ERPs (BERTI, 2010; SCHOLTEN, 2007).



Assimile

Vamos revisar os principais conceitos estudados na Seção 4.1:

- A robotização e informatização das linhas de produção no Brasil teve início na indústria automotiva, marcadamente na Volkswagen. Uma das principais barreiras técnicas à conversão de linhas convencionais para linhas automatizadas é a falta de flexibilidade dos robôs industriais. Do ponto de vista da manufatura enxuta, a robotização e informatização servem principalmente para eliminar gargalos, problemas de qualidade e outros desperdícios. Deve-se otimizar processos antes de automatizar – em outras palavras: atingir a excelência no básico antes de automatizar.
- O emprego de robôs colaborativos é uma tendência nessa área de automatização devido a sua simplicidade de instalação e setup, possibilidade de trabalhar em conjunto com operadores e baixo custo quando comparados aos robôs convencionais.
- O Planejamento de Processos Auxiliado por Computador (CAPP) automatiza e padroniza a criação de roteiros de fabricação. Para seu uso de maneira eficiente, deve-se criar parâmetros para formação de famílias de produtos.
- Os sistemas de execução da manufatura - MES (*Manufacturing Execution Systems*) controlam e monitoram o dia a dia do chão de fábrica, disponibilizando dados em tempo real sobre o desempenho e ocupação dos recursos de produção. Os sistemas MES devem trocar informações com os sistemas ERPs (Sistemas de Planejamento de Recursos na Manufatura).

Sem medo de errar

Caro aluno, as situações de 1 a 2 relatadas no *Diálogo aberto* são fontes de desperdício comumente encontradas em sistemas de manufatura. Tecnologias como automatização e informatização, se empregadas corretamente, podem nos auxiliar a resolvê-las.

Com relação à primeira situação, a Tecnologia de Grupo pode nos auxiliar a reunir peças em famílias, e, consequentemente, encontrar redundâncias e possivelmente reduzir o número de variantes de peças com a mesma função.

A Tecnologia de Grupo também pode ser empregada junto com o Planejamento de Processo Auxiliado por Computador (CAPP) para padronizar os processos de peças similares. Por sua vez, a redução do número de peças e a padronização de processos pode auxiliar na redução dos estoques e no número de trocas de ferramenta, reduzindo os tempos de fabricação sem a necessidade de grandes investimentos em equipamentos. Portanto, a implementação dessas ferramentas deveria estar na sua lista de investimento do próximo ano.

Com relação à segunda situação, relacionada a problemas de ergonomia e erros que provocam problemas de qualidade, o emprego de robôs pode representar uma solução. Os robôs colaborativos poderiam ser utilizados para realizar as tarefas mais pesadas e que necessitam de muita atenção para evitar erros. Os erros e peças trocadas podem ser evitados aliando as tecnologias de rastreamento e identificação das peças estudadas na Seção 1.3 aos robôs, por exemplo, utilizando etiquetas e leitores de código de barras ou sistemas de identificação por rádio frequência (RFID). As exceções, por exemplo, peças com geometria irregulares ou difíceis de serem fixadas pela garra de um robô e tarefas que exigem decisão, podem ser realizadas pelos operários, trabalhando lado a lado com os robôs.

Avançando na prática

Precisamos de novas máquinas!

Descrição da situação-problema

Em uma empresa hipotética, os proprietários estão considerando a aquisição de uma nova e moderna máquina para eliminar os gargalos de produção e aumentar a capacidade de

venda de produtos. Porém, longas discussões sobre esse tema têm ocorrido, sem que se chegue à conclusão sobre que tipo de equipamento adquirir.

O problema é que não se consegue descobrir realmente qual é o verdadeiro gargalo da produção. A dificuldade se deve ao fato de que a empresa trabalha com um número muito grande de componentes diferentes, mas que utilizam os mesmos recursos de produção. Além disso, as paradas de máquina por setup ou atividades não previstas, como manutenção corretiva e retrabalho de itens não conformes (quando o item é produzido com defeito, mas pode ser recuperado por alguma outra operação), são grandes, fazendo com que o gargalo nunca esteja localizado no mesmo recurso. Em meio a essa situação caótica, não causa estranheza que os proprietários não cheguem a uma conclusão sobre o tipo de equipamento a adquirir.

Se você trabalhasse nessa empresa e sua opinião fosse solicitada, que recomendações você daria?

Resolução da situação-problema

Para que o investimento em um novo equipamento não seja frustrante, é necessário assegurar-se de que o gargalo tenha sido identificado corretamente e que toda a oportunidade de aumentar sua capacidade tenha sido explorada, conforme estudamos na Seção 2.3. Porém, em sistemas de manufatura com muitas máquinas, processos e componentes diferentes, e ainda com muitas paradas imprevistas para manutenção e retrabalhos, pode ser difícil avaliar a real capacidade disponível e descobrir o gargalo. Os sistemas de monitoramento de performance como o MES podem ajudar a fazer uma leitura instantânea do que está acontecendo no chão de fábrica e a analisar séries de dados por meio de relatórios gerenciais. Com isso, podemos identificar os gargalos de forma mais fácil, e antes mesmo de pensar em adquirir novos equipamentos, explorar melhor os equipamentos existentes.

Caso se conclua que realmente há necessidade de capacidade adicional, as informações fornecidas pelos sistemas MES são úteis na identificação da restrição e, portanto, do recurso que deve ser adquirido.

Faça valer a pena

1. Leia as afirmações de I a III, a seguir, a respeito da aplicação de robôs em sistemas de manufatura:

I - O uso de robôs nas linhas de produção é uma condição fundamental para ganhos de produtividade.

II - O uso de robôs pode aumentar a produtividade da linha de produção.

III - Antes de iniciar o processo de automação do sistema de manufatura, é aconselhável assegurar que os desperdícios do processo já foram eliminados ou reduzidos ao máximo.

Analise as afirmações de I a III e selecione a alternativa que contenha o texto correto a respeito do uso de robôs em um sistema de manufatura enxuta.

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) I, II e III.
- d) Apenas II e III.
- e) Apenas III.

2. A quantidade de informação que circula em um ambiente fabril dificilmente pode ser processada e transformada em informações úteis para o controle e programação efetiva da produção, sem o uso de recursos de informática. Os sistemas ERPs (*Enterprise Resource Management*, ou planejamento de recursos da empresa) e os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*, ou Sistemas de Execução da Manufatura) são ferramentas que padronizam e auxiliam no gerenciamento dessas informações.

Com relação aos sistemas ERPs e MES, assinale a alternativa correta a:

- a) Os sistemas MES controlam um número de funções da empresa mais abrangente que os sistemas ERPs.
- b) Os sistemas MES e ERP trabalham em conjunto, com horizonte de programação diferente.
- c) Os sistemas MES e ERP trabalham isoladamente e não trocam informações entre si.
- d) Os sistemas MES controlam um número de funções da empresa mais restrito que os sistemas ERPs.
- e) Os sistemas MES e ERPs têm a mesma função. Portanto, são soluções concorrentes.

3. O termo CAPP (*Computer Aided Process Planning* – Planejamento Auxiliado por Computador) se refere a sistemas de informática utilizados em sistemas de manufatura.

Com relação ao sistema CAPP, selecione a afirmativa correta:

- a) Os sistemas CAPP auxiliam na padronização e otimização de processos de manufatura.
- b) Os sistemas CAPP são ferramentas para controle e redução de estoques intermediários.
- c) CAPP é um sistema de codificação de peças de acordo com a Tecnologia de Grupo.
- d) CAPP não está relacionado à Tecnologia de Grupo.
- e) O uso de recursos de informática como CAPP, não é compatível com os conceitos da Manufatura Enxuta.

Seção 4.2

Integração entre projeto de produto e manufatura

Diálogo aberto

Caro aluno, é comum encontrar nas empresas o que podemos chamar de “ilhas de tecnologia”. Cada setor trabalha com um sistema de tecnologia de informática (CAD, CAM, ERP, PLM, MES). O resultado é que a informação necessária para produzir um determinado produto se encontra dispersa, em formatos diferentes e, muitas vezes, em versões diferentes, causando erros, demora e prejuízos para a organização e os seus clientes.

Uma situação similar a essa foi descrita no contexto de aprendizagem apresentado no *Convite ao estudo* da Unidade 3. Você se lembra dele? Nele, você foi inserido em uma situação hipotética, na qual foi citada os processos de uma empresa, cuja liderança foi assumida por você há pouco tempo, e que não operam de forma integrada.

Considerando esse mesmo contexto, imagine agora que, ao analisar os últimos relatórios gerenciais de projeto e qualidade, você percebeu vários custos extras, devido ao retrabalho das ferramentas usadas na produção de novos produtos. O retrabalho teve como causa as atualizações feitas nos desenhos das ferramentas e que não foram devidamente informadas às ferramentarias prestadoras do serviço. Nos relatórios de qualidade, você também pode perceber a presença de retrabalhos em razão de versões erradas de desenhos nas linhas de produção.

Que tipo de ação você proporia para resolver esse problema? Ao responder a essa questão, você estará completando a quinta etapa do seu plano de ação, iniciado na Unidade 3.

Na Seção 4.2 você aprenderá alguns conceitos que o ajudarão a resolver esse problema, tais como o conceito de ciclo de vida do produto, sistemas CAD e tipos de arquivo para troca de informações entre sistemas CAD diferentes.

Não pode faltar

As ferramentas de CAD, ou *Computer Aided Design* (Design Auxiliado por Computador), surgiram como ferramentas informatizadas de auxílio ao projeto de produtos associadas à atividade de desenho, em conjunto com sistemas informatizados de auxílio à manufatura (CAM, ou *Computer Aided Manufacturing*) na forma de sistemas CAD/CAM no final dos anos 1950. Ambas surgiram como apoio ao desenvolvimento de ramos industriais. Porém, ao contrário do cenário atual, em que os recursos de CAD e CAM estão difundidos em praticamente todos os ramos e tamanhos de sistemas de manufatura, a introdução desses sistemas ocorreu em um contexto bem específico. Esses contextos eram caracterizados por um elevado número de desenhos e documentos de fabricação com nível de detalhamento e repetitividade significativos, tolerâncias apertadas e custo dos produtos que justificassem investimentos em novas tecnologias de fabricação. Essas características estão presentes nas indústrias aeroespacial e bélica dos Estados Unidos, que foram as primeiras a utilizar essas ferramentas. Os projetos de aeronaves tipicamente envolvem altos custos e condições de tolerância de fabricação, confiabilidade e segurança difíceis de serem alcançados com ferramentas convencionais de engenharia de produto e manufatura. Esse tipo de conexão entre sistemas voltados ao projeto e à produção, caracteriza o início dos esforços destinados à integração entre a função de projeto de produto e os sistemas de manufatura.

Até o final da década de 1990, e início do século XXI, os custos relacionados a Hardware, Software e integração em rede limitavam bastante o uso de ferramentas de CAD mais sofisticadas por empresas menores. As ferramentas CAD com maior potencial de processamento e automação de atividades eram tipicamente encontradas em grandes empresas ou em alguns de seus fornecedores.

Atualmente, a redução no custo tanto de hardware quanto software e facilidade de integração e colaboração de times remotos pela internet e, ainda, a popularização de novas opções de contratos e licenças disponibilizadas pelos fabricantes de softwares modificou bastante esse cenário.



Exemplificando

As licenças flutuantes, por exemplo, permitem que uma mesma licença de um seja utilizada por dois usuários que trabalhem em fusos horários diferentes. Além disso, o uso de sistemas PLM (*Product Lifecycle Manager* – Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto), que veremos logo a seguir, torna muito eficiente e seguro o compartilhamento das informações entre os times remotos.

Indo um pouco mais adiante no compartilhamento de dados entre times remotos, os sistemas baseados em arquiteturas orientadas a serviço (SOA – *Service Oriented Architecture*), começam a surgir os primeiros sistemas CAD executados em nuvem (BELFIORE, 2017). Uma arquitetura orientada a serviços abrange softwares que realizam os serviços fornecidos aos usuários por componentes de aplicativos ou browsers (navegador), através de um protocolo de comunicação em rede. As licenças geralmente são do tipo flutuante, alugadas em vez de compradas e com um custo inferior às licenças convencionais.

Além da expansão do uso de sofisticadas ferramentas CAD por um número maior de empresas, as funções desses sistemas também têm evoluído rapidamente. Com o passar do tempo, eles incorporaram sistemas para auxiliar o projetista em outras funções além de construir a geometria do modelo. Por exemplo, vários sistemas CAD possuem módulos para auxiliar no uso correto de sistemas padronizados de cotação e indicação de tolerâncias (como o da ASME Y 14.5), e no cálculo e especificação de tolerâncias dos componentes. Esses cálculos podem considerar a variação mecânica e a dispersão estatística esperada para cada dimensão e o efeito final dessa variação na montagem do componente (BLOOMBERG, 2017). Esse tipo de cálculo é chamado de cálculo de cadeia de cotas.

As cadeias de cotas podem considerar que todos os componentes variam de acordo com seus limites superiores e inferiores, utilizando toda a faixa de tolerância (pior caso), ou considerar a probabilidade estatística de que a medida permaneça entre limites menores que o permitido nos desenhos (quando o processo está sob controle estatístico). A alternativa aos módulos que elaboram a cadeia de cotas retirando informações diretamente do modelo é a elaboração de complexas tabelas de cálculo. Essas tabelas acabam sendo difíceis de serem manipuladas e atualizadas, principalmente se forem

consideradas as variações estatísticas, induzindo o projetista ao erro. Outra função auxiliar encontrada nos sistemas CAD é o auxílio no design de produtos destinados a técnicas de fabricação específicas, como a manufatura aditiva e montagem de cabos. Erros envolvendo o desempenho inadequado dessas funções na fase de projeto estão entre as principais causas de desvios da qualidade ao longo do ciclo de vida do produto (ALBERTIN; SOARES JÚNIOR, 2011).

Os modelos e desenhos elaborados em CAD constantemente têm que ser distribuídos para clientes (para verificação do projeto ou incorporação do componente em sistemas maiores) e fornecedores (fabricação da peça ou ferramenta). Além disso, os arquivos CAD muitas vezes têm que ser transmitidos para sistemas CAM. Como existem vários sistemas CAD e CAM comerciais disponíveis no mercado, cada um com formato de arquivos diferentes, surge a necessidade de buscar um formato padrão para a troca de arquivos. Uma das primeiras iniciativas para a criação desse tipo de arquivo foi contratada pelas Forças Armadas Norte Americanas e a NASA, e tiveram a participação do *National Bureau of Standards* – NBS (Escritório Nacional de Normas), das empresas General Electric e Boeing. Esse grupo elaborou uma especificação chamada de *Initial Graphics Exchange Specification* (especificação inicial para troca de informações gráficas), no final da década de 1970 e início da década seguinte, que deu origem à extensão de arquivos conhecida como IGES, que guardam informações em formatos ASCII ou arquivos em formato neutro binário de oitenta colunas. Os arquivos IGES são arquivos chamados “arquivos neutros”, pois não se destinam a um sistema CAD específico. Até então, não havia forma de “traduzir” os modelos e desenhos entre sistemas CAD/CAM. Quando havia essa necessidade, os modelos eram impressos a partir do sistema original e reconstruídos no novo sistema. Posteriormente surgiram softwares capazes de fazer a tradução de arquivos entre os sistemas. Porém, essa solução ainda era inconveniente, pois era necessário um tradutor para cada par de sistemas que deveriam trocar informações (BHANDARKAR et al., 2000). A especificação IGES abrange conjuntos de geometrias e símbolos de um modelo CAD, embora a especificação tenha sido elaborada considerando a maioria dos sistemas CAD, disponíveis na época, ela não abrange as informações de todos os sistemas. Dessa maneira, pode haver perda de informação na tradução do arquivo original para um arquivo IGES (NAGEL et al., 1980). A especificação IGES possui

mais algumas limitações. Ela fornece apenas informações relevantes para aplicações CAD relacionadas ao desenho e modelamento 3D, mas não relaciona as entidades geométricas na forma de um produto. Ao ler um arquivo IGES, os aplicativos não conseguem compreender seu conteúdo como um produto, mas como um conjunto de elementos geométricos, deixando de lado informações importantes para a fabricação e inspeção da peça (ALBERT, 2006). Além disso, como a especificação não é muito abrangente, vários fabricantes de CAD desenvolveram suas versões de IGES, trazendo problemas de compatibilidade entre as diferentes versões.

Essas limitações estimularam o surgimento de uma nova norma internacional para os arquivos neutros de CAD, a ISO 10303, publicada pela primeira vez em 1993. Os arquivos gerados de acordo com essa norma têm uma extensão chamada STEP, um acrônimo para *Standard for the Exchange of Product Model Data* – ou norma para a troca de informações de modelos de produtos.

A norma ISO 10303 foi projetada para abranger todo o ciclo de vida do produto, utilizando protocolos de aplicação (APs, do termo em inglês *Application Protocol*), para cada etapa do ciclo. Por exemplo, a AP203 – *Configuration Controlled Design* (Controle de configuração de design) indica como o arquivo STEP deve representar o formato e as informações de montagem do produto (BHANDARKAR et al.; 2000). Além das informações geométricas do produto, o formato STEP pode conter informações sobre tolerâncias, relações entre componentes, atributos, configurações e montagens, entre outras.

Uma das aplicações importantes dos arquivos neutros é a transferência dos arquivos CAD para os sistemas CAM. Os arquivos em formato neutro são utilizados como entrada para a construção de arquivos em outra linguagem entendida pelos equipamentos de controle numéricos, como o G-Code, por exemplo. O G-Code é descrito pela ISO 6983, de 1983, e é utilizado para informar aos motores das máquinas CNC que eles movimentem o cabeçote da máquina, com que velocidade e em que direção.

Como podemos perceber, são necessárias duas traduções de arquivo para obtermos o programa que efetivamente informa ao sistema CAM o que a máquina CNC deve fazer: (i) converter o arquivo CAD no formato nativo para um formato neutro (IGES ou STEP, por exemplo); (ii) traduzir do formato neutro para o formato G-Code.

Observemos que em qualquer tradução que se faça, corremos o risco de que alguma informação seja perdida ou modificada. Além disso, trata-se de uma atividade com pouco valor agregado, mas necessária. Para evitar a necessidade dessa tradução, foi criado o formato STEP-NC.

No formato STEP-NC, a informação necessária para a fabricação da peça é adicionada ao seu modelo. A ideia central é a de que é possível gerenciar as informações de design e manufatura do produto em um único arquivo (ALBERT, 2006). O formato STEP-NC é descrito por duas normas: ISO 14649 e ISO 10303-238 (KRŽIČ; STOIC; KOPAČ, 2009).

Outro formato neutro de arquivo de grande interesse para a engenharia é o STL 2.0. Esse arquivo é utilizado principalmente para a troca de informações entre sistemas CAD e máquinas de impressão 3D. Comparando o código STL-2.0 com o STEP, por exemplo, conclui-se que o formato STEP torna o arquivo muito mais complexo do que seria necessário para a impressão 3D (HILLER; LIPSON, 2009).

Os formatos de arquivo neutro facilitaram a troca de informações entre diferentes sistemas envolvidos no projeto, desenvolvimento, fabricação e manutenção de um produto. Porém, essa troca de informações cria uma nova complexidade: o gerenciamento dessas informações. A garantia de que a informação correta, na versão necessária, esteja no local correto, seja no chão de fábrica da empresa, no fornecedor de componentes ou de ferramentas, ou no cliente, garante a integridade do produto ao longo de seu ciclo de vida. Imagine, que um determinado desenho seja atualizado pela engenharia de produtos para corrigir um problema de qualidade, mas que essa informação não chegue ao operador ou programador de máquina que efetivamente produzem o produto. Novos lotes de produto defeituoso podem ser produzidos, gerando refugos ou retrabalho para a empresa.

Os sistemas chamados *Product Lifecycle Management* – PLM (Gerenciamento do Ciclo de Vida de Produtos) constituem um conjunto de práticas, métodos e ferramentas que ajudam as empresas a organizar as informações relativas a seus produtos, versões e requisitos, desde sua concepção até seu fim de vida (KARNIEL; REICH, 2011). As práticas e métodos do PLM são implementadas em softwares comerciais que tornam o gerenciamento do ciclo de vida

do produto mais fácil para a organização.



Pesquise mais

Em Fachinello e Cunha (2004), podemos encontrar uma explicação clara do conceito de gestão de ciclo de vida do produto (PLM) e de sua integração com outros sistemas empresariais.

FACHINELLO, Tatiana; CUNHA, Gilberto Dias da. Uma abordagem para a gestão do ciclo de vida do produto (PLM). In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 2004, Florianópolis. **Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Florianópolis: Abepro, 2004. p. 2.893–20.900. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2004_Enegep0505_1963.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2017.

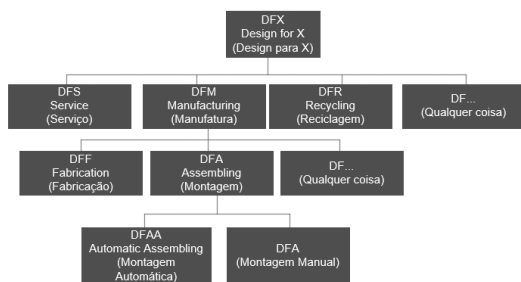


Refleta

Os sistemas CAD/CAM e PLM estão cada vez mais agregando e automatizando funções. Nesse contexto, qual é a função do projetista de produtos e do programador CNC em um sistema de manufatura integrado?

Os sistemas CAD ajudam o projetista a criar produtos e formas mais complexas, tornando os produtos mais funcionais e com melhor aparência. Contudo, não devemos nos esquecer de considerar como o produto em questão vai ser manufaturado. O conceito chamado Design for Manufacturing – DFM (Design para Manufatura), ou Projeto para Manufatura, pode ajudar essa análise. Ele faz parte de uma série de requisitos e diretrizes de projeto conhecidas como DFX – Design for X, ou Design for X, sendo que “X” pode corresponder a manufatura, serviço, reciclagem, etc., conforme ilustrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 | Diretrizes para design baseadas no ciclo de vida



Fonte: adaptada de Eskilander (2001, p. 25).

O conceito de DFM começou a ser documentado na década de 1960, quando as indústrias passaram a desenvolver e documentar diretrizes para o projeto de produtos. O intuito desses documentos era acumular conhecimento sobre a manufatura de produtos e disponibilizá-los para uso dos projetistas de produto logo nos primeiros estágios do projeto. Um dos documentos mais conhecidos dessa época é o *Manufacturing Producibility Handbook* (MPH – manual para produtividade na manufatura), 1960, editado para uso interno pela General Motors, que se concentrava principalmente na manufatura de componentes individuais, e não muito em operações de montagem (KUO; HUANG; ZHANG, 2001). Em 1971 o exército americano também publicou um manual com esse propósito, chamado *Engineering Design Handbook – Design Guidance for Producibility* (UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND, 1971) – manual de projeto, diretrizes para produtividade.

Na década seguinte, são publicados os primeiros estudos considerando a montagem dos produtos, dando origem ao conceito de *Design for Assembling* - DFA, ou Projeto para Montagem. (BOOTHROYD; DEWHURST, 1983; BOOTHROYD ; POLI; MARCH, 1978, apud KUO et al., 2001). Em seguida, surgem algumas variações das técnicas de DFM, aplicadas a situações mais específicas, como o *Design for Automatic Assembly* (DFAA), ou Projeto para Montagem Automática (ESKILANDER, 2001) e o *Design for Additive Manufacturing* (DFAM), ou Projeto para Manufatura Aditiva, mais conhecida como impressão 3D - (ASADOLLAHI-YAZDI; GARDAN; LAFON, 2017).

A literatura tradicional sobre DFM aponta várias orientações para facilitar a fabricação de produtos e componentes. A seguir listamos algumas dessas orientações:

1. **Simplificar e melhorar a montagem:** eliminando ou combinando componentes, substituindo elementos de fixação por sistemas de travamento imediato (*snap fit*), tornando a operação de montagem desnecessária e garantindo o relacionamento entre características geométricas críticas para facilitar o manuseio de peças (evitar componentes muito pequenos ou muito grandes e pesados, frágeis, afiados, escorregadios, difíceis de serem pegos por aderirem ou enroscarem uns nos outros). Também se recomenda o uso de soluções de projeto que permitam realizar a montagem em sentido vertical de cima para baixo, com indexadores para o alinhamento, com orientação livre para montagens simétricas e fixas para montagens assimétricas, que possam ser montadas com movimento único e linear.

2. **Padronizar:** a padronização pode ser feita, por exemplo, com o uso da Tecnologia de Grupo (TG), estudada na Seção 3.1, para identificar componentes redundantes. A falta de controle adequado na criação de componentes leva à criação e manutenção de componentes similares em forma e função, mas com desenhos e códigos de produto distintos (por exemplo, vários elementos de fixação com o mesmo diâmetro, classe, e comprimento similares, que poderiam ser padronizados). A padronização de componentes permite uma redução nos estoques devido à diminuição da quantidade de componentes específicos, menor quantidade de ferramentas e equipamentos necessários, otimizando o tempo de trabalho do projetista.

3. **Adequar o projeto ao processo e ao sistema de manufatura:** considerar os processos e ferramentas disponíveis para a fabricação de um item, métodos particulares de manuseio de materiais e procedimentos de controle de qualidade durante o projeto para evitar o gasto com o desenvolvimento de ferramentais ou processos específicos.

4. **Considerar a quantidade a ser fabricada:** o volume de produção deve orientar a escolha do processo de fabricação e, portanto, influenciar o projeto do produto. Por exemplo, considere uma peça cujos requisitos técnicos permitam sua fabricação por usinagem ou fundição. Se a peça for destinada para a indústria aeronáutica e aeroespacial, para a qual os volumes de fabricação normalmente são baixos (às vezes são peças únicas) a escolha provavelmente será pelo

processo de usinagem, para evitar o custo do ferramental. Porém, se o destino da peça for a indústria automotiva, normalmente com volumes bem maiores, o processo escolhido provavelmente vai ser a fundição, devido à economia de matéria-prima.

O uso das técnicas de DFM deve ser avaliado cuidadosamente, para evitar que a padronização e consideração dos limites de fabricação e montagem não prejudiquem a evolução tecnológica da empresa, colocando em risco sua competitividade. Trata-se de uma solução de compromisso entre facilidade e ganhos, no presente, versus a evolução tecnológica de produtos e processos. Desde que bem administrado, esse compromisso pode gerar bons resultados para as empresas.

Além das diretrizes contidas nas diversas abordagens de DFM, também existem métodos analíticos que atribuem valores para diferentes soluções de design e sugerem critérios de julgamento para a escolha do design mais apropriado para a manufatura. Por exemplo, Wakil (2002) e Eskilander (2001) citam o método Hitachi, método Lucas, Fujitsu, entre outros.



Assimile

Vamos lembrar os principais tópicos abordados nesta seção.

Nosso tema principal foi a integração entre projeto de produto e manufatura:

- Os Sistemas CAD surgiram no final dos anos 1950 como ferramentas informatizadas de auxílio ao projeto de produtos. Hoje incorporam atributos para auxiliar o projetista em outras funções além da construção da geometria de componentes individuais. Alguns exemplos são: o uso de sistemas padronizados de dimensionamento (como o da ASME Y 14.5), cálculo e especificação de cadeias de cota, considerando a variação mecânica e a dispersão estatística dos componentes e funções específicas para o projeto de produtos por novas técnicas de manufatura como a manufatura aditiva.
- Os arquivos neutros são arquivos criados para facilitar a troca de informação entre sistemas CAD de diferentes marcas. Os mais usuais são: IGES, STEP, STEP-NC E STL.
- O *Design for Manufacturing* (DFM) é um conceito utilizado para adequar o produto ao processo disponível. Possui diretrizes gerais e

métodos analíticos que atribuem uma nota a cada design, permitindo a comparação assertiva entre diferentes propostas de design ou critérios mínimos de aceitação.

Algumas dessas diretrizes são:

- **Simplificar:** (i) eliminar ou combinar componentes; (ii) facilitar o manuseio; (iii) montagem em um único sentido, (iv) peças simétricas ou com simetria exageradas.
- **Padronizar:** reduzir o número de componentes distintos.
- **Adequar o projeto ao processo:** considerar os elementos do processo disponíveis.
- **Considerar** a quantidade a ser fabricada.

Você pode memorizar os quatro verbos principais dessa lista e aplicá-los como uma lista de verificação quando for empregar o DFM na revisão de um projeto.

Sem medo de errar

Caro aluno, a situação descrita no enunciado do *Convite ao estudo* não é incomum nas organizações. Todos sabemos que a capacidade de gerar informações se expandiu muito com o uso da tecnologia da informação. Muitas vezes, as organizações (e algumas vezes nós mesmos, do ponto de vista pessoal) não se preparam na mesma proporção para gerenciar as informações geradas.

O conceito de PLM, ou *Product Lifecycle Management* – Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto foi criado para auxiliar as organizações nessa questão. O conceito de PLM diz respeito a um conjunto de regras e procedimentos para garantir o arquivamento, recuperação e difusão da informação correta para as pessoas ou funções certas, na versão correta, ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Por exemplo, na fase inicial do projeto, desenhos do conceito do produto podem ser divididos com os projetistas, engenheiros de processo, fabricantes de ferramentas e responsáveis pela assistência técnica e manutenção do produto. Em estágios posteriores, a distribuição pode se estender às funções de marketing

e vendas. A etapa do projeto em que cada participante do projeto deve ter acesso a cada tipo de informação pode ser definida por regras do ciclo de desenvolvimento de produto de cada organização. Por exemplo, é possível que para um determinado projeto, em sua fase inicial, os responsáveis pela compra e desenvolvimento de ferramentas ainda não devam ter acesso aos desenhos de produto, pois ainda há muitas incertezas sobre o formato final. Conforme o produto chega mais próximo à sua finalização, é necessário consultar as ferramentarias para confirmar aspectos técnicos e de custos. Nesse momento, a consulta aos desenhos pode ser liberada para as funções que desenvolvem os ferramentais com os fornecedores.

Essas regras e fluxos podem ainda ser implementadas em softwares comerciais que ajudam a reforçar e padronizar essas práticas.

Assim, um dos caminhos para resolver o problema relatado no *Diálogo aberto* desta seção, poderia ser a implementação de um fluxo de gerenciamento das informações de acordo com os conceitos de PLM. Poderíamos utilizar a abordagem de Kaizen e mapeamento de fluxo de valor (MFV), estudados Seção 1 da Unidade 1. Primeiramente, poderíamos fazer o mapeamento do processo de distribuição das informações utilizadas no processo de desenvolvimento de produtos, conforme a situação atual (MFV atual) e, em seguida, desenhar o fluxo desejado, eliminando os desperdícios. Em seguida, o novo fluxo de valor poderia ser implementado, de forma manual ou informatizada.

Avançando na prática

Aplicando o Design for Manufacturing

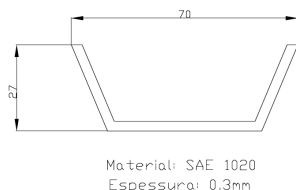
Descrição da situação-problema

Em uma empresa de montagem de componentes eletrônicos, o engenheiro de produtos está avaliando o design de um novo componente que será montado na linha de produção. Ele se depara com um elemento de fixação (mostrado na Figura 4.3) que, devido ao seu tamanho reduzido, vai ser disponibilizado para a linha de produção em caixas contendo 50 unidades. Em cada produto, são montados dois desses elementos de fixação de forma manual.

Supondo que o projeto esteja em um estágio em que o engenheiro de produto ainda possa influenciar o design dos componentes, que recomendação você daria para melhorar

o design dos fixadores, considerando o conceito de Design for Manufacturing (Design para a Manufatura)?

Figura 4.3 | Fixador para componente eletrônico (medidas em mm)



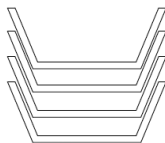
Fonte: adaptada de Wakil (2002, p. 442).

Resolução da situação-problema

O conceito de Design for Manufacturing indica que o design de peças pequenas, como molas e fixadores, que possam vir a ser fornecidos a granel, devem evitar que fiquem presas umas nas outras. Esse problema dificulta a montagem e agrega tempo adicional, pois o operador tem que separar as peças antes de poder montá-las.

No exemplo da Figura 4.3, o design original permite que essa falha ocorra, conforme ilustrado na Figura 4.4.

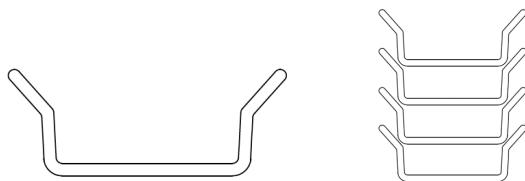
Figura 4.4 | Fixadores presos uns aos outros, dificultando a montagem



Fonte: adaptada de Wakil (2002, p. 442).

Uma possível solução para evitar essa falha é ilustrada na Figura 4.5. Note, também, que os cantos foram arredondados, seguindo outra recomendação do DFM, evitar arestas cortantes e cantos afiados.

Figura 4.5 | Proposta de design para evitar que as peças fiquem presas



Fonte: adaptada de Wakil (2002, p. 442).

Dessa maneira, com simples alterações de design, deixando a peça mais adequada ao processo em uso, pode gerar aumentos de produtividade importantes.

Faça valer a pena

1. "[...] o objetivo é amarrar todas as peças no processo de produção, de modo que os defeitos de qualidade possam ser imediatamente corrigidos. Para que as correções sejam feitas em toda a documentação e no processo, de forma rápida, incluindo a lista de materiais e o projeto de automação, é necessário compartilhar dados para que cada participante no processo de design, produção, distribuição e venda, trabalhe com um modelo de dados integrado. Esse modelo de dados é chamado de, única fonte de verdade, pelos profissionais de gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLM). As empresas que utilizam as abordagens mais modernas de gerenciamento do ciclo de vida do produto utilizam os sistemas informatizados de PLM" (SHIH; LIFWIG, 2016).

O texto anterior trata de um conceito chamado PLM (gerenciamento do ciclo de vida do produto). Esse conceito pode ser entendido, na sua forma mais ampla, como:

- a) Um aplicativo de informática para organizar as informações relativas a produtos.
- b) Um conjunto de práticas, métodos e ferramentas para organizar as informações relativas a produtos.
- c) Um procedimento para gerenciar o desenvolvimento do produto.
- d) A sequência de etapas que uma equipe segue para desenvolver ou alterar um produto.
- e) Um sistema CAD e um repositório de documentos.

2. Os arquivos de CAD em formato neutro foram criados para permitir a troca de informação entre sistemas CAD de diferentes marcas. Leia as afirmações a seguir a respeito desse tipo de arquivo:

I - Os arquivos em formato STP-NC podem conter, além das informações relativas à peça, informações relativas ao seu processo de fabricação.

II - Os arquivos em formato IGES contêm, além das informações de geometria do produto, informações sobre o processo de inspeção da peça.

III - Os Arquivos STEP podem conter informações de geometria e tolerância da peça.

IV - Os arquivos STEP contêm a informação necessária para a impressão 3D de uma peça, mas não são considerados muito complexos para esse fim.

Escolha, entre as alternativas a seguir, aquela que contém apenas afirmações corretas sobre os tipos de arquivo neutro.

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) I, III e IV, apenas.
- d) II, III e IV, apenas.
- e) III e IV, apenas.

3. O conceito de Design for Manufacturing (DFM) surgiu a partir de diretrizes editadas para uso interno em empresas como a General Electric, por exemplo. Mais tarde, esse tema foi abordado por grupos de pesquisa e divulgado em artigos científicos, dissertações e livros. Com relação ao conceito de DFM, leia atentamente as afirmações a seguir.

O DFM:

I. Simplifica a montagem, tornando o processo mais produtivo e diminuindo as possibilidades de erros na montagem.

III. Diminui ou evita o gasto com novos ferramentais ou processos específicos.

III. Permite que os estoques sejam reduzidos devido à padronização de componentes.

IV. Estimula a evolução tecnológica dos processos de fabricação e montagem.

Escolha a alternativa que contenha as afirmações verdadeiras do texto anterior:

- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) I, II e III, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) II, III e IV, apenas.

Seção 4.3

Tendências em sistemas integrados de manufatura

Diálogo aberto

Caro aluno, estamos passando por um momento muito interessante, em que a oferta de produtos com algum tipo de tecnologia ligada à internet tem aumentado a cada dia, trazendo comodidades a nossa vida. Esse momento é ainda mais interessante para os profissionais da indústria, que também estão adotando essas tecnologias para aumentar a produtividade, reduzir os tempos de entrega, melhorar a qualidade do produto e introduzir requisitos de clientes específicos ao projeto do produto.

Esse contexto é tão marcante para a indústria, que tem sido chamado de quarta revolução industrial. A indústria adaptada aos conceitos da quarta revolução industrial é chamada de Indústria 4.0 ou *Smart Industry* (Indústria Inteligente).

Para tornar esse contexto mais concreto, retornaremos ao *Convite ao estudo* da Unidade 3. A partir dele, preparamos um desafio para você utilizar e treinar alguns dos conceitos que estudaremos nesta seção, como a Internet das Coisas (IoT), a manufatura sem papel (*paperless manufacturing*), manufatura aditiva, realidade aumentada e customização em massa.

No *Convite ao estudo* da Unidade 3, você havia assumido a liderança de uma indústria fabricante de embalagens, na qual havia pouca integração entre os processos de manufatura. Os principais sintomas percebidos eram: alguns produtos percorrem uma distância muito grande na fábrica antes de ficarem prontos, há picos de trabalho e ociosidade, e os estoques são mais altos que o esperado. Também há pouca integração entre a empresa e seus fornecedores. Os clientes também reclamam de constantes atrasos nas entregas.

Imagine, agora, que você concluiu recentemente a elaboração do seu planejamento estratégico para o próximo ano. Geralmente você o discute com o CEO antes que ele vá para aprovação na reunião anual de planejamento estratégico e está bem confiante que

o relatório vai ser aprovado sem muitas alterações. Finalmente você consegue marcar um horário com ele para revisar o arquivo. Durante a conversa você tem que responder aos seguintes questionamentos:

(i) Seria possível eliminar etapas de trabalho e ganhar agilidade na introdução de novos produtos utilizando ferramentas para redução de arquivos impressos na manufatura (*Paperless Manufacturing*), IoT (Internet of Things)?

(ii) Como podemos aproveitar a quantidade de dados disponíveis e capacidade de processamento desses dados para melhorar nossos processos?

(iii) Seria possível conectar máquinas, produtos e planejamento?

Por meio da leitura desta seção tais questionamentos poderão ser respondidos e o seu plano de ação, que se iniciou na Unidade 3, será finalizado.

Boa leitura!

Não pode faltar

A forma como produzimos e utilizamos os bens de consumo está passando por uma modificação importante.

Do ponto de vista de manufatura, o uso de robôs nos processos de fabricação já não é nenhuma novidade. O que se observa agora é a introdução dos robôs colaborativos, que trabalham lado a lado com os operadores que, por sua vez, usam componentes de realidade aumentada e operam máquinas que enviam alertas quando precisam de manutenção.

Do ponto de vista do uso e consumo de produtos, temos contato cada vez mais constante com produtos que possuem recursos digitais para prever falhas ou comunicar-se com outros produtos. Os novos recursos digitais e protocolos de comunicação também têm facilitado a criação de novos modelos de negócio, estimulando uma mudança na relação de posse dos bens para uma relação de acesso, facilitada pelo uso de aplicativos como Uber e Airbnb. Seguindo essa tendência, já é possível alugar robôs em vez de comprá-los, reduzindo as despesas com manutenção, instalação e atualização de tecnologia (SILVA, 2017).

Vários termos têm sido utilizados para descrever e agrupar essas

modificações na forma de consumo e produção: quarta revolução industrial, indústria 4.0, fábricas inteligentes, internet industrial.

Na Feira de Hanover de 2011, o termo Indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez, quando um grupo de trabalho foi estabelecido para elaborar recomendações para o governo alemão relativas à competitividade por meio de inovações tecnológicas. O trabalho desse grupo faz parte de um programa chamado High Tech Strategy 2020 – Estratégias de alta tecnologia 2020 (KAGERMANN et al., 2013).

Os Estados Unidos adotaram o termo *Advanced Manufacturing Partnership* – AMP (Parceria de Manufatura Avançada) em 2011. O AMP é composto de um comitê liderado pela indústria e com participação de políticos e pesquisadores. Seu objetivo é fornecer recomendações para o desenvolvimento da indústria americana no tocante a novas tecnologias e inovações. O governo americano tem promovido essa iniciativa por meio do financiamento público para o desenvolvimento de projetos relacionados à IoT e sistemas físico-cibernéticos (CPS – *Cyber-Physical Systems*). O National Institute of Standards and Technology – NIST (Instituto Nacional de Normatização e Tecnologia) também participa dessa iniciativa com o fornecimento de financiamento, suporte técnico e instalações para pesquisa, além de manter o portal chamado *Advanced Manufacturing Portal* – Portal de Manufatura Avançada (AMNPO, 2017), com o objetivo de facilitar o contato e troca de informações entre todos os envolvidos nessa área.

O governo chinês também lançou sua iniciativa para modernização da produção baseada em novas tecnologias em áreas estratégicas, chamada Made in China 2025 – Feito da China 2025 (BARBOSA, 2017; MEYER, 2016).

Na Índia, uma pesquisa realizada com 52 executivos mostra que as empresas indianas estão dispostas a investir fortemente em tecnologias de digitalização como, sensores, conectividade, software e aplicações, como Sistemas de Execução de Fabricação. A vantagem da Índia nesse aspecto é o fato de sua indústria ser muito pouco automatizada e informatizada atualmente. Portanto, qualquer iniciativa pode ser promovida com pouca preocupação com a compatibilidade de sistemas antigos. No entanto, há o desafio relacionado à falta de familiaridade e treinamento com recursos digitais (PWC, 2016).

No Brasil, a iniciativa coordenada mais próxima do conceito de Indústria 4.0 é liderada pela Associação Brasileira de Internet Industrial

(ABII) e se difere um pouco do conceito de Indústria 4.0, adotado pelo governo alemão. Ela está mais voltada para recursos de manufatura propriamente ditos, enquanto o conceito de internet industrial está relacionado a qualquer produto ou serviço que envolva a internet fora do ambiente doméstico. Além disso, no caso brasileiro, a iniciativa partiu de um consórcio formado por indústrias, que criam iniciativas e recomendações para organismos governamentais e normatizadores, enquanto, no caso da Alemanha, a iniciativa teve origem dentro do governo.



Pesquise mais

No vídeo indicado a seguir, você pode conhecer um pouco mais sobre a Indústria 4.0 e Internet das Coisas, e como as indústrias estão se organizando a esse respeito no Brasil e em alguns outros países. Vale a pena dar uma olhada!

PALESTRA José Rizzo. Joinville: Opera Eventos, 2017. Son., color. Disponível em: <<https://youtu.be/G7gNL3eDiUE>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

A seguir, vamos apresentar de forma sucinta alguns dos principais elementos da Indústria 4.0.

Iniciaremos com o conceito de Internet das Coisas (IoT – Internet of Things). Estima-se que, em um futuro próximo, a maioria dos produtos poderá estar conectada a uma rede de comunicação. Um dos elementos impulsionadores dessa tendência é a queda dos preços dos equipamentos de informática e do armazenamento de dados (SCHWAB, 2017). O segundo elemento é a introdução do protocolo IPv6 (tudo que se conecta à internet deve ter um endereço de rede chamado endereço IP, de acordo com a versão de protocolo IP vigente), que disponibiliza uma quantidade de endereços suficientes para o acesso universal de dispositivos conectados (KAGERMANN et al., 2013). Dados coletados por sensores a respeito do funcionamento do equipamento podem ser transmitidos em tempo real, recuperados, analisados e comparados a padrões. A análise da grande quantidade de dados disponíveis – conhecida como Big Data – sem tradução adequada ou usual para o Português – permite estabelecer padrões de funcionamento. Com esses padrões, é possível criar alarmes para indicar que algum processamento não está funcionando em conformidade com o que foi programado antes, evitando a ocorrência

de uma falha inesperada (que tal revisar o conceito de manutenção preditiva, que estudamos na Seção 2.3?), aumentando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo os custos de manutenção. Além do estado dos equipamentos, a utilização e a produtividade deles podem ser monitoradas de maneira eficiente e rápida. No entanto, os equipamentos se tornam mais complexos e demandam cuidados com relação a ataque por vírus e segurança de dados.



Exemplificando

O aplicativo Waze coleta as informações dos próprios usuários do aplicativo, as armazena em nuvem e as distribui para os demais usuários. Dessa forma, o aplicativo “sabe” e informa as condições de trânsito, instantaneamente, sem que ninguém precise fazer o monitoramento de nenhuma variável. Os sistemas de monitoramento das máquinas segundo o conceito de IoT funciona da mesma forma. Imagine que todas as máquinas similares de um determinado fabricante estejam conectadas em uma rede e possuam sensores monitorando as principais variáveis que definem sua performance. À medida que os dados são armazenados e comparados, é possível formar padrões e reconhecer até mesmo pequenos desvios, indicando que alguma coisa está errada. Entretanto, também podem ser encontrados padrões que resultem em maior produtividade. Esses padrões podem ser enviados para todas as máquinas conectadas na rede e se tornarem a nova referência de operação.

O conceito de IoT também possibilita criar redes capazes de conectar linhas de produção outrora isoladas. Como os dados de produção e disponibilidade dos equipamentos podem ser coletados diretamente no chão de fábrica e disponibilizados na nuvem, clientes e fornecedores podem ter acesso às mesmas informações de demanda e disponibilidade, criando linhas virtualmente contínuas. Esse conceito vai de encontro ao que estudamos na Seção 3.3, com relação à integração dos fornecedores e extensão do Just in Time por toda a cadeia de suprimentos.

Vamos a mais um conceito importante na Indústria 4.0: a Manufatura Aditiva (MA), também conhecida como impressão 3D. A Manufatura Aditiva é um processo de fabricação pelo qual o material (sólido, fundido ou pó) é depositado em finas camadas de acordo com a geometria obtida diretamente de arquivos CAD. A adesão do material pode ocorrer, dependendo do processo, pela solidificação

do material fundido, aglutinação por adesivo líquido ou polimerização ativada por luz. Por meio desse processo, pode-se produzir desde ferramentas de estampo, injeção de plástico e fundição, até mesmo produtos prontos para o uso, com uma liberdade de formas impraticável por outros processos (VOLPATO, 2017). Por mais estranho que seja, já podemos comprar até uma pizza fabricada por manufatura aditiva (PUNCH, 2017).

Até 2025 espera-se que o primeiro veículo fabricado pelo processo de Manufatura Aditiva esteja sendo comercializado e que 5% de todos os produtos (não apenas veículos) sejam fabricados pelo mesmo processo (SCHWAB, 2017). Dois fatos recentes mostram que essa expectativa não está longe de ser concretizada. Em 2016, a fabricante de veículos PSA (dona das marcas Peugeot e Citroën) e a 3D Divergent, fabricante de equipamentos de MA, anunciaram uma aliança estratégica com o objetivo de implementar tecnologias de impressão 3D ao processo produtivo de veículos (BUSINESSWIRE, 2016). Em 2017, o primeiro protótipo totalmente funcional de um veículo manufaturado por esse processo pôde ser visto na CES 2017, Las Vegas, uma das maiores feiras de produtos eletrônicos do mundo (KOROSEC, 2017).



Refleta

As mudanças ocasionadas pelo conceito de Indústria 4.0 devem causar algum tipo de ruptura no mercado e nos sistemas de manufatura da maioria das empresas. Que sinais você poderia acompanhar para não ser pego de surpresa e fazer da ruptura uma oportunidade?

O uso do papel como meio de comunicação e registro de informações tem diminuído rapidamente em nossas vidas. A substituição de revistas, jornais, livros, prontuários médicos e processos judiciais impressos por suas versões eletrônicas são exemplos óbvios desse fato. No ambiente industrial podemos verificar a mesma tendência. O controle, arquivamento e recuperação de documentos e registros impressos podem ser um verdadeiro inconveniente em um sistema de manufatura. A tecnologia atual nos permite reduzir boa parte desse esforço por meio da implementação de um conceito que vem sendo chamado de *paperless manufacturing*, ou manufatura sem papel.

A captura automatizada de dados por intermédio de scanners ou rádio frequência (RFID), telas sensíveis e dispositivos móveis

podem substituir o registro manual de informações. As informações relevantes para o sistema de manufatura como, instruções de trabalho, desenhos, ordens de produção, desempenho da produção, entre outras, podem ser exibidas em telas fixas ou dispositivos móveis. Além de reduzir o esforço com a coleta e manutenção de dados em meio físico, a digitalização ainda permite o cruzamento desses dados, podendo transformá-los em indicadores e informações úteis para o acompanhamento da performance da manufatura.

A maneira como as informações são coletadas e disponibilizadas também pode ser alterada pelas novas funções e interfaces que a nossa visão pode adquirir na Indústria 4.0. A realidade aumentada é uma ferramenta que permite sobrepormos imagens projetadas na tela de um dispositivo móvel sobre um ambiente, dando a impressão ao usuário de que a imagem projetada faz parte do ambiente.



Pesquise mais

Difícil de imaginar o que foi descrito no parágrafo anterior? Confira as reportagens a seguir e veja com mais detalhes como o conceito de realidade aumentada funciona.

JORNAL DA GLOBO. **Conecte:** realidade aumentada promete mudar sua visão do mundo. 2009. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/1056877/>>. Acesso em: 4 set. 2017.

G1. **Aplicativo de realidade aumentada ajuda dono na manutenção do carro.** 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2013/05/aplicativo-de-realidade-aumentada-ajuda-dono-consertar-o-carro.html>>. Acesso em: 4 set. 2017.

Essa tecnologia pode ser utilizada, por exemplo, para substituir as instruções de operação ou manutenção de equipamentos, auxiliar no treinamento de operadores e na execução de operações mais complexas. Mecanismos de rastreamento ocular podem se transformar em dispositivos de controle para dar comando a outros equipamentos e melhorar a capacidade de executar tarefas.

Para colher os resultados do conceito de *paperless manufacturing*, a arquitetura do sistema deve fornecer um fluxo contínuo de informação entre os sistemas, operando através de conexões diretas, sem a necessidade de manuseá-las em outros meios e redigitalização de dados.

O uso dos robôs colaborativos também faz parte do conjunto de transformações incluso no contexto que estamos estudando. Além do que apresentamos sobre eles na Seção 3.3, é importante adicionar mais algumas particularidades. As novas gerações de robôs podem ser controladas e aprender através da conexão com dados em nuvem. Os robôs tradicionais têm seu uso dedicado a operações específicas, como a soldagem sequencial de peças, por exemplo. Os robôs conectados à nuvem podem ter suas instruções de operação alteradas facilmente, adaptando-se a novas tarefas de maneira simples, conforme a demanda atual. Antes do advento da IoT, o desenvolvimento de soluções que poderiam adicionar inteligência e colaboração entre os robôs era limitado pelo alto custo computacional e pelo aumento do peso extra que restringiam a mobilidade e habilidade dos robôs. Com a IoT e novas arquiteturas de rede de comunicação, como a Arquitetura Orientada a Serviço (SOA) – um sistema de softwares de baixo acoplamento, ou seja, que executam tarefas com baixa ou nenhuma dependência entre eles por meio de interfaces padronizadas e protocolos de troca de mensagens – a execução de cálculos que exigem maior poder computacional pode ser deixada a cargo da computação em nuvem (SILVA et al., 2016). Além disso, os robôs também podem enviar dados para a nuvem e construir um ambiente de aprendizado colaborativo. Quando um dos robôs encontra um obstáculo, por exemplo, essa informação pode ser distribuída imediatamente para os demais equipamentos conectados à mesma rede, que podem, então, alterar suas trajetórias (BÖSL, 2017).

A facilidade para adaptar os robôs a novas funções e seu peso reduzido abre a possibilidade de transportar os robôs para setores diferentes dentro da mesma empresa ou empresas diferentes, e dá origem a novos modelos de negócio – a aquisição dos robôs como serviço e não mais como um bem de capital. Esse modelo de negócio é chamado de robô como serviço, ou *robot as a service* (RaaS). Nesse modelo de negócio, uma empresa possui uma “frota” de robôs e os aluga para os usuários finais. A empresa proprietária dos robôs também se responsabiliza pela manutenção e atualização dos robôs de acordo com a evolução tecnológica (VIOLINO, 2017).

As normas ISO/TS 15066 e ISO 10218 contêm diretivas para o projeto de robôs e instalações seguras o bastante para que humanos e robôs possam trabalhar em conjunto. Elas partem do princípio de

que, se houver contato acidental entre homem e máquina, o resultado não pode ser doloroso nem causar ferimento.

As novas formas de organização dos processos podem facilitar o atendimento de requisitos de clientes individuais, reforçando uma outra tendência da Indústria 4.0, qual seja, a customização em massa. A maior integração entre os elementos da organização e entre clientes e fornecedores, além dos novos processos, como a impressão 3D, vão permitir que critérios para atender consumidores específicos sejam incluídos no projeto e processo de fabricação de forma cada vez mais rápida e em estágios cada vez mais próximos da conclusão da fabricação do produto (KAGERMANN et al., 2013).

É claro que as novas tecnologias e modificações trazidas pela Indústria 4.0 provocam impactos na forma como o trabalho é organizado, nas relações trabalhistas e qualidade de vida do trabalhador e na própria quantidade e distribuição de empregos. Muito se discute a esse respeito e parece não haver um consenso sobre todos os impactos negativos e positivos com relação a esse tema.

Pontos comumente citados, como possíveis aspectos negativos da Indústria 4.0 são: perda de privacidade, problemas com segurança de dados, redução de empregos e aumento da diferença social, entre outros.

No entanto, alguns pontos frequentemente citados como consequências positivas desse movimento são: a oportunidade de abertura de maior número de empregos que valorizem a criatividade e a qualificação profissional, a flexibilização dos horários e locais de trabalho, a automatização dos trabalhos perigosos, pesados ou insalubres, a redução do consumo de energia, a redução no custo de manutenção de equipamentos, o aumento da eficiência do trabalho, entre outros.



Assimile

Indústria 4.0: termo utilizado a partir da Feira de Hanover de 2011 para se referir a alterações na sociedade e, especialmente na indústria, devido ao uso de novas tecnologias digitais, robótica e internet das coisas. A primeira iniciativa coordenada nessa área partiu da Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII).

Principais elementos da Indústria 4.0:

- Internet das Coisas (IoT): produtos conectados à internet (produtos inteligentes), maior produtividade e menores custos de manutenção. Integração da linha de produção de clientes e fornecedores.
- Manufatura Aditiva: material depositado em finas camadas e aglutinado por diferentes processos, de acordo com geometrias importadas de arquivos CAD.
- *Paperless Manufacturing*: dados digitais substituindo dados impressos em documentos e registros impressos. Métodos de captura de dados automáticos, utilizando códigos de barra, QR codes e rádio frequência. Integração da realidade virtual, da realidade aumentada e dos dispositivos inteligentes formando novas interfaces e funções com nossa visão.
- Captura e processamento de grande quantidade de dados de diferentes sensores, criando padrões de funcionamento e alertas em caso de desvios.
- Robôs colaborativos: robôs que podem trabalhar lado a lado com operadores, com mobilidade, programados remotamente, trocando informações em duas vias com redes. Novos modelos de negócio, como robôs como serviço (RaaS).
- Customização em massa: introdução de requisitos de consumidores específicos em estágios cada vez mais próximos da conclusão da fabricação do produto.
- Discussões sobre as consequências da Indústria 4.0 ocorrendo em vários fóruns.

Sem medo de errar

Com relação aos questionamentos (i) e (ii) apresentados no *Diálogo aberto* desta seção, a introdução de rastreabilidade de produtos por rádio frequência (RFID) poderia ajudar a identificar o caminho percorrido pelos produtos e componentes dentro da fábrica e até mesmo nos pontos de venda do produto. O cruzamento desses dados com outras informações, também armazenadas em nuvem, como: dados de funcionamento e disponibilidade das máquinas (coletados utilizando dispositivos conectados à IoT), períodos em que os produtos ficaram esperando para serem processados e período que os produtos ficaram armazenados depois de prontos, podem

criar padrões que ajudem a otimizar a logística de fabricação e entrega do produto. Além disso, a integração dessas informações ao longo de toda a cadeia logística do produto, desde o conhecimento da demanda do cliente até os fornecedores de matéria-prima, permite que as decisões sobre as quantidades a serem produzidas sejam tomadas de forma muito mais segura.

Com relação ao questionamento (iii) do *Diálogo aberto*, a tecnologia atual permite o uso de sensores que comunicam o estado de ocupação e conservação das máquinas. Do ponto de vista de conservação das máquinas, os sensores monitoram sinais de funcionamento das máquinas (vibração, temperatura, corrente elétrica etc.) que podem ser comparados a padrões. O desvio desses padrões indica a aproximação de uma falha, avisando antecipadamente a necessidade de paradas para manutenção. Com relação à ocupação das máquinas, os mesmos sensores podem detectar se as máquinas estão ligadas ou desligadas e ainda, se elas estão ligadas e processando material ou apenas ligadas sem processar nenhum material. Essa informação pode ser utilizada para a atualização da programação da produção em tempo real pelos Sistemas de Execução da Manufatura (MES). Com relação à conexão com os produtos, o uso de sensores nos componentes pode comunicar sua disponibilidade na fábrica e seu estágio de fabricação, se em processo, em qual máquina ou em estoque.

As informações coletadas nos casos i, ii e iii podem ser integradas desde as linhas de produção dos fornecedores de matéria-prima e se estenderem à linha de produção ou estoque dos clientes e pontos de venda. Assim, a demanda pelos produtos é conhecida e divulgada ao longo da cadeia produtiva muito mais rapidamente, diminuindo a necessidade de estoques de segurança e aumentando a assertividade da programação. Consequentemente, é possível reduzir as perdas do processo, tornando-o cada vez mais enxuto.

Com isso, podemos concluir o plano de ação que iniciamos na Seção 1 da Unidade 3 e terminamos na Seção 3 da Unidade 4. Vamos recordar nossos objetivos:

Na Unidade 3, o foco de nosso plano de ação foi melhorar o fluxo de produção por meio da formação de células de manufatura e a integração das funções de qualidade e manutenção. Na Seção 3.1 transformamos o layout produtivo baseado em departamentos (ver

Figura 3.1) em um layout celular, conforme a Figura 3.4, utilizando a tecnologia de grupo para dividir os produtos em cada célula de produção. Na Seção 3.2 utilizamos o conceito Manutenção Preventiva Integrada e Controle da Qualidade Integrada para resolver alguns problemas ocorridos durante as etapas de usinagem de um componente e, com isso, aumentamos a qualidade dos produtos e a disponibilidade das máquinas, viabilizando a redução dos estoques de segurança. Na Seção 3.3, nos preocupamos em integrar a cadeia de suprimentos e estender o conceito de manufatura enxuta para os fornecedores, obtendo prazo de entregas mais flexíveis e lotes de entrega de componentes menores e mais frequentes.

Quando passamos para a Unidade 4, mudamos o foco do nosso plano de ação. Dessa vez o nosso foco era encontrar oportunidades de otimizar o sistema integrado de manufatura, utilizando ferramentas de informatização e automação da produção. Na Seção 4.1 utilizamos a Tecnologia de Grupo mais uma vez para reduzir o número de variantes de peças na produção e formar famílias de peças. Posteriormente, aplicamos o Planejamento de Processo Auxiliado por Computador para padronizar os processos de peças similares. Obtivemos, como benefício, a redução dos estoques de componentes e produto acabado e o número de trocas de ferramenta, reduzindo também o tempo de fabricação. Ainda na primeira seção, consideramos o uso de robôs colaborativos para resolver problemas relacionados à ergonomia e erros que provocam problemas de qualidade. Na Seção 4.2 utilizamos ferramentas de Ciclo de Vida do Produto e mapeamento de processos para estudar e integrar o fluxo de informações entre as funções de projeto de produto e manufatura. Finalmente, na Seção 4.3,, apontamos caminhos para a otimização da produção utilizando soluções relacionadas à Internet das Coisas, como comunicação entre produtos, máquinas e linhas de produção remotas e o cruzamento e análise da grande quantidade de dados gerados para criar padrões de informação que podem ser difundidos ao longo de toda a cadeia de produção de forma ágil, diminuindo a necessidade de estoques de segurança e aumentando a assertividade da programação. Consequentemente, é possível reduzir as perdas do processo, tornando-o cada vez mais enxuto.

Agora, você pode reunir todas essas informações e elaborar um relatório gerencial e entregá-lo ao CEO da organização, conforme lhe

foi pedido assim que você assumiu a liderança desta unidade.

Mãos à obra!

Avançando na prática

Desmistificando as novas tecnologias

Descrição da situação-problema

Recentemente, a indústria para a qual você trabalha como engenheiro de processos resolveu adotar robôs colaborativos para auxiliar os funcionários a realizarem a operação de embalagem de produtos, no final da linha de montagem. A forma como essa operação tem sido executada não é considerada muito adequada do ponto de vista ergonômico. Outro problema são os constantes erros ocorridos nessa operação: os produtos são acondicionados em embalagens erradas, o que só é descoberto quando o cliente recebe o produto e o desembala. Para minimizar o impacto e insatisfação dos colaboradores, adotou-se a rotatividade nesse posto de trabalho, de forma que nenhum operador trabalhe mais do que uma semana seguida na atividade.

Porém, a notícia sobre a instalação do robô na linha de produção, o primeiro dessa fábrica, criou apreensão entre os trabalhadores sobre a redução do número de postos de trabalho na linha de produção, e de que esse seria o primeiro passo para a instalação de uma linha totalmente automatizada.

Como responsável pelo projeto, elabore um comunicado sobre a situação, explicando o funcionamento e destacando as vantagens da instalação e sobre a convivência desse tipo de equipamento com os operadores.

Resolução da situação-problema

Caro colaborador, estamos dando um passo importante na modernização dos processos de manufatura.

Como todos sabem, a operação de embalagem dos nossos produtos ocorre em um posto de trabalho no qual os operadores se sentem muito mais cansados ao final do turno, em comparação com outros postos da nossa linha de produção.

Nossos produtos são pesados para a manipulação por apenas

um colaborador e o layout do posto de trabalho não é adequado para dois operadores trabalharem juntos. Além disso, por mais que nossos colaboradores se esforcem, entendemos que, com o nível de desconforto presente nesse posto, é difícil manter a atenção necessária para que não ocorram erros na operação.

Pensado nisso, a organização investiu em uma tecnologia chamada robô colaborativo.

Reconhecemos que a primeira reação ou pensamentos que possam vir à mente de nossos colaboradores estejam ligados ao receio da substituição da mão de obra pelos robôs. Alguns podem até lembrar de exemplos de plantas industriais que operam praticamente no escuro, com robôs e alguns poucos profissionais humanos para comandar as máquinas. Porém, esse não é o caminho que nós (ou a maioria das fábricas de pequeno e médio porte, como a nossa) estamos tomando.

A função do robô colaborativo não é a de substituir nenhum colaborador, mas tornar seu trabalho mais conveniente e seguro. Ao contrário de um robô convencional, os robôs colaborativos são seguros para o trabalho ao lado de humanos sem barreiras físicas. O equipamento e a sua instalação obedecerão estritamente às orientações das normas ISO/TS 15066 e ISO 10218. Além disso, nossos engenheiros de processo e a comissão interna de prevenção de acidentes farão a análise crítica do projeto e acompanharão toda a instalação.

Os principais objetivos desse projeto são:

- Eliminar o trabalho considerado atualmente inconveniente devido à repetitividade, peso dos produtos ou outros aspectos ergonômicos, melhorando as condições de trabalho e garantindo a integridade física dos colaboradores daquele posto de trabalho.
- Eliminar erros causados por identificação errada ou troca de embalagem.
- Aumentar a produtividade dessa operação.

Portanto, contamos com sua colaboração nesse projeto, trazendo ideias que possam influenciar positivamente os resultados.

Bom trabalho a todos!

Faça valer a pena

1. Esqueça a imagem que você tem de uma fábrica tradicional. No futuro, as linhas de produção barulhentas e confusas serão substituídas por um cenário peculiar. A chamada Indústria 4.0 será cada vez mais automatizada e controlada por robôs. Máquinas dotadas de sensores conseguirão comunicar-se entre si – e tornar o processo produtivo cada vez mais eficiente (EXAME, 2017).

O texto anterior se refere a alterações que vêm ocorrendo na forma das fábricas se organizarem e produzirem bens, chamada Indústria 4.0. Selecione a alternativa que melhor descreve esse tipo de indústria.

- a) Fábricas compostas por linhas de produção sem operadores, totalmente automatizadas.
- b) Fábricas que fazem uso de equipamentos controlados por processadores de comando numérico.
- c) Fábricas que fazem uso de equipamentos conectados em nuvem, robôs colaborativos e comunicação por meio digital (sem papel).
- d) Fábricas sustentáveis, que produzem menores impactos ambientais e utilizam fontes de energia alternativas.
- e) Fábricas que adotam as mais modernas técnicas de administração e controle da qualidade, garantindo maior satisfação do cliente e retorno aos acionistas.

2. Leia atentamente as afirmações a seguir relacionadas ao processo de manufatura aditiva:

I - A construção de peças pelo processo de manufatura aditiva pode ser feita por meio da adição de finas camadas de polímero e exposição do material a uma fonte de luz UV, de acordo com um arquivo CAD.

II - A manufatura aditiva é utilizada apenas para a prototipagem de peças finais constituídas de materiais polímeros.

III - A manufatura aditiva permite a construção de peças com formatos que não poderiam ser executadas por ferramentas convencionais de fabricação. Assinale a alternativa a seguir que relaciona apenas as afirmações anteriores que são verdadeiras:

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) Apenas III.

3. Os processos de gestão da cadeia de suprimentos buscam obter o componente ou matéria-prima necessários, no tempo, lugar, quantidade, estado de conservação corretos, ao melhor custo possível.

Considere o conceito de gestão da cadeia de suprimentos do texto anterior

e o conceito de Indústria 4.0. Selecione a alternativa a seguir que contenha uma descrição correta sobre a relação entre esses dois conceitos.

- a) As ferramentas da Indústria 4.0 estão relacionadas apenas aos recursos de produção, não envolvendo o aspecto logístico das fábricas.
- b) As ferramentas da Indústria 4.0 estão relacionadas apenas aos aspectos logísticos da fábrica.
- c) As ferramentas da Indústria 4.0 facilitam o conceito de cadeia de suprimentos sugerido pela manufatura enxuta.
- d) A Indústria 4.0 forma silos de tecnologia e dificulta a integração da cadeia de suprimentos.
- e) A Indústria 4.0 favorece a verticalização da produção, reduzindo a cadeia de suprimentos.

Referências

ALBERT, Mark. **STEP NC—The End Of G-Codes?** 2006. Modern Machine Shop. Disponível em: <<http://www.mmsonline.com/articles/step-nc-the-end-of-g-codes>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; SOARES JÚNIOR, Luiz. Uma proposta para garantia da qualidade metrológica em peças de geometria complexa. Gestão da Produção, Operações e Sistemas. **Revista Gepros**, [s.l.], v. 3, n. 6, p. 147-168, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/767>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Y14.5**: Standards Dimensioning and Tolerancing Dimensioning and Tolerancing. [s.l.]: Asme, 2009.

AMNPO, Advanced Manufacturing National Program Office. **National Advanced Manufacturing Portal**. 2017. Disponível em: <<https://www.manufacturing.gov/>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

ASADOLLAHI-YAZDI, Elnaz; GARDAN, Julien; LAFON, Pascal. Integrated Design For Additive Manufacturing based on Skin-Skeleton Approach. **Procedia CIRP**. [S.l.], p. 217-222, maio 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117300720>>. Acesso em: 25 maio 2017.

BARBOSA, Rubens. Made in China em 2025: 'Made in China em 2025' Autossuficiência em tecnologia de ponta, subsidiada, tornará inviável a concorrência. **O Estadão**. São Paulo, p. 1-1, 28 maio 2017. Disponível em: <<http://opiniao.estadao.com.br/noticias/geral,made-in-china-em-2025,70001716537>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

BBC BRASIL (Org.). **Cientistas apostam nos 'co-bots', robôs que trabalham junto com humanos**. 2016. Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/geral-36424564>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

BERTI, Rodrigo de Mattos. **Implantação de um mes (sistema de execução de manufatura) em um ambiente de manufatura enxuta**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://www.grima.ufsc.br/dissert/DissertRodrigoMBerti.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

BHANDARKAR, Mangesh P. et al. Migrating from IGES to STEP: one to one translation of IGES drawing to STEP drafting data. **Computers In Industry**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 261-277, maio 2000. Elsevier BV. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/s0166-3615\(99\)00052-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0166-3615(99)00052-4)>. Acesso em: 14 set. 2017.

BLOOMBERG, L. P. (Ed.). **Company Overview of Sigmetrix, LLC**. 2017. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapid=11292813>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. **Design for assembly**: a designers handbook. Lowell: University Of Massachusetts, 1983. Technique Report, Department of Mechanical

Engineering.

BOOTHROYD, G.; POLI, C.; MARCH, L. **Handbook of feeding and oprating and orienting techniques for small parts**. Lowell: University Of Massachusetts, 1978. Technical Report, Mechanical engineering Department.

BÖSL, Dominik. **Hello Industrie 4.0**: Glossary. Disponível em: <<https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/documents/press/industry-4-0-glossary.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

BUSINESSWIRE. **PSA Group Signs a Strategic Partnership Letter of Intent With Divergent 3D, Charting a New Future of Dramatically More Efficient Automobile Manufacturing**. 2016. Disponível em: <<http://www.businesswire.com/news/home/20160915005409/en/PSA-Group-Signs-Strategic-Partnership-Letter-Intent>>. Acesso em: 4 set. 2017.

CANALTECH. **China quer construir um império de robôs para trabalhar em suas fábricas**. 2016. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/robotica/china-quer-construir-um-imperio-de-robos-para-trabalhar-em-suas-fabricas-63867/>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

CORRÊA, Carlos Alberto; CORRÊA, Henrique Luiz. **Administração de Produção e de Operações. Manufatura e Serviços. Uma Abordagem Estratégica**. São Paulo: Atlas, 2013. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

COSTA, Ricardo S. **Pontualidade total na produção sob encomenda**. 1996. 498 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1996.

ESKILANDER, Stephan. **Design for automatic Assembly**: A method for product design: DFA2. 2001. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Engenharia de Produção, Royal Institute Of Technology, Stockholm, 2001. Disponível em: <<http://rolflovgren.se/RL-MDH/Eskilander Doc thesis DFA2.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

EXAME. **Indústria 4.0 exigirá um novo profissional**. 2017. Estúdio ABC. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/industria-4-0-exigira-um-novo-profissional/>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

EXAME. **O que é a customização em massa — e o que ela não é**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/marketing/o-que-e-a-customizacao-em-massa-e-o-que-ela-nao-e-m0040294/>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

FACHINELLO, Tatiana; CUNHA, Gilberto Dias da. Uma Abordagem para a Gestão do Ciclo de Vida do Produto (PLM). In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 2004, Florianópolis. **Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Florianópolis: ABEPRO, 2004. p. 2893 - 20900. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP2004_Enesep0505_1963.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2017.

FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A. **The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation?** Oxford: University Of Oxford, 2013. 72 p. Disponível em: <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

HILLER, Jonathan D.; LIPSON, Hod. STL 2.0: a proposal for a universal multi-material additive manufacturing file format. In: Annual international solid freeform fabrication symposium - an additive manufacturing conference, 20., 2009, Ithaca. **Proceedings...** .

Austin: Laboratory For Freeform Fabrication And University Of Texas At Austin, 2009. p. 266 - 278. Disponível em: <<https://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/2009/2009-23-Hiller.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2017.

HYE, Nancy L.; WEMMERLÖV, Urban. Group Technology and Productivity. **Harvard Business Review**, [s.L.], v. 4, n. 4, p. 1-1, jul. 1984. Bimestral. Disponível em: <<https://hbr.org/1984/07/group-technology-and-productivity>>. Acesso em: 8 jul. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10218-1**: Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots. 2. ed. [s.L.]: ISO, 2011. 43 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TS 15066**: Robots and robotic devices - Collaborative robots. [s.L.]: ISO, 2016. 33 p.

JORNAL DA GLOBO. **Conecte**: realidade aumentada promete mudar sua visão do mundo. 2009. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/1056877/>>. Acesso em: 4 set. 2017.

KAGERMANN, Henning et al. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: Acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013. 82 p.

KARNIEL, Ariel; REICH, Yoram. **Managing the dynamics of new product development process**: A new lifecycle management paradigm. [s.L.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2011. 277 p.

KOROSSEC, Kirsten. This 3D Printing Startup Raised \$23 Million to Disrupt How Cars Are Made. **Fortune**. [s.L.], p. 1-1, jan. 2017. Disponível em: <<http://fortune.com/2017/01/25/3d-printed-car-divergent/>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

KRŽIČ, Primož; STOIC, Antun; KOPAČ, Janez. STEP-NC: A New Programming Code for the CNC Machines. **Strojniški Vestnik - Journal Of Mechanical Engineering**. [s.L.], p. 406-417. jun. 2009. Disponível em: <http://www.sv-jme.eu/scripts/download.php?file=/data/upload/2009/SV-6-09/7_Krzic_Kopac_zLp406_417.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2017.

KUO, T. et al. Design For Manufacture and Design For "X": concepts, applications and perspectives. **Computers and Industrial Engineering**, v. 41, n. 3, p. 241-260, 2001.

LI, Peng; HU, Tianliang; ZHANG, Chengrui. STEP-NC Compliant Intelligent Process Planning Module: Architecture and Knowledge Base. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 15, p. 834-839, 2011. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.155>>. Acesso em: 14 set. 2017.

MARDEGAN, Ronaldo; MARTINS, Vinicius; OLIVEIRA, João Fernando Gomes de. Estudo da integração entre sistemas SCADA, MES e ERP em empresas de manufatura discreta que utilizam processos de usinagem. In: Encontro nacional de engenharia de produção, 2003, Ouro Preto. **Anais Eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2003. p. 1-8. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0101_1570.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2017.

MEYER, Klaus E. China's Big Bid For Germany's Industry 4.0 Technology. **Forbes**. [s.i.], p. 1-1. 18 maio 2016. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/ceibs/2016/05/18/chinas-big-bid-for-germanys-industry-4-0-technology/#5f25ea295c16>>. Acesso em: 16

ago. 2017.

MEYER, Heiko; FUCHS, Franz; THIEL, Klaus. **Manufacturing execution systems, optimal design, planning and deployment**. New York. McGrawHill, 2009.

BELFIORE, Michael; BLOOMBERG BUSINESSWEEK (Org.). **Engineering software finally starts moving to the cloud**. 2017. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-02-09/engineering-software-finally-starts-moving-to-the-cloud>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

MICALOSA, George et al. Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces. **Sciencedirect**. [s.l.], p. 248-253. jan. 2015. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S2212827115008550/1-s2.0-S2212827115008550-main.pdf?_tid=66431b88-6767-11e7-9e4f-00000aacb35e&acdnat=1499908125_87981d417d0baf3c86d1bb1f9e6e2d8b>. Acesso em: 10 jul. 2017.

NAGEL, Roger N.; BRAITHWAITE, Walt W.; KENNICOTT, Philip R. **Initial graphics exchange specification IGES version 1.0**. Washington: National Bureau of Standards, 1980. Disponível em: <<https://archive.org/details/initialgraphicse8019nag>>. Acesso em: 24 jul. 2017.

NESS, Carol. Berkeley News. **Researchers develop a robot that folds towels**. 2010. Disponível em: <<http://news.berkeley.edu/2010/04/02/robot/>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

PALESTRA José Rizzo. Joinville: Opera Eventos, 2017. Son., color. Disponível em: <<https://youtu.be/G7gNL3eDiUE>>. Acesso em: 5 ago. 2017.

PORTER. David K. P.E. Crystal Engineering Corp. **Overview of Design for Overview of Design for Manufacturing and Assembly Manufacturing and Assembly (DFMA)**. Disponível em: <<http://www.calpoly.edu/~fowen/me428/Design%20for%20Manual%20Assembly%20Lecture%20Rev%204.pdf>> Acesso em 18 set. 2017.

PUNCH, Tech. **Top 5 3D Food Printers - Futuristic Kitchen Tools**. 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mnjNeoH0iG4>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

PWC. **Industry 4.0: Building the digital enterprise – India highlights**. 2016. Disponível em: <<https://www.pwc.in/assets/pdfs/publications/2016/industry-4-0-building-the-digital-enterprise.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2017.

SCHOLTEN, Bianca. **The road to integration: A Guide to Applying the ISA-95 Standard in Manufacturing**. Durham: Isa - Instrumentation, System And Automation Society, 2007.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2017. 159 p.

SHIH, Willy C.; LUDWIG, Helmuth. The Biggest Challenges of Data-Driven Manufacturing. **Harvard Business Review**, [s.l.], maio 2016. Mensal. Disponível em: <<https://hbr.org/2016/05/the-biggest-challenges-of-data-driven-manufacturing>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

SILVA, Cleide. Indústria instala 1,5 mil robôs por ano. **O Estadão**. São Paulo, 14 ago. 2017. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral/industria-instala-1-5-mil-robos-por-ano,70001935172>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

SILVA, Edson de A. et al. Uma proposta de arquitetura para robôs como um serviço

(RAAS). In: Simpósio brasileiro de redes de computadores e sistemas distribuídos, 34, 2016, Salvador. **Anais do Congresso**. Salvador: Sbrc, 2016. p. 22-31. Disponível em: <<http://sbrc2016.ufba.br/downloads/WoCCES/155156.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND - **US ARMY. AMCP 706-100: Engineering design handbook - design guidance for producibility**. Washington: Us Army, 1971. Disponível em: <www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/890839.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2017.

VIALLI, Andrea. Valor Econômico. **Indústria 4.0 vai usar menos energia**. 2016. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/4727441/industria-40-vai-usar-menos-energia>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

VIOLINO, Bob. **Robots in the cloud**: How robotics-as-a-service can help your business: Companies are now offering robotics-as-a-service to help customers with management tasks. 2017. Disponível em: <<http://www.zdnet.com/article/robots-in-the-cloud/>>. Acesso em: 1 maio 2017.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva**: Tecnologias e aplicações da impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017.

WAKIL, Sherif D. El. **Processes and Design for Manufacturing**. 2. ed. [s.l.]: Waveland Press, 2002. 614 p.

Anotações

[illegible]

Anotações

[illegible]

Anotações

[illegible]

Anotações

[illegible]

Anotações

[illegible]

Anotações

[illegible]

ISBN 978-85-522-0199-1



9 788552 201991 >