



NETLOG 2021

International Conference on Network
Enterprises & Logistics Management

Comparação entre o fluxo de produção na indústria automobilística convencional com o fluxo de produção da Indústria 4.0

BERTHOLINI, R.

CAMPOS, M.

SANTOS, Y.

CORUQUIERI, F.

PALMERI, N.L.

FSA – Centro Universitário Fundação Santo André

E-mail: richard.bertholini@gmail.com

Resumo

A indústria 4.0 promete revolucionar o modo de produção industrial. As novas tecnologias à disposição, como os sistemas ciberfísicos e internet das coisas, são recursos chave para o desenvolvimento de sistemas de produção mais eficientes, ágeis e flexíveis. Devido à importância desse tema, e especialmente por causa dos ganhos significativos que podem ser obtidos, muita pesquisa tem sido realizada em relação à Indústria 4.0. No entanto, toda a discussão tem sido feita em torno dos padrões tecnológicos a serem utilizados e das capacidades da aplicação da tecnologia, mas pouco tem sido pesquisado em relação aos passos necessários para a efetiva transformação da indústria atual em uma indústria inteligente. Esse artigo busca realizar uma comparação entre o fluxo de produção encontrado na indústria automobilística atual e um fluxo de produção amparado em tecnologias da Indústria 4.0. Para isso realizou-se uma investigação baseada na revisão literária de um modelo convencional de programação da produção para a fabricação de automóveis e uma programação baseada nos conceitos da indústria 4.0. O fluxo de produção atualmente encontrado nas indústrias automobilísticas é caracterizado por princípios de produção enxuta (*lean*), suportados por softwares de gestão e controle da produção tais como ERP, MRP, ASP. Nesse contexto, os desenvolvimentos da Indústria 4.0 podem potencializar os benefícios do sistema *lean* de produção, maximizando a eliminação de desperdícios e reduzindo os custos.

Palavras-chave. *Indústria 4.0, Indústria Automotiva, Fluxo de Produção, Cadeia de Valor.*

1 Introdução

A atividade industrial atual tem como característica principal a produção impulsionada pela concorrência global e por uma necessidade de desenvolver capacidades de adaptação rápida às solicitações de mercados que estão em contínua mudança (Dopico et al. 2016). Nesse cenário, para

São Paulo, 2 – 5 de maio de 2021

atingir esses requisitos que se tornam cada dia mais críticos, as indústrias têm buscado avanços constantes na tecnologia de produção, chegando hoje no conceito conhecido como Indústria 4.0 ou como a Quarta Revolução Industrial.

A evolução do desenvolvimento dos sistemas industriais de produção pode ser dividida em estágios que vão desde o trabalho manual e praticamente artesanal do começo do século XIX, até os sistemas inteligentes da Indústria 4.0. Esses estágios de evolução representam as quatro revoluções industriais, onde avanços tecnológicos permitiram a adoção de novas e mais eficientes formas de produção (Rojko 2017).

A primeira revolução industrial ocorreu no início do século XIX, com a introdução da métodos de geração de energia mecânica, através da utilização de máquinas a vapor, e a consequente mecanização do trabalho. A segunda revolução industrial foi movida pela eletrificação, que permitiu uma maior industrialização e o início efetivo da produção em massa. A terceira revolução industrial é caracterizada pela introdução da microeletrônica e automação, que permitiu a digitalização dos processos (Schwab 2017).

A indústria automobilística se desenvolveu no âmbito da segunda revolução industrial. Com o uso da eletricidade nos processos de fabricação, novos modelos produtivos foram desenvolvidos, culminando no avanço da produção em massa, estabelecido com sucesso no modelo Ford de produção. Durante a terceira revolução industrial, com a introdução de tecnologias de automação e o uso de sensores, houve um ganho de digitalização na indústria automobilística, e a produção passou a dispor de inúmeros dados que alimentam processos de controle. Foi possível desenvolver-se, a partir de então, diversos métodos de gestão da produção e controle da qualidade, como o consagrado modelo Toyota de produção enxuta (Cusumano 2020).

Se por um lado os sistemas de produção em massa convencionais não permitem qualquer flexibilidade na fabricação e nem a possibilidade de personalização dos produtos, os avanços da automação obtidos na terceira revolução industrial passaram a permitir algum nível de produção flexível, em relação à variedade dos produtos fabricada, mas não exatamente em relação a suas quantidades.

Finalmente, a quarta revolução industrial acontece com o desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação. Baseando-se em sistemas ciberfísicos dotados de automação inteligente, capazes de um controle descentralizado e de conectividade avançada, o conceito da indústria 4.0 utiliza-se da Internet das Coisas e combina coleta em tempo real e análise de quantidades massivas de dados para a criação de um ambiente de fábrica inteligente (Wang et al. 2016).

Essas novas tecnologias empregadas aos sistemas de produção industrial fomentam uma reorganização dos sistemas convencionais de automação hierárquica para um sistema de produção ciberfísico, auto-organizado, permitindo a realização de uma produção em massa de maneira flexível e personalizada, e garantindo ainda flexibilidade nas quantidades produzidas.

O desenvolvimento da indústria 4.0, além de ser uma consequência natural da introdução das novas tecnologias digitais, também está ligado ao fato de que muitas das oportunidades exploradas para garantir o aumento do lucro e da competitividade das indústrias convencionais já estão quase esgotadas e novos caminhos precisam ser encontrados. No caso da específico da indústria automobilística, os custos de produção foram diminuídos com a introdução da produção enxuta, adotando os conceitos *just-in-time*, e por meio da criação de cadeias internacionais de valor, transferindo a produção para países com menores custos de produção. Para conseguir melhorias adicionais aos sistemas de produção de automóveis, a indústria 4.0 apresenta uma perspectiva promissora (Rojko 2017).

O setor automobilístico é considerado um setor importante para conduzir o crescimento industrial e econômico de um país. A partir da acirrada competição global e a respectiva necessidade de se atingir maiores níveis de qualidade, ao mesmo tempo em que se promove a redução de custos e de prazos de entrega, as operações industriais foram tornando-se mais sofisticadas e mais complexas. Atualmente, é difícil imaginar o gerenciamento das operações de produção em uma indústria sem o uso de automação, software e sistemas de computador. No entanto, a complexidade cada vez maior dos sistemas intensivos de software usados na indústria de fabricação automotiva compete com a necessidade de fornecer processos com ferramentas simples e compreensíveis por humanos, juntamente com a criação de sistemas modulares e adaptáveis (Kannan et al. 2017). Além disso, para manter a competitividade no setor automotivo, as fábricas de hoje precisam amadurecer para adotar métodos de produção mais inteligentes e eficientes, reduzindo o desperdício de materiais e energia, por exemplo.

O objetivo deste trabalho é realizar uma comparação entre os fluxos de programação da produção no ambiente da indústria 4.0 e o fluxo de programação da produção observado em uma indústria automobilística convencional, dando ênfase à integração dos sistemas de recebimento e produção, de modo a permitir uma análise das possíveis oportunidades de melhoria.

2 Revisão da Literatura

Vários autores publicaram obras sobre os sistemas de produção consagrados na indústria automobilística e sobre as inovações desenvolvidas no âmbito da indústria 4.0. Por exemplo, Taiichi Ohno (1997) escreveu uma obra sobre o Sistema Toyota de Produção (STP). Creditado como o criador do sistema de produção just-in-time, Ohno descreve como o objetivo do sistema Toyota é reduzir o tempo de produção – desde o momento em que ocorre o pedido até a entrega do produto – através da eliminação de todas as atividades que não agregam valor. Na visão Toyota, todas essas atividades são desperdícios e devem ser completamente eliminados da produção.

Criado na década de 1970, o sistema Toyota pretendia competir com a indústria automobilística norte-americana, dominante naquele momento histórico após o declínio da indústria japonesa ao final da segunda guerra mundial. O sistema de produção norte-americano baseava-se no conceito de lote ótimo de produção. Ao trabalhar com grandes lotes de produção, as indústrias norte-americanas conseguiam ter boas eficiências pois essa estratégia compensaria os longos tempos de setup (Holweg e Oliver 2015).

Sem conseguir competir com essa estratégia, pois o Japão não tinha demanda suficiente para sustentar uma produção em lotes demasiadamente grandes, o STP precisou buscar vantagens competitivas através de outros meios, estruturando-se na busca da eliminação completa de perdas, baseando-se no sistema *just-in-time* (JIT) e na autonomia (Ghinato 1995). Na produção JIT, cada processo produtivo é alimentado com os itens certos, nas quantidades exatas, apenas no momento e local necessários. Evita-se assim a manutenção de estoques desnecessário e realização de trabalho antes do momento exigido. Autonomia significa criar um processo autônomo que inclua inspeção. Dessa forma, os defeitos são detectados no momento em que ocorrem, não se propagam e não geram retrabalhos.

O sistema Toyota de produção, ou sistema de produção enxuta, integra uma série de métodos e ferramentas voltados para a filosofia gerencial de eliminação completa dos desperdícios, de modo a reduzir os custos e, conseqüentemente, produzir maiores lucros. Dentro do contexto do STP, tudo o

que não cria valor é definido como um desperdício. Entre os principais desperdícios estão produção maior do que demandado, espera para trabalho, movimentação de pessoas e material, trabalho incorreto e retrabalho, correção de erros (Ghinato 1995).

Essa estratégia, que acabou ganhando a indústria como um todo, acabou se desenvolvendo em um conceito mais amplo, de cadeias de valor globais. Trata-se de uma fragmentação da cadeia produtiva em diversos locais e até países diferentes, de acordo com a conveniência. Dessa forma, cada peça, cada componente, pode ser produzido em um local ou país diferente, por um fornecedor especializado (Gereffi, Humphrey e Sturgeon 2005). Os sistemas de produção buscam foco sistemático nos indicadores-chave de desempenho (KPI, *key performance indicators*) de custo, qualidade e prazo de entrega, voltados às necessidades dos clientes.

A automação ou pelo menos a semiautomação da indústria deve ser considerada uma pré-condição para a implementação da indústria 4.0, considerada como o primeiro passo rumo ao sistema de produção 4.0. Isso não significa que toda a produção seja totalmente automatizada sem intervenção humana. Existem unidades fabris com produção mista, com uso de robô colaborativo auxiliando o trabalhador em atividades extenuantes ou repetitivas, proporcionando elevado nível de produtividade (Sacomano, J.B., Sátyro, W.C. 2018).

A Indústria 4.0 remete à ideia da quarta revolução industrial, que permitirá customizar a manufatura integrando os processos de produção e as tecnologias da informação. Embora existam diferentes definições de Indústria 4.0, elas compartilhavam premissas comuns, como o uso de internet (internet das coisas), flexibilidade de produção e virtualização do processo (Lin et al., 2018).

Dessa forma, a indústria 4.0 consiste não só na utilização de novas tecnologias, mas também uma expansão e desenvolvimento de novas estratégias de gestão. A implementação do conceito de fábrica inteligente requer ajustes nas estratégias de gestão atuais, investigação de novos modelos de negócios e também o desenvolvimento de novos processos (Wagner, Herrmann e Thiede 2017).

O termo Indústria 4.0 atende a uma ampla gama de conceitos, incluindo incrementos em mecanização e automação, digitalização, rede e miniaturização (Lin et al., 2018). Além disso, a Indústria 4.0 depende da integração de redes dinâmicas de criação de valor no que diz respeito à integração do sistema básico físico e do sistema de software com outros ramos e setores, e também, com outras indústrias e tipos de indústria. De acordo com o conceito da Indústria 4.0, pesquisa e inovação, arquitetura de referência, padronização e segurança de sistemas em rede são os fundamentos para implementar a infraestrutura da Indústria 4.0. Essa transformação pode ser possível fornecendo subestruturas adequadas suportadas por sensores, máquinas, locais de trabalho e sistemas de tecnologia da informação que estão se comunicando primeiro em uma única empresa e certamente com outros sistemas comunicativos. Esses tipos de sistemas chamados de sistemas físicos cibernéticos e a coordenação entre esses sistemas são fornecidos por protocolos e padrões baseados na Internet.

A principal tecnologia envolvida na indústria 4.0 são os sistemas ciberfísicos. Estes sistemas são o resultado de um ciclo fechado de comunicação e atuação entre um sensor baseado em um processo físico de aquisição de dados combinado com uma base de software para processamento dos dados e atuação de controle autônoma, em processos conectados através da internet. Segundo Wagner, Herrmann e Thiede (2017), o uso de sistemas ciberfísicos em uma fábrica inteligente é chamado de sistema de produção ciberfísico, e é baseado em elementos conectados de aquisição de dados,

processamento de dados, comunicação máquina-máquina (M2M) e interação homem-máquina (HMI). Nessa estrutura, é possível estabelecer um controle da produção autônomo e descentralizado.

3 Métodos

Esse trabalho pretende realizar uma discussão sobre as implicações da indústria 4.0 no contexto da indústria automobilística, realizando uma comparação entre um modelo convencional de programação da produção para a fabricação de automóveis e uma programação baseada nos conceitos da indústria 4.0. Trata-se de uma investigação, baseada na revisão literária de trabalhos já publicados sobre o tema e através da interpretação das informações levantadas.

Nessa investigação, a situação atual da indústria automobilística será considerada sob um ponto de vista social e tecnológico. Ou seja, sob uma perspectiva sociotécnica. As últimas décadas de produção industrial foram caracterizadas por ondas de produção enxuta e sistemas *lean* de gestão (Wagner, Herrmann e Thiede 2017). Como já dito, o conceito por trás da produção enxuta é a eliminação de desperdícios e de atividades que não agregam valor à operação, mas também manter tão simples quanto possível a execução dos processos e a operação e a manutenção dos equipamentos.

Dentro desses princípios, a indústria automobilística adotou sistemas de programação e execução da produção, suportados pela sistemática de recebimento EDI (*electronic data interchange*) e programação da produção através de ferramentas e softwares tais como ERP (*enterprise resource planning*), MRP I e II (*material requirement planning*) e APS (*advanced planning and scheduling*), no que se refere à produção convencional de automóveis.

A perspectiva sociotécnica deriva da compreensão de um sistema de produção como um sistema que compreende todas as funções técnicas e humanas e todas as interrelações complexas existentes entre os componentes humanos e componentes técnicos envolvidos. É uma abordagem baseada na teoria dos sistemas. Um sistema sociotécnico considera os vários subsistemas (humano, técnico, social e organizacional) conectados através de interações abertas entre si e o ambiente no qual interagem (Wagner, Herrmann e Thiede 2017).

Nessa linha, O ponto central da Indústria 4.0 são as fábricas inteligentes, onde as tecnologias da informação e internet das coisas (IoT, *internet of things*) possibilita a troca de informações entre pessoas, máquinas e até produtos. Através dessa conexão, a produção passará de um processo físico com suporte de TI, que é o estágio atual da indústria, para um sistema ciberfísico integrado de produção (Wagner, Herrmann e Thiede 2017). Esse passo representa uma total integração e conexão dos sensores de coleta, sistemas de análise de dados e tomada de decisão, e dos atuadores de controle.

Os conceitos referentes à indústria 4.0 e sua abordagem de implementar complexas soluções de TI para conectar máquinas, seres humanos e processos – como, por exemplo, a inclusão de sistemas ciberfísicos no processo produtivo como, por exemplo, sistema de abastecimento de fábrica feito por AVG (*automated guided vehicle*) onde as ordens de compras são geradas automaticamente através da gestão de demanda feita pelo sistema – pode criar um dilema entre a produção convencional e a produção inteligente do contexto indústria 4.0 (Wagner, Herrmann e Thiede 2017). Nesse cenário, a produção enxuta torna-se um pré-requisito para a implementação de uma fábrica inteligente ou uma consequência inevitável desta implementação.

Assim, a pesquisa dará ênfase à comparação entre sistemas convencionais de fabricação já dotados dos princípios *lean* e sistemas inteligentes no contexto da indústria 4.0. Essa escolha se justifica pois, ao passo que pequenas e médias indústrias têm dificuldade em adotar de maneira efetiva os princípios de fabricação enxuta, as indústrias automobilísticas, em sua maioria, já têm adotado com sucesso os sistemas *lean* de produção. Atenção especial será dada às contribuições que os sistemas ciberfísicos interconectados da indústria 4.0 podem trazer à produção enxuta de automóveis e quais são as principais lacunas existentes para a efetiva implementação de um sistema inteligente de produção.

Foge ao escopo desse trabalho fornecer maiores detalhes sobre o funcionamento das tecnologias e ferramentas envolvidas no âmbito da indústria 4.0 (tais como internet das coisas, big data, inteligência artificial, computação em nuvem, etc.) bem como sobre funcionamento dos fluxos de programação da produção em si. Por uma limitação de espaço, limita-se o escopo deste artigo à simples comparação dos sistemas produtivos com e sem a aplicação dos princípios da indústria 4.0.

4 Resultados e Discussão

Embora exista uma vasta produção acadêmica sobre as potencialidades da Indústria 4.0, a sua importância para a economia e potenciais impactos, e ainda discussões sobre quais os padrões tecnológicos a serem adotados, são poucas as publicações disponíveis sobre quais os passos que as empresas devem adotar para alcançar processos de fabricação inteligentes no contexto da Indústria 4.0 a partir de seu estágio atual de tecnologia e práticas industriais. Existe uma grande lacuna entre as atividades de promoção da Indústria 4.0 na teoria e as respostas práticas de implementação.

Segundo Kannan et al. (2017), a quarta revolução industrial, conhecida com Indústria 4.0, difere-se das outras por ser um fenômeno antecipadamente projetado, a priori, e não observado posteriormente. Essa característica permite às empresas não apenas se adequar e se ajustar, mas oferece também a oportunidade de ativamente moldar a tendência de evolução do setor produtivo. Além disso, a Indústria 4.0 oferece uma perspectiva de proporcionar um grande aumento na eficiência operacional das empresas, através da adoção de processos inteligentes e modelos novos de produção, causando um enorme impacto econômico positivo. Portanto, a Indústria 4.0 oferece possibilidades que precisam ser exploradas.

Do ponto de vista técnico e de padronização tecnológica, a International Society of Automation (ISA) estabeleceu padrões que descrevem a interface entre as operações de manufatura e as funções de controle junto com outras funções empresariais, ajudando a integrar a empresa e os sistemas de controle para que trabalhem juntos para produzir qualquer produto de manufatura com eficácia. Esse padrão define sobre as funções de um sistema de execução de manufatura (MES) e os dados trocados entre o sistema de planejamento de recursos empresariais (ERP) e sistemas de controle. De acordo com a ISA, um sistema de gerenciamento da produção deve:

- descrever com menos ambiguidade as necessidades dos usuários, clientes e outras partes interessadas;
- reduzir inconsistências e oferecer suporte ao tratamento dos requisitos;
- utilizar modelos como base para o teste do sistema, definindo explicitamente as relações entre os casos de teste e os requisitos;

- reduzir os esforços necessários para fazer mudanças no requisito durante a evolução dos pedidos, garantindo ainda que qualquer evolução de requisito atualizará o teste de acordo, de modo a fazer com que o sistema sempre atenda aos requisitos novos ou atualizados.

Segundo Kannan et al. (2017), existe uma evidente lacuna entre os requisitos suportados pelos sistemas de execução da produção utilizados atualmente pelas indústrias automotivas e os requisitos propostos pela *International Society of Automation* (ISA) nos padrões sobre os quais a indústria 4.0 tem sido desenvolvida. Essas lacunas geram não apenas desalinhamentos de requisitos, geram também, falta de conformidade das ferramentas de software existentes e padrões a serem adotados na indústria 4.0.

De acordo com as definições apresentadas nesse artigo, a Indústria 4.0 focaliza fortemente em um maior grau de digitalização da produção (suportado por soluções de TI) e conexão com o processo de desenvolvimento para melhorar a escalabilidade da produção e reduzir seus custos. Armengaud et al. (2017) sugerem um aprimoramento desta definição incluindo uma digitalização bidirecional de todo o ciclo de vida de desenvolvimento, incluindo as fases de uso e de serviço, apoiando assim a otimização global de todas as fases dentro do ciclo de vida e, finalmente, visando incluir maior valor agregado e redução de custos para clientes, facilitando ainda a integração mais eficiente de novas tecnologias.

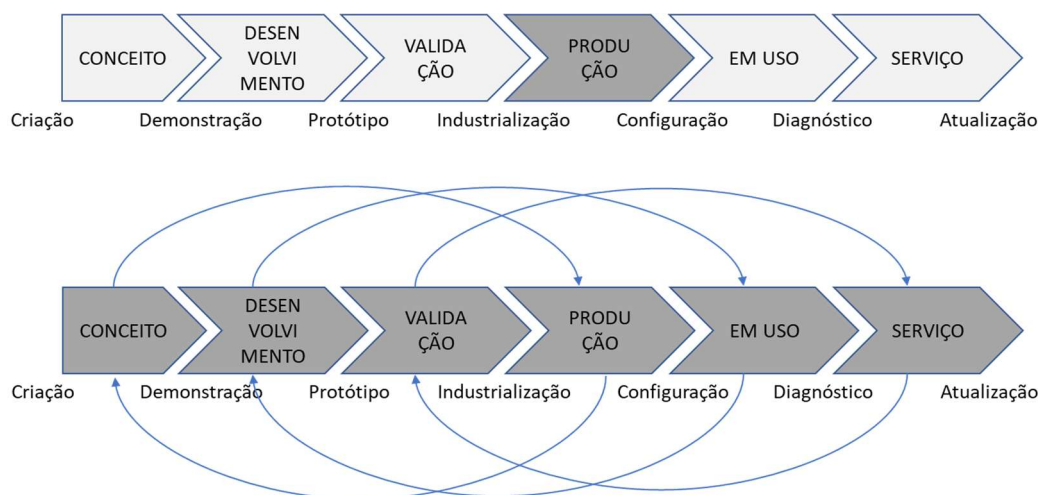


Figura 1. A produção sob uma perspectiva convencional e no âmbito da Indústria 4.0

A Figura 1 apresenta um fluxograma de ciclo de vida do produto sob uma perspectiva convencional, acima, e no âmbito da indústria 4.0, na parte de baixo. Sob uma perspectiva convencional, a produção é parte de um fluxo linear de etapas, tendo como entradas as informações validadas das etapas anteriores, que fornecem a documentação-mestre de trabalho, as instruções de produção, diagramas de estrutura do produto, e requisitos e especificações do produto. Esse volume de dados atualiza e alimenta os sistemas de produção e de gestão (como o ERP). A partir daí, as ferramentas disponíveis (EDI, MRP, APS, etc.) buscam otimizar os processos produtivos, reduzindo custos e prazos. No entanto, sua atuação é limitada ao processo produtivo e sempre sujeita a imperfeições nas interfaces homem-máquina-software.

Já no âmbito da indústria 4.0, o processo de produção encontra-se totalmente interconectado com os demais processos do ciclo de vida do produto. A iteração da produção com os processos de desenvolvimento anteriores permite levar a ciclos de inovação contínuos e mais eficazes entre o desenvolvimento e a produção do produto. Além disso, as informações coletadas durante o uso e o

serviço podem ser integradas a essa digitalização, cobrindo todos os aspectos do produto e, portanto, permitem compreender melhor o uso do cliente, bem como os possíveis potenciais de melhoria (Armengaud et al., 2017). Dessa forma, toda a cadeia de valor dos produtos pode ser aprimorada, com ganhos de eficiência e de flexibilidade.

Por fim, a transformação das estruturas de produção em sistemas ciberfísicos, com o uso de inteligência artificial, permite a melhoria dos processos internos de produção, com redução dos tempos de espera, propiciada pela tomada automática de decisão, e eliminação das falhas e desperdícios, por uma melhoria na interface entre máquinas e pessoas. Um exemplo dessa aplicação é a implantação de um *just-in-time* ciberfísico, onde o controle e balanceamento de material é realizado de maneira automática e em tempo real, através de tecnologias da Indústria 4.0, onde uma comunicação entre máquinas (machine-to-machine) substitui os tradicionais cartões Kanban. Essa comunicação em tempo real cria um fluxo de informações contínuo entre ordens de produção, recebimentos de material, estoque e consumo, além de gerar ordens de compra automáticas aos fornecedores exatamente no tempo necessário. O resultado é um fluxo de produção fluido, enxuto, e sem falhas.

Para uma adaptação bem-sucedida do sistema à Indústria 4.0, três características devem ser levadas em consideração, segundo Wang et al. (2016). Essas características são: (1) integração horizontal por meio de cadeias de valor, (2) integração vertical e rede de sistemas de manufatura ou serviços e (3) engenharia de ponta a ponta da cadeia de valor como um todo.

5 Conclusões

A Indústria 4.0, entendida como a incorporação de sistemas ciberfísicos interconectados promovendo a digitalização ao longo de todo o ciclo de vida do produto, tem a capacidade de revolucionar a indústria. A indústria automobilística, pelo seu porte e potencial tecnológico, tem o perfil para ser uma das precursoras na adoção de métodos inteligentes de produção, contribuindo ainda mais para a redução de desperdícios e de custos, dentro de uma filosofia de produção enxuta.

As novas possibilidades trazidas pelas tecnologias da informação e comunicação, dentro do contexto da Indústria 4.0, podem potencializar os ambientes de produção enxuta. Isso inclui, por exemplo, a emissão de pedidos automatizados quando um depósito está quase vazio, potencializando a adoção de práticas de produção *just-in-time*, ou através da adoção de estratégias de manutenção preditiva para reduzir o tempo de inatividade.

Porém, os maiores ganhos que podem ser obtidos pela incorporação das tecnologias da Indústria 4.0 ocorrem no sentido da digitalização em todo o ciclo de vida do produto, introduzindo modelos de negócios baseados em dados para apoiar a exploração das oportunidades geradas por essa digitalização na cadeia de abastecimento, garantindo maior eficiência e flexibilização na produção.

Considerando ainda a existência de cadeias de valor fragmentadas internacionalmente, um sistema de produção integrado e completamente interligado, conectando clientes e fornecedores espalhados geograficamente ao redor do globo, coletando e analisando dados em tempo real, pode representar muitos ganhos de eficiência e produtividade, não só dentro do ambiente industrial, mas em toda a cadeia produtiva.

Referências

- Armengaud, E., Sams, C., Von Falck, G., List, G., Kreiner, C., & Riel, A. (2017, September). Industry 4.0 as digitalization over the entire product lifecycle: Opportunities in the automotive domain. In *European Conference on Software Process Improvement* (pp. 334-351). Springer, Cham.
- Cusumano, M. A. (2020). *The Japanese automobile industry: Technology and management at Nissan and Toyota*. Brill.
- Dopico, M., Gomez, A., De la Fuente, D., García, N., Rosillo, R., & Puche, J. (2016). A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view. In *Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)* (p. 407). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of international political economy*, 12(1), 78-104.
- Ghinato, P. (1995). Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time. *Production*, 5(2), 169-189.
- Gruber, F. E. (2013, October). Industry 4.0: A best practice project of the automotive industry. In *IFIP International Conference on Digital Product and Process Development Systems* (pp. 36-40). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Holweg, M., & Oliver, N. (2015). *Crisis, resilience and survival: Lessons from the global auto industry*. Cambridge University Press.
- Kannan, S. M., Suri, K., Cadavid, J., Barosan, I., Van Den Brand, M., Alferez, M., & Gerard, S. (2017, April). Towards industry 4.0: Gap analysis between current automotive MES and industry standards using model-based requirement engineering. In *2017 IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW)* (pp. 29-35). IEEE.
- Lin, D., Lee, C. K., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry. *Industrial Management & Data Systems*.
- Moica, S., Ganzarain, J., Ibarra, D., & Ferencz, P. (2018, March). Change made in shop floor management to transform a conventional production system into an "Industry 4.0": Case studies in SME automotive production manufacturing. In *2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)* (pp. 51-56). IEEE.
- Ohno, T. (1997). O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala; trad. Cristina Schumacher.: Porto Alegre, RS: Artes Médicas.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 11(5), 77-90.
- Sacomano, J.B., Sátyro, W.C. Indústria 4.0: Conceitos e elementos formadores. In Sacomano, J.B. et al. (Orgs.) Indústria 4.0 conceitos e fundamentos.: São Paulo, SP: Blucher, 2018. cap. 2, p, 27-44
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Procedia Cirp*, 63, 125-131.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International journal of distributed sensor networks*, 12(1), 3159805.