



FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**LEAN, SIX SIGMA E INDÚSTRIA 4.0
ABORDAGENS COMPLEMENTARES PARA A EXCELÊNCIA OPERACIONAL**

**LEAN, SIX SIGMA AND INDUSTRY 4.0
A COMPLEMENTARY APPROACH TO OPERATIONAL EXCELLENCE**

Osmar Candido Marinho Filho¹

Jorge Antonio Giles Ferrer²

Thiago Tadeu Amici³

RESUMO

Frequentemente associada a modelos de gestão consagrados, a expressão Indústria 4.0 ganhou força no mercado e é caracterizada pelo desenvolvimento de uma série de soluções inovadoras que promovem o aumento de agregação de valor, produtividade, segurança e qualidade nos processos. Em função dos objetivos semelhantes aos do Lean e do Seis Sigma, muito tem se discutido sobre como esses modelos poderão coexistir. Questiona-se se o pacote de novas tecnologias relacionadas à quarta revolução industrial irá garantir por si só o sucesso da “fábrica do futuro”, tornando obsoletos ou desnecessários os esforços de melhoria contínua usualmente associados ao Lean ou os estudos estatísticos e ferramentas da qualidade empregados pelo Seis Sigma. Utilizando o suporte de revisão bibliográfica e a apresentação de exemplos reais extraídos da indústria automotiva, este artigo estabelecerá uma conexão precisa entre os pontos de convergência, potencial de integração, resultados esperados e limitações existentes quanto à aplicação individual das diferentes metodologias dedicadas à busca de excelência operacional. A compilação deste material fornecerá contribuições importantes aos entusiastas de Melhoria Contínua, destacando como a Indústria 4.0 poderá elevar os resultados do Lean a um novo patamar, além de explorar como a lógica de análise de dados e os ciclos de melhoria contínua empregados pelo Seis Sigma poderão ser combinados à inteligência de sistemas avançados para gerar resultados mais rápidos, confiáveis e robustos.

¹ Engenheiro de Manufatura e Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: osmar.marinho@gmail.com

² Dr. em Engenharia Mecânica da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: jorge.ferrer@sp.senai.br

³ Mestre em Automação e Controle de Processos da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: thiago.amici@sp.senai.br

ABSTRACT

Frequently associated with Lean and Six Sigma, the expression Industry 4.0 became strong in market and is characterized by the development of a series of innovative solutions that focus at increasing added value, productivity and quality of processes. Due to similar objectives, much has been discussed about how these models can coexist. It is questioned if the package of new technologies that are in course are enough to ensure the success of the "factory of the future", making obsolete or unnecessary the successes of continuous improvement associated with Lean, as well as statistic studies and quality tools used by Six Sigma. Using bibliographical review support and the presentation of real examples from the automotive industry, this article will establish an accurate connection between points of convergence, integration potential, results achieved and limitations of the different technologies dedicated to the improve operational excellence. The compilation of this material will provide important contributions to Continuous Improvement enthusiasts, highlighting how Industry 4.0 can improve Lean results and drive them to a new level, as well as explore how data analysis and continuous improvement cycles used by Six Sigma can be combined with the intelligence of advanced systems to generate faster and more reliable results.

1 INTRODUÇÃO

Considerada uma estratégia de negócios de alto teor tecnológico, a expressão Indústria 4.0 foi introduzida na Alemanha e ganhou notoriedade global ao ser difundida por empresas e governos de diferentes países como a 4ª revolução industrial. Este conceito foi estabelecido em 2011 e envolve as principais inovações nos campos de Tecnologia da Automação (TA), Tecnologia da Informação (TI) e Manufatura Avançada.

De acordo com Figueiredo (2018), mais do que uma simples tendência, a Indústria 4.0 representa uma nova etapa histórica que se encontra em curso na evolução industrial. Além de não serem concorrentes, conceitos como o *Lean Thinking* e o Seis Sigma se encaixam perfeitamente nesse contexto. Essas expressões consistem em modelos de gestão consagrados que tem na eliminação de desperdícios os fundamentos de sua existência. Aplicadas por organizações de todo o mundo, ambas possuem uma extensa lista de lições aprendidas ao longo de anos de aplicação prática e podem contribuir para uma expansão consistente dos novos modelos de negócios que se encontram em desenvolvimento.

Os processos do futuro incorporarão mais tecnologia e poderão se tornar mais inteligentes, entretanto, ainda assim continuarão sendo processos e poderão ser otimizados. Este artigo tem o objetivo de esclarecer como a integração adequada das diferentes metodologias que visam a excelência operacional pode oferecer resultados expressivos e muito maiores do que a abordagem individualizada de cada uma delas.

Como objetivo adicional, este artigo também abordará os desafios e riscos associados ao uso não orientado de novas tecnologias. Adicionar uma máscara de automação a um fluxo ineficiente não irá torná-lo mais produtivo e ainda pode resultar em um aumento desnecessário de complexidade. Este assunto é pouco explorado pelos diversos *cases* já publicados sobre a Indústria 4.0, porém deve ser levado em consideração para evitar que iniciativas promissoras levem à uma simples automatização de desperdícios.

Para facilitar a interpretação de todo este conteúdo, o material a seguir será estruturado a partir das seguintes seções:

Seção 1 - Definições: Apresentação sintetizada dos conceitos, princípios e ferramentas utilizadas na busca pela excelência operacional;

Seção 2 - Sinergia: Avaliação do potencial de integração e benefícios de uma abordagem conjunta entre a Indústria 4.0, *Lean* e Seis Sigma;

Seção 3 - Pontos de atenção: Reflexão quanto ao uso precipitado de novas tecnologias e sequência de ações sugeridas para uma estratégia digital orientada;

Seção 4 - Estudo de caso MWM Motores: apresentação de uma *case* real de integração entre iniciativas *Lean* e tecnologias da Indústria 4.0;

Seção 5 - Conclusão: Análise dos resultados e reflexão sobre o futuro do *Lean* e do Seis Sigma em ambientes com alto teor tecnológico.

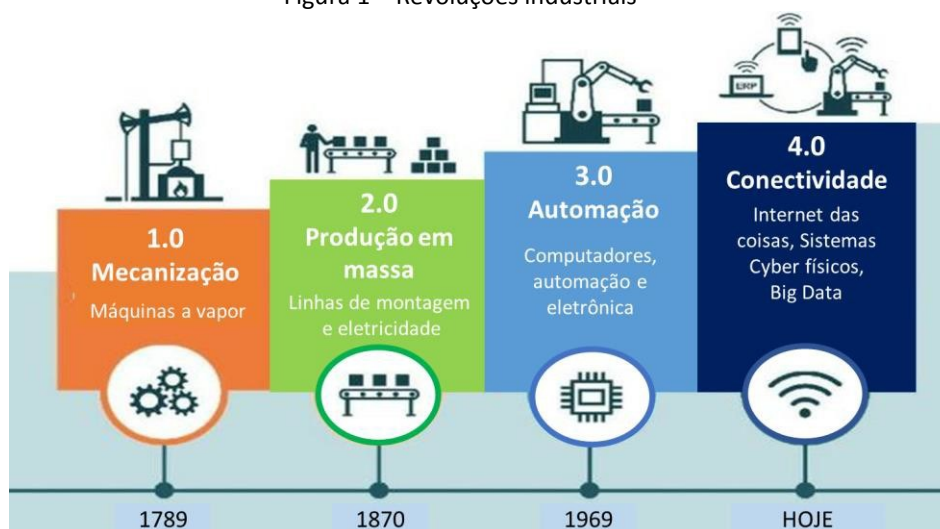
2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Indústria 4.0

A expressão Indústria 4.0 refere-se a uma estratégia de alta tecnologia definida pelo governo alemão durante a edição de 2011 da feira de Hannover. Baseada em uma série de discussões sobre a incorporação de novas tecnologias ao cotidiano da sociedade, este modelo ganhou notoriedade global ao ser rotulado como a 4ª revolução industrial.

Entende-se por revolução industrial cada período de transição na história da humanidade onde um determinado pacote de inovações atingiu tamanha proporção que chegou ao ponto de promover transformações socioeconômicas e mudanças nos padrões de produção e consumo. A figura 1 apresenta as principais características de todas as revoluções industriais que antecederam os conceitos da Indústria 4.0:

Figura 1 – Revoluções industriais



Fonte: Kotick Audy (2017) – Adaptado pelo autor

Estruturada pelas principais inovações nos campos de automação, tecnologia da informação e manufatura avançada, a Indústria 4.0 é suportada por nove pilares técnicos que atendem aos seguintes princípios:

Interoperabilidade – máquinas, dispositivos, sensores e pessoas com capacidade de se conectar e se comunicar entre si;

Virtualização – sistemas de informação que criam uma cópia virtual do mundo físico, favorecendo o monitoramento remoto através dos dados de sensores e apoiando os seres humanos na tomada de decisões e resolução de problemas;

Descentralização – sistemas físico-cibernéticos que passam a gerenciar seus ciclos de trabalho e executam tarefas da maneira mais autônoma possível;

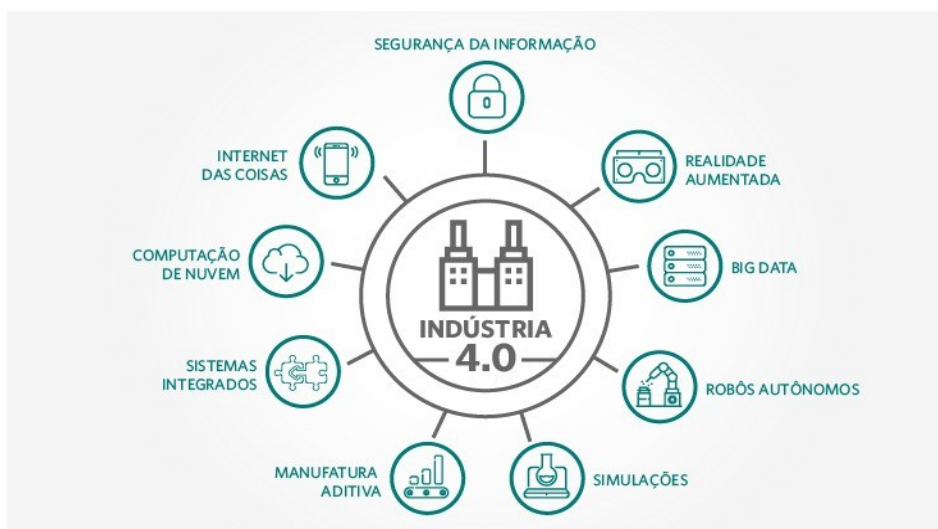
Modularidade – flexibilidade de produção em função da demanda. Utilização de recursos modulares que são adicionados e/ou retirados do processo a partir da necessidade real definida pelo mercado;

Tempo Real – Capacidade de coletar e tratar dados de forma instantânea, garantindo agilidade e a tomada de decisão qualificada;

Orientação a Serviços – Utilização de arquiteturas de software voltadas à prestação de serviços em todo o ciclo de vida dos produtos

As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 tem a finalidade de elevar o padrão das empresas ao status de “fábrica inteligente”. A figura 2 apresenta a nomenclatura das tecnologias envolvidas neste processo e na sequência serão apresentadas as principais características de cada uma delas.

Figura 2 – Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0



Fonte: LWT Sistemas (2018)

Realidade Aumentada: Consiste no enriquecimento do mundo real com objetos e informações virtuais, percebidos e manipulados pelo usuário, em tempo real, através de dispositivos tecnológicos.

Big Data: Corresponde a capacidade de coletar, organizar e analisar enormes quantidades de dados de fontes diversas, resultando na elaboração de modelos que ajudam a prever tendências e comportamentos dos processos.

Robôs Autônomos: Equipamentos sensorizados que recebem informações do ambiente e tem a capacidade de trabalhar com pouca ou nenhuma supervisão humana, agindo de forma inteligente, cooperativa e autônoma.

Simulações: Envolve a utilização de ferramentas e softwares de modelagem tridimensional que avaliam desde o produto até o processo produtivo e permitem

realizar análises para a validação de projetos ainda na fase de planejamento. Este recurso possibilita a realização de alterações no produto ou processo antes mesmo da sua execução física, resultando em grandes vantagens em termos de economia de tempo e recursos financeiros.

Manufatura Aditiva: Também chamada de impressão 3D, trata-se de um método de fabricação onde o material é adicionado em camadas ao invés de ser removido. Possibilita a produção de peças customizadas e apresenta baixa ou nenhuma restrição quanto à geometria do objeto desejado. Frequentemente associada ao uso de filamentos de engenharia, como Nylon, PC e Peek, esta tecnologia encontra-se em plena expansão e também conta com a possibilidade de uso de materiais metálicos para impressão mediante a fusão em leito de pó metálico.

Sistemas Integrados: As integrações horizontais e verticais dizem respeito a sistemas de TI consistentes e interligados dentro das empresas e fora delas, garantindo transparência da informação e agilidade na tomada de decisões.

Computação em Nuvem (Cloud Computing): Expressão que pode ser compreendida como um modo pelo qual os usuários acessam os recursos computacionais disponíveis por meio da Internet. Com capacidade praticamente “ilimitada”, esta tecnologia é considerada a inovação mais relevante dos sistemas de armazenamento.

Internet das Coisas (IoT): No contexto de Indústria 4.0 diversos objetos, denominados coisas, são estão conectadas à internet. Gerando dados que aumentam a capacidade de gestão do processo e a capacidade de tomada de decisão em tempo real.

Ciber-Segurança (Cybersecurity): Tecnologia que surge como consequência de outras tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, pois em um mundo altamente conectado e integrado, proteger dados e sistemas das ameaças cibernéticas torna-se um enorme desafio.

2.2 Lean Thinking

O *Lean Thinking*, ou mentalidade enxuta, consiste em um modelo de gestão que foi desenvolvido pela Toyota no período da segunda guerra mundial e expandido para empresas de todo o mundo após décadas de aplicação prática e resultados comprovados.

Segundo Womack (1996), o modelo se baseia em um conjunto de ferramentas de fácil implementação que promovem a eliminação sistemática de desperdícios e contribuem para o aumento da produtividade e qualidade dos processos. O quadro 1 fornece uma visão geral de uma série de metodologias consolidadas que tem suas origens associadas à mentalidade Lean:

Quadro 1 - Exemplos de técnicas/conceitos usualmente associados ao Lean

Just in Time	Kanban	5S
Jidoka	Sistema Puxado	Trabalho padronizado
Kaizen	TPM	Gestão Visual
Qualidade na fonte	Mapa do fluxo de valor	Troca rápida de ferramentas
Poka Yoke	OEE	7 desperdícios
Heijunka	Hoshin Kanri	Shop Floor Management

Fonte: Autor

Assim como na Indústria 4.0, as ferramentas recomendadas pelo *Lean* também são direcionadas por um conjunto de princípios:

Especificar qual o valor para o cliente: classificando o que agrega valor, o que não agrega valor, mas é necessário e o que é desperdício em um processo;

Enxergar a cadeia de valor: tornando evidente os pontos com maior taxa de desperdícios e consequentemente, maior oportunidade de melhoria;

Criar fluxo contínuo entre operações: fazendo com que o produto final chegue ao cliente mais rapidamente, sem interrupções e sem geração de estoques intermediários que representam um desperdício;

Sincronizar a produção com a procura real: fazendo com que a necessidade do cliente final “puxe” os produtos ao longo da cadeia de valor. Dessa forma a produção é realizada em função da real necessidade e não baseada em estimativas de demanda.

Procurar a perfeição: melhorando continuamente processos, materiais, ferramentas, equipamentos e mão de obra por meio da capacitação;

Apesar da vasta literatura e de todas as ferramentas e princípios envolvidos, a implementação bem-sucedida do *Lean* vai muito além da simples otimização de problemas pontuais e está associada a uma verdadeira transformação cultural que procura despertar nas pessoas o *mindset* de melhoria contínua, garantindo a atuação sistêmica na busca pela eliminação de desperdícios.

2.3 Seis Sigma

Também associada a melhoria contínua, essa metodologia foca na eliminação de não conformidades através da utilização intensiva de ferramentas da qualidade e técnicas estatísticas que permitem a previsão de comportamento dos processos. O modelo ganhou evidência na década de 80 e apresenta resultados expressivos em termos redução de custos, otimização de produtos e processos e aumento da satisfação do cliente.

Empresas como Motorola, GE e IBM são consideradas pioneiras na aplicação bem-sucedida desta técnica. A metodologia é inspirada no ciclo de melhoria contínua PDCA (*Plan- Do-Check-Act*) e faz uso de dois ciclos próprios com objetivos distintos:

Ciclo DMAIC: *Define* (definir), *measure* (medir), *analyze* (analisar), *improve* (melhorar) e *control* (controlar): Utilizado para a análise e otimização de processos já existentes.

Ciclo DMADV: *Define* (definir), *measure* (medir), *analyze* (analisar), *Design* (desenhar) e *Verify* (Verificar). Destinado ao desenvolvimento de novos produtos e/ou processos

2.4 Sinergia

Em termos gerais, todas as metodologias associadas à busca de excelência operacional são orientadas pelos mesmos objetivos: eliminação de desperdícios, aumento de agregação de valor e aumento na satisfação dos clientes. Além de não serem concorrentes, as diferentes técnicas utilizadas pelo mercado podem ser muito poderosas quando aplicadas em conjunto uma vez que as características específicas de cada uma delas normalmente complementam os *gaps* existentes nas outras.

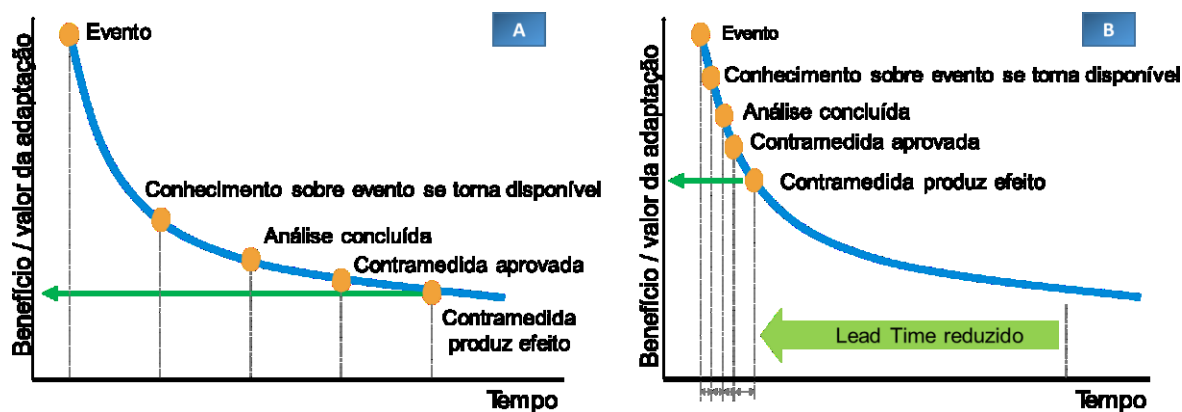
Para destacar este potencial de integração, a seguir será apresentado como os avanços tecnológicos da Indústria 4.0 contribuirão para elevar os resultados do *Lean* a um novo patamar de excelência e utilizarão o embasamento do Seis Sigma para o desenvolvimento de uma das mais importantes tecnologias habilitadoras: o *Big Data*.

2.5 Indústria 4.0 x Lean Thinking

No contexto de melhoria contínua, a Indústria 4.0 nos fornece uma nova perspectiva quanto aos esforços para disseminação do Lean. As novas tecnologias estão atingindo um nível de maturidade elevado e vem oferecendo novo oxigênio às formas de coletar dados, analisar resultados e implementar ações. Todos estes recursos contribuem para a expansão da caixa de ferramentas existente, resultando em novas maneiras de analisar problemas e identificar oportunidades.

De acordo com Schuh et al. (2017), a agilidade é uma característica estratégica que está se tornando cada vez importante para as empresas de sucesso. Quanto mais rápido uma organização puder se adaptar a eventos aleatórios, maiores são os benefícios dessa adaptação. Dentre os diversos recursos que a Indústria 4.0 oferece, se destacam as soluções para a coleta e tratativa de grandes volumes de dados. A figura 3 demonstra como a agilidade para o processamento da informação ajuda as empresas a reduzir drasticamente o tempo entre a identificação de uma oportunidade de melhoria e a definição de uma resposta apropriada.

Figura 3 – A: Demonstração de como o atraso na tomada de decisões minimiza o impacto das soluções implementadas / B: Demonstração de como a agilidade na tomada de decisões intensifica o valor do benefício obtido.



Fonte: Schuh et al. (2017)

Além de contribuir com a agilidade, a evolução da Indústria 4.0 deve oferecer novas perspectivas para a utilização das técnicas *Lean* e também ser beneficiada por elas. O uso intensivo de tecnologia não mudará o fato de que um processo com alto grau de automação e conectividade ainda continuará sendo um processo, com entradas, saídas, consumo de recursos e sujeito a diversos eventos aleatórios que abrirão espaço para contínuas otimizações.

Os quadros 2 e 3 apresentam uma reflexão sobre como a Indústria 4.0 pode ser utilizada de maneira complementar ao *Lean*:

Quadro 2 - Princípios da Indústria 4.0 e sua sinergia com o *Lean*

Princípios Ind. 4.0	Sinergia com o LEAN
Interoperabilidade	Este conceito contribui para uma das essências da mentalidade <i>Lean</i> , que sempre buscou uma maior integração entre os departamentos de uma empresa e todo o seu fluxo valor, estimulando a visão sistêmica acima da capacidade de iniciativas pontuais
Virtualização	Desenvolver recursos para facilitar a gestão de processos também vai de encontro aos interesses do <i>Lean</i> , que é estruturado pelo desenvolvimento de soluções que resultem em maior transparência e eficiência dos processos
Descentralização	Empresas com cultura <i>Lean</i> consolidada já praticam este princípio naturalmente. O <i>Lean</i> estimulou a descentralização da tomada de decisões, permitindo que todos os níveis operacionais tenham a oportunidade de aprimorar seus processos. A descentralização da Indústria 4.0 avançará ainda mais nesse sentido, integrando os equipamentos no circuito de tomadas de decisão
Modularização	Este é outro princípio que fortalece o <i>Lean</i> . Na filosofia enxuta, quando mais simples, menos desperdício. E quanto mais flexível, mais capaz de se adaptar as necessidades de mudanças.
Tempo real	O <i>Lean</i> sempre estimulou o levantamento de dados atualizados e a preocupação com históricos obsoletos dos sistemas. A capacidade de processamento em tempo real trará agilidade e maior confiabilidade aos processos
Orientação a serviços	Neste ponto encontra-se a essência do <i>Lean</i> : Prestação de serviços orientados às expectativas do cliente. Com a Indústria 4.0, a capacidade de interação com clientes e fornecedores deve aumentar de forma exponencial

Fonte: Auctus Consulting (2018) – Adaptado pelo Autor

Quadro 3 – Princípios do Lean e as contribuições da Indústria 4.0

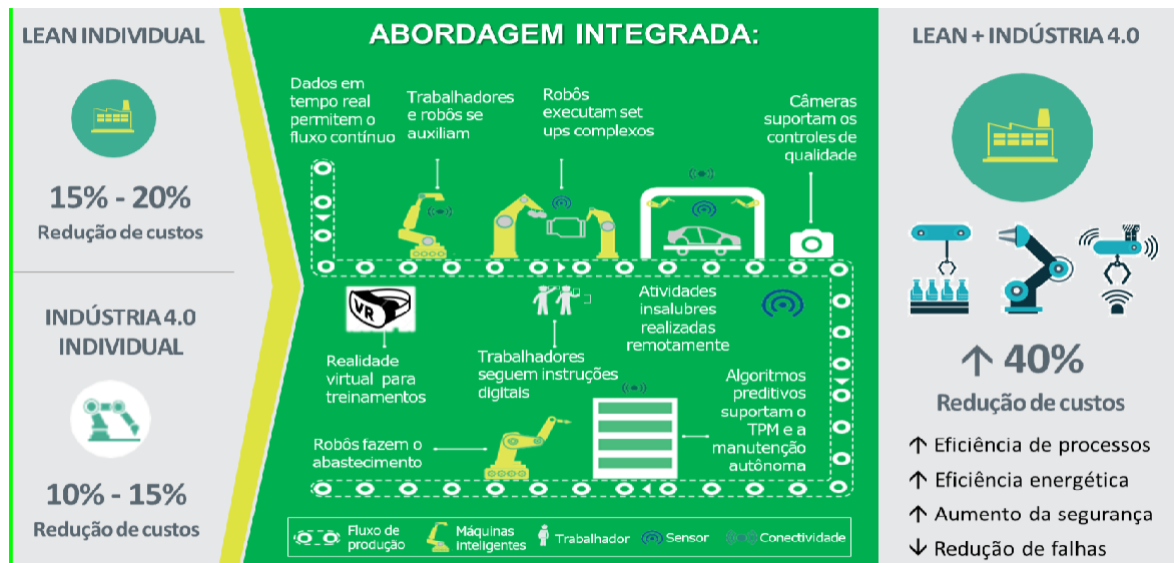
Princípios do Lean	Contribuições da Indústria 4.0
Especificação de valor para o cliente	<ul style="list-style-type: none"> - A integração de sistemas entre clientes e fornecedores permitirá a comunicação regular sobre a concepção do produto e um feedback detalhado sobre as condições de uso e funcionamento. - A utilização de Impressão 3D permitirá o rápido desenvolvimento de protótipos de baixo custo e a disponibilização de produtos altamente customizáveis, com concepções difíceis de serem obtidas por meio de outros processos.
Definição e implementação de uma cadeia de valor sem desperdício	<ul style="list-style-type: none"> - A utilização de simulação 3D para a validação de produtos e processos reduzirá o Lead Time e a taxa de falhas associadas às fases de desenvolvimento. - Possibilidade de monitoramento dos fluxos logísticos e maior rastreabilidade dos materiais com informações em tempo real em diferentes etapas do processo. - Documentação digital dos processos. - Utilização de realidade aumentada e virtual para a realização de treinamentos e simulação de diferentes cenários de processo antes da implementação física. - Utilização de robôs colaborativos, para execução de tarefas repetitivas, insalubres ou ergonomicamente inseguras.
Criação de fluxo contínuo entre operações	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de simulação 3D para definir as melhores sequências e rotas de produção e, conseqüentemente qual o melhor layout. - Gestão da sequência e tamanho de lotes de produção em função de datas de entrega desejadas, carga, desempenho dos processos, etc. - Reconhecimento automático do produto a fabricar, com auto-setup de programas e abastecimento de materiais e componentes. - Conexão entre departamentos com <i>AMR (Autonomous Mobile Robots)</i> capazes de mapear o percurso e tomar decisões autônomas para garantir entregas sem interrupção.
Sincronização da produção com procura	<ul style="list-style-type: none"> - Antecipação aos desvios a partir da comunicação em tempo real entre clientes e fornecedores. - Rastreamento das alterações de demanda e atualização <i>on line</i> dos sinais de Kanban eletrônico (e-Kanban). - Utilização de tecnologia RFID e/ou dispositivos IoT no produto e nas embalagens para controlar o fluxo de materiais em tempo real: quantidade, localização, itens críticos, etc.
Melhoria contínua dos processos:	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização dos dados de controle de desempenho proporcionados pelos sistemas MES (<i>Manufacturing Execution System</i>) e WMS (<i>Warehouse Management System</i>) para a gestão operacional e definição de ações de melhoria.

Fonte: Actio Consulting (2018) – Adaptado pelo autor

De acordo com uma pesquisa internacional conduzida pela *Boston Consulting Group* (2017), a integração entre o *Lean* e a Indústria 4.0 oferecerá benefícios expressivos e resultará em ganhos muito maiores do que a abordagem individualizada desses conceitos. Enquanto os esforços do *Lean* apresentarão dificuldade para acompanhar o ritmo das novas tecnologias, os avanços da Indústria 4.0 precisarão ser continuamente associados a otimizações prévias de fluxo a fim de evitar uma sequência de gastos desnecessários e viabilizar a tomada de decisões alinhadas com as estratégias do negócio.

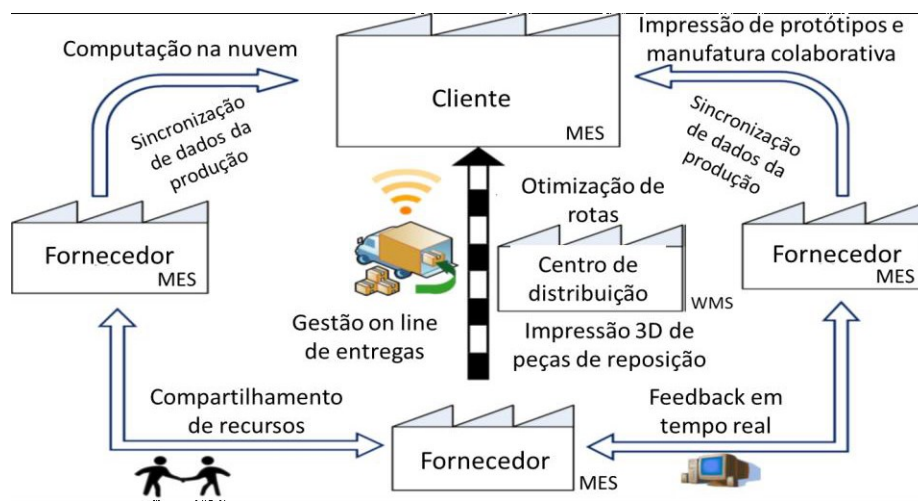
As figuras 4 e 5 apresentam mais alguns exemplos de como esta integração de conceitos pode oferecer inúmeros benefícios aos fluxos internos e externos de uma empresa.

Figura 4 – Lean e Indústria 4.0 combinados para a otimização de um fluxo interno.



Fonte: Boston Consulting Group (2017) – Adaptado pelo autor

Figura 5 – Tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas à otimização do fluxo de valor



Fonte: Sanders (2016) – Adaptado pelo autor

Explorada a relação entre *Lean* e Indústria 4.0, será abordado na sequência como as tecnologias e estratégias digitais podem ser associadas ao Seis Sigma.

2.6 Indústria 4.0 x Seis sigma

Para entender melhor a relação entre Seis Sigma e a Indústria 4.0 é importante retomar uma das tecnologias habilitadoras que já foi apresentada neste artigo: o *Big Data*.

Big data é uma expressão que define a capacidade de coletar, armazenar e processar um grande volume de dados, resultando na elaboração de modelos que ajudam a prever tendências e comportamentos dos processos. Com o uso adequado

deste recurso é possível reduzir custos, economizar tempo, desenvolver novos produtos, otimizar operações e tomar decisões mais inteligentes.

Segundo Goswani (2018), mais de 60% das organizações veem um uso maior e mais incisivo de dados como uma poderosa vantagem competitiva. Por outro lado, menos de um quarto das organizações se vê como um forte usuário de dados.

A abordagem utilizada por programas Seis Sigma bem-sucedidos fornece historicamente uma série de experiências sobre a análise de grandes volumes de informações, por esse motivo, existe uma sinergia mais específica entre esta metodologia e o *Big Data* conforme apresentado no quadro 4:

Quadro 4 - Semelhanças entre Seis Sigma e Big Data

Crítérios	Seis Sigma	Big Data
Qual o objetivo?	Utilizar dados para eliminar defeitos e melhorar processos	Obter conhecimento profundo sobre os processos
Quais as ferramentas utilizadas?	Ferramentas estatísticas	Mineração de dados e ferramentas analíticas
Quem implementa?	Especialistas em estatística	Cientistas de dados

Fonte: IBM Electronics (2018)

Os avanços com o *Big Data* e o uso de inteligência artificial devem impulsionar a prática do Seis Sigma a partir da introdução de técnicas avançadas para análise de dados analíticos que proporcionarão um nível de conhecimento do processo que antes seria impossível ou extremamente complexo utilizando apenas as ferramentas estatísticas convencionais.

Apesar da tecnologia envolvida, a implementação bem-sucedida do *Big Data* também deverá contar com alguns aprendizados já obtidos pelo Seis Sigma. Em uma recente lista das dez empresas de *Big Data* mais inovadoras do mundo apenas duas grandes organizações foram listadas: GE e IBM, ambas reconhecidas internacionalmente por sua cultura fortemente associada ao Seis Sigma, com processos, estruturas organizacionais e métricas desenhadas de modo a apoiar a filosofia de “zero defeitos”. A figura 6 apresenta a lista completa das empresas citadas:

Figura 6 – As 10 empresas mais inovadoras do mundo que operaram com *Big Data*

BIG DATA				
01 GE	02 KAGGLE	03 AYASDI	04 IBM	05 MOUNT SINAI
06 THE WEATHER CO	07 KNEWTON	08 SPLUNK	09 GNIP	10 EVOLV

Fonte: IBM Electronics (2014) – Adaptado pelo autor

Assim como ocorre no Seis Sigma, o Big Data também é estruturado por um ciclo de etapas que tem por objetivo o tratamento adequado de grandes volumes de dados. Este ciclo foi desenvolvido por um grupo de empresas de diferentes segmentos e denominado CRISP- DM, *Cross-Industry Standard Process for Data Mining* (Processo padrão entre indústrias para mineração de dados). Ao todo são seis etapas de análises,

conforme definido a seguir:

CRISP-DM 1 Compreensão do Negócio, CRISP-DM 2 Compreensão dos Dados, CRISP-DM 3 Preparação dos Dados, CRISP-DM 4 Modelagem, CRISP-DM 5 Avaliação, CRISP-DM 6 Implementação.

O quadro 5 estabelece uma conexão entre o ciclo DMAIC e as atividades de cada fase do CRISP-DM.

Quadro 5 - Comparativo entre os ciclos DMAIC e CRISP-DM

DMAIC		CRISP-DM		
Fase	Descrição	Fase	Atividade	Benefício
Definir	Definir os objetivos do projeto e requisitos de negócios	CRISP DM-1	Compreensão do Negócio para resolver problemas	Mapear o potencial de ganho com o uso de <i>Data Mining</i>
Medir	Medir o processo para determinar o desempenho	CRISP DM-2 CRISP DM-3	Manipulação, organização, seleção e limpeza dos dados	Manipulação eficiente dos dados para melhoria de sua qualidade
Analisar	Análise exploratória	CRISP DM-4	Método de visualização utilizando análises exploratórias interativas	Fácil de explorar grande número de variáveis e análises gráficas interativas
	Algumas variáveis vitais		Descobrir as poucas variáveis vitais usando árvore de decisão, regressão etc.	Soluções robustas para hipóteses estatísticas, usando métodos objetivos.
	Modelagem		Utilização de regressão, árvore de decisão, redes neurais modelo complexos e relações não lineares	Fácil de desenvolver, mais precisos e modelos generalistas
Melhorar	Otimização	CRISP DM-5	Encontrar os limites de capacidade dos processos através do algoritmo de algoritmos	Os limites ótimos da capacidade são especificados pelo algoritmo.
			Simulação	Especificação da capacidade ideal do processo sem experimento
Controlar	Controlar o desempenho do processo melhorado	CRISP DM-6	Implementação do modelo da Mineração de dados para o processo otimizado	Automação e integração do monitoramento das saídas e controle das variáveis

Fonte: Portfolio Sigma (2018) – Adaptado pelo autor

Os dados são considerados centrais para o modo como as empresas operarão no futuro, entretanto, no caso do Big Data existe uma preocupação pelo fato de que há uma enorme escassez de cientistas de dados. Quando confrontados com uma crise de recursos semelhante no passado, os implementadores do Seis Sigma inovaram e criaram seu próprio exército de especialistas em estatística que dirigiram o programa a partir da multiplicação estruturada de conhecimento e atuação prática. Este método ajudou a democratizar o conceito pelas organizações e contribuiu para uma aceitação da técnica com muito mais rapidez. Considerando que compartilhar conhecimento é muito mais

fácil hoje do que costumava ser até alguns anos atrás, avaliar a possibilidade de um programa de capacitação semelhante ao do Seis Sigma para o Big Data é uma estratégia que pode ser adotada.

3 CUIDADOS QUANTO AO USO DESORIENTADO DE TECNOLOGIA

Ao relacionar o *Lean* e o Seis Sigma ao contexto da Indústria 4.0 é claro que não se pode pensar na tecnologia pela tecnologia. Não se deve automatizar desperdícios! Instalar sensores e robôs em processos repletos de atividades desnecessárias não resultará em benefícios e ainda pode gerar o risco de aumento nos custos operacionais e perda de flexibilidade nas empresas.

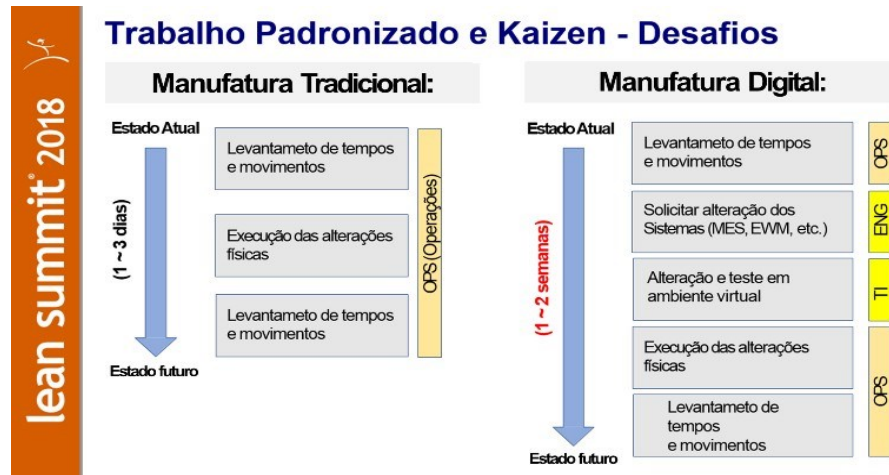
Em um *case* real apresentado recentemente ao mercado, uma grande empresa do setor automotivo destacou como a incorporação de novas tecnologias pode limitar a flexibilidade de um processo quando os devidos cuidados não forem observados. As figuras 7 e 8 exploram como a simples reorganização de peças em um fluxo de montagem teve o seu *Lead Time* comprometido em função de uma estratégia de automação que foi implementada na linha:

Figura 7 – Representação de uma atividade de melhoria tipicamente implementada pelo Lean.



Fonte: Jaguar-Land Rover, Lean Institute (2018)

Figura 8 – Detalhamento de como a atividade apresentada na figura 7 ficou mais burocrática após a automação em massa do processo.

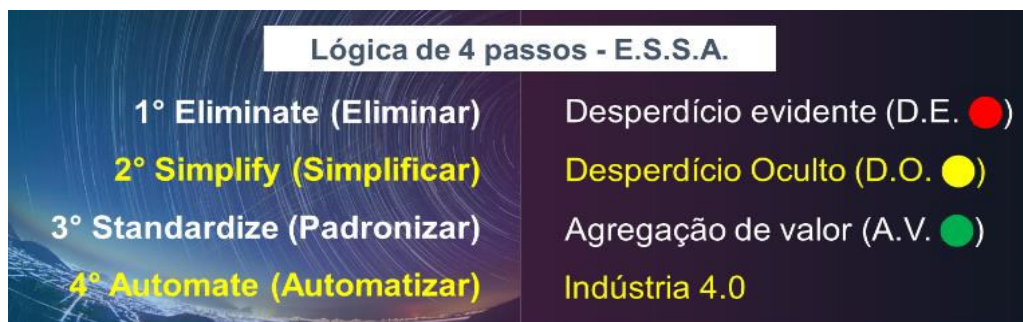


Fonte: Jaguar-Land Rover, Lean Institute (2018)

Ainda no segmento automotivo, é possível citar outro exemplo de uma distribuidora de peças que declarou ter voltado atrás em sua decisão de sensorizar 100% das posições Pallet em um centro de distribuição. A necessidade de reposicionar uma grande quantidade de cabos e dispositivos eletrônicos a cada mudança de layout estava prejudicando a eficiência do negócio, dessa forma, para não perder em flexibilidade a empresa optou pela redefinição de algumas áreas de “estoque convencional”, com prateleiras tradicionais e abastecimento orientado por cartões de sinalização manual (Kanban).

Para evitar o uso precipitado e, muitas vezes, de alto custo de novas tecnologias, a aplicação da técnica ESSA é recomendada: *Eliminate, Simplify, Standardize, Automate* (Eliminar, Simplificar, Padronizar, Automatizar). O método é representado na figura 9 e consiste em uma análise orientada que reduz as chances de automatização desnecessária de atividades que possam ser apenas simplificadas ou, em alguns casos, completamente eliminadas.

Figura 9 – Detalhamento da técnica ESSA. Estímulo ao uso de técnicas Lean antes das etapas de automação



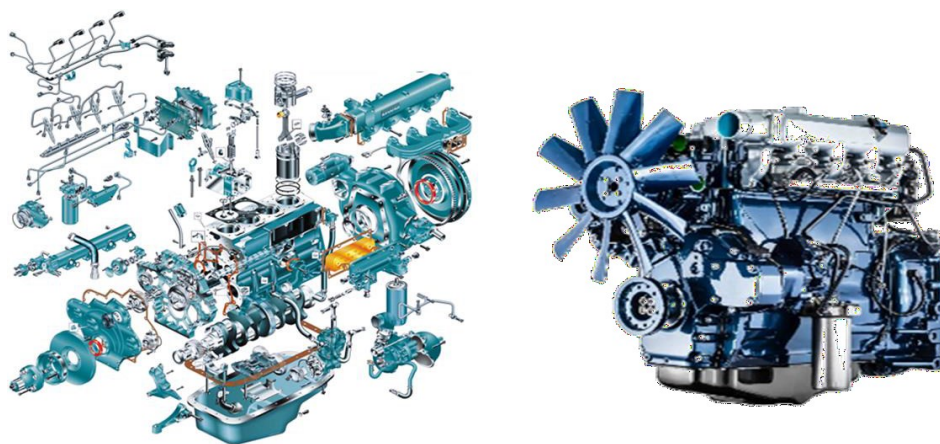
Fonte: Jaguar-Land Rover, Lean Institute (2018)

Para explorar melhor os benefícios do método ESSA, na sequência será apresentado um estudo de caso que demonstrará como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser utilizadas em sinergia e de maneira a complementar aos resultados do *Lean*.

4 ESTUDO DE CASO MWM MOTORES DIESEL

Com fábrica localizada a 65 anos no estado de São Paulo, a MWM é uma fabricante independente de motores Diesel que atua nos segmentos automotivo, industrial, marítimo e agrícola. O motor é um componente complexo e composto por diferentes *Part Numbers* com os mais variados tamanhos e formatos, conforme figura 10.

Figura 10 – Vista explodida e imagem de um motor Diesel da MWM



Fonte: Autor

Por atuar em um segmento de alta complexidade e possuir um extenso catálogo de aplicações direcionadas a clientes de todo o mundo, a MWM tem forte preocupação com a eficiência de seus processos e historicamente suporta o desenvolvimento de iniciativas associadas ao *Lean*, estimulando o uso de metodologias adequadas para garantir o fluxo contínuo, qualidade e alta produtividade dos processos, além de capacitar os seus colaboradores para atuar como verdadeiros caçadores de desperdícios.

Em meio às novidades tecnológicas e os diferentes recursos que vem sendo apresentados ao mercado, a empresa também tem avançado quanto à definição de estratégias digitais e a aplicação do método ESSA para garantir a adequada sinergia entre o *mindset* de melhoria contínua e o uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Um exemplo desta abordagem será apresentado a seguir por meio de um estudo de caso aplicado à Logística Interna da empresa. O processo em questão foi submetido ao uso intensivo de técnicas *Lean* que contribuíram para um salto expressivo de produtividade no fluxo de abastecimento de uma linha de montagem. Reduzidas as opções de otimização de fluxo, a implementação posterior de um robô autônomo contribuiu para um ganho adicional de produtividade e a melhoria em aspectos ergonômicos e inclusive comportamentais que não puderam ser 100% solucionados apenas com técnicas simples.

A figura 11 permite uma interpretação inicial do cenário em estudo: uma linha de montagem cujo ressuprimento de peças era realizado a partir de um almoxarifado central localizado a 320 metros de distância.

Figura 11. Planta 3D da MWM e representação da distância existente entre o almoxarifado de peças e a linha de montagem



Fonte: Autor

Totalmente realizado com o uso de empilhadeiras, o ressuprimento da linha de montagem apresentada na figura 11 era efetuado em lotes com base na previsão de consumo para os dias posteriores (D+1, D+2, etc). As mudanças de sequência produtiva são comuns nesse tipo de processo e a perda de performance relacionada a diversos eventos inesperados, resultava contínuas paradas de linha e no acúmulo de materiais em processo. A figura 12 ilustra este cenário.





Figura 12. Acúmulo de peças em paletes para a posterior distribuição ao lado das estações de trabalho.



Fonte: Autor

Em um processo nitidamente exposto a altas taxas de desperdício, a linha de trabalho definida para a melhoria deste fluxo pode ser observada na figura 13 e no detalhamento a seguir:

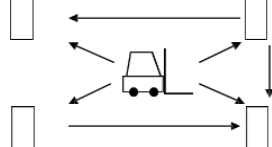
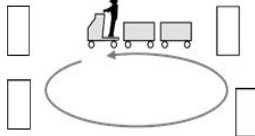
Figura 13. Sequência de ações implementadas para a otimização de um fluxo de abastecimento interno

Etapas	Ação	Conceito
1	Implementação de rotas de abastecimento e trabalho padronizado	
2	Implementação do método de Kitting	
3	Criação de um supermercado de peças próximo às regiões de consumo	
4	Implementação de um robô autônomo para encaminhar as peças do supermercado à linha	

Fonte: Autor

Etapa 1 - Rotas de abastecimento e trabalho padronizado: Segundo Liker (2006), a padronização é o ponto de partida para a melhoria contínua. A otimização inicial no ressuprimento de peças da MWM foi efetuada a partir da introdução das chamadas rotas de abastecimento, onde o processo deixou de ser realizado com base em previsões de demanda e passou a ser realizado com base no consumo real. Para sincronizar as atividades da logística ao fluxo de produção, uma frequência pré-definida de reposições e o dimensionamento adequado de estoques foi efetuada. As empilhadeiras do processo também foram substituídas por rebocadores. Os benefícios deste tipo de abordagem são detalhados pela Porsche Consulting (2013) de acordo com o quadro 6:

Quadro 6 - Comparativo entre o método de abastecimento tradicional e o uso de rotas de abastecimento.

Conceito tradicional	Rotas de abastecimento
	
<p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transportes unitários, muitas movimentações sem carga (40-45%) ▪ Abastecimento sem Takt ▪ Uso de empilhadeiras para o transporte ▪ Vias de movimentação largas ▪ Lotes grandes em GLT* ou embalagens metálicas ▪ Material empilhado no bordo de linha ▪ Não há separação entre as atividades que agregam valor e os desperdícios ▪ Estoques não dimensionados e má utilização da área 	<p>Características</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Agrupamento, redução das movimentações sem carga ▪ Abastecimento no takt da produção ▪ Uso de rebocadores para o transporte (sem levantamento) ▪ Vias de movimentação estreitas e de sentido único ▪ Lotes menores em KLT** ▪ Material em posições de acesso imediato ▪ Trabalho de acordo com o princípio cirurgião-enfermeira ▪ Redução da área ocupada pelos materiais em processo
<p>*GLT – Grossladungsträger – embalagem grande **KLT – Kleinladungsträger – embalagem pequena</p>	

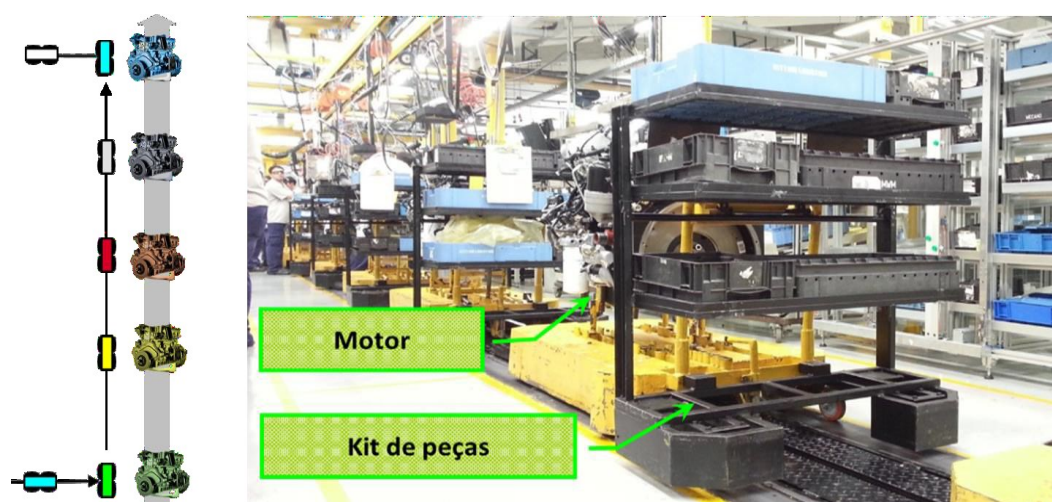
Fonte – Porsche Consulting

Etapa 2 – Método de Kitting: Implementadas as rotas de abastecimento, o desafio seguinte da MWM era reduzir a variedade de *Part Numbers* mantidos nas diversas

prateleiras que ficavam dispostas ao lado da linha montagem. Este objetivo foi alcançado com a implementação do método de *Kitting*, que consiste na separação de Kits de peças com as variedades e as quantidades exatas que serão utilizadas pelo processo. Com o uso deste método o material é armazenado em recipientes de fácil manuseio e transportado ao ponto de uso apenas minutos antes de se tornar realmente necessário.

Johansson (1990) destaca que a utilização de kits é adequada a operações que operam com fluxo contínuo e precisam de flexibilidade. Após a implementação deste conceito na MWM, a área ocupada na lateral da linha de montagem reduziu em quase 50%. As figuras 14 e 15 apresentam uma visão geral dos Kits implementados pela empresa e do impacto gerado sobre a gestão visual da linha.

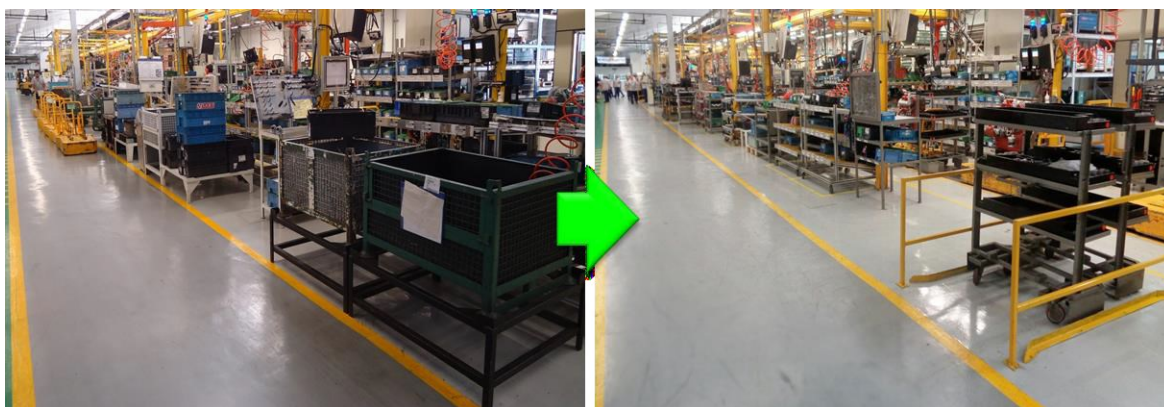
Figura 14. Carro KIT conectado a uma linha de montagem de motores Diesel. Cada Kit possui peças para um mesmo produto e se desloca junto à linha para fornecer o material necessário em cada estação de



trabalho.

Fonte: Autor

Figura 15. Comparativo entre o bordo da linha da montagem antes e depois da introdução dos Kits. Remoção de 49% das peças.

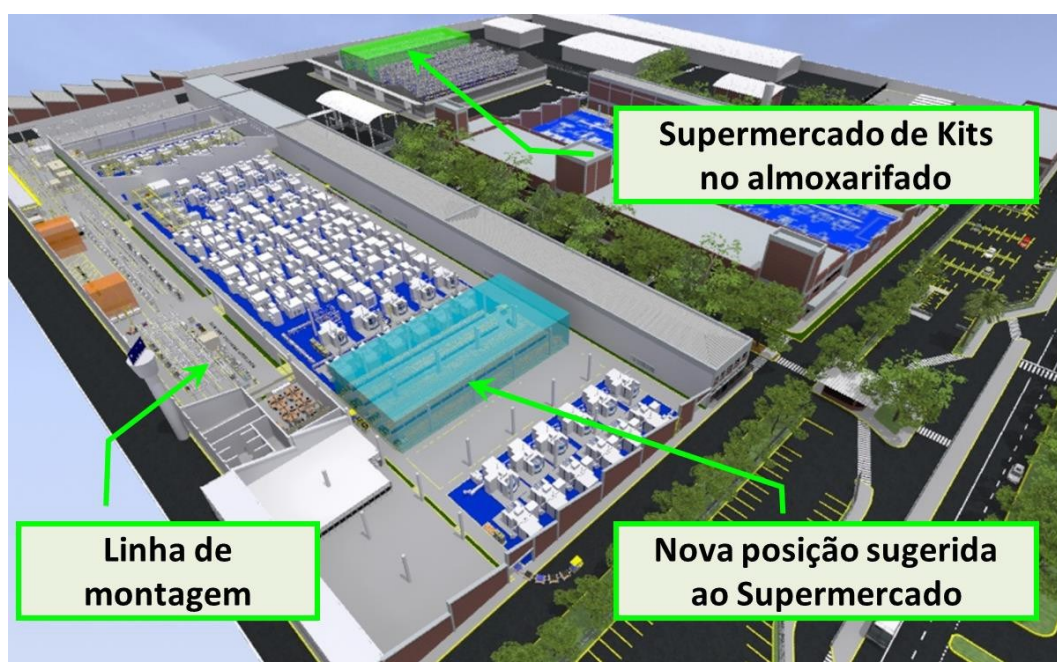


Fonte: Autor

Etapa 3 – Supermercado de peças próximo à região de consumo: Ainda no contexto *Lean*, a implementação do método de *Kitting* trouxe inúmeros benefícios à MWM, porém ainda estava sujeito a uma nova oportunidade de melhoria: a redução da distância entre o ponto de separação dos Kits, área conhecida como supermercado, e as regiões de

consumo na linha de montagem. Ao se deparar com esta oportunidade, a empresa adotou a estratégia de deslocar o supermercado de peças para uma região que reduzisse os percursos de transporte do Kit acabado e facilitasse a comunicação entre as áreas. Esta melhoria foi possível a partir de uma série de estudos que resultaram na mudança de layout apresentada na figura 16.

Figura 16. Planta 3D da MWM e projeto para transferência do supermercado de kits para próximo da linha de montagem.



Fonte: Autor

Com a oficialização da mudança de layout, o supermercado da figura 17 foi implementado e o percurso de transporte até a linha reduziu em mais de 85%.

Figura 17. Layout do novo Supermercado de peças após a transferência para uma região próxima à linha de montagem.



Fonte: Autor

Etapas 4 – Robô autônomo e solução 4.0: Conforme detalhado nas etapas anteriores, a otimização do fluxo de abastecimento interno da MWM passou por diversos estágios que contribuíram para um aumento expressivo de eficiência sem a necessidade de grandes

tecnologias envolvidas. O *Mindset* de melhoria contínua foi utilizado com bastante sucesso para este processo e passou por praticamente todas as primeiras etapas propostas pela metodologia ESSA.

Ao se deparar com este estágio, os estudos de Indústria 4.0 passaram a ser considerados como opção para um novo ciclo de otimizações. Após a transferência do supermercado para próximo da linha de montagem uma nova oportunidade foi identificada com relação ao uso dos rebocadores. Com a redução da distância entre os trechos, o tempo de ciclo do abastecedor que manuseava as peças também foi reduzido em até 60%, resultando em um tempo de espera que também poderia ser explorado. Cabe lembrar ainda que os rebocadores, apesar de apresentarem grandes benefícios em relação ao uso de empilhadeiras, também eram equipamentos alugados e que exigiam uma taxa de pagamento mensal mais gastos de manutenção com os acessórios de transporte. A figura 18 ilustra o processo de abastecimento dos Kits e o percurso realizado pelos rebocadores.

Figura 18 – Kits de peças transportados por rebocadores. Neste processo, cada carro de transporte leva 2 kits internamente





Fonte: Autor

Após uma série de pesquisas, a opção selecionada para a otimização deste processo foi o AMR, um modelo de robô autônomo que possui uma série de recursos de última geração e que tem se tornado cada vez mais acessível em função dos avanços da Indústria 4.0 e a redução contínua de custos associados à tecnologia.

O AMR pode ser considerado uma evolução dos chamados AGV's (*Automated Guided Vehicle*), veículos popularizados na fase da Indústria 3.0 por utilizar a automação industrial para promover a movimentação de materiais sem a necessidade de condutores humanos. A grande diferença do AMR para o AGV é que ele não depende de uma série de mecanismos de programação e controle que historicamente são utilizados pelos seus antecessores. A figura 19 apresenta uma visão geral dos dois modelos e um breve comparativo destacando as vantagens quanto ao uso do AMR.

Figura 19 – Comparativo entre um *Automated Guided Vehicle* (AGV) e um *Autonomous Mobile Robots* (AMR)

 <p>AGV (3.0)</p>	Navegação sobre percurso fixo
	Para nos obstáculos
	Circula em áreas dedicadas
	Mudança de percurso exige reformas na fábrica
	Apenas executa a rota programada
 <p>AMR (4.0)</p>	Navegação livre, gerenciando as próprias rotas
	Desvia de obstáculos
	Circula facilmente entre pessoas
	Percurso facilmente redefinido com um tablet
	Executa a rota, se comunica com sistemas ou outros AMRs e gera indicadores

Fonte: Autor

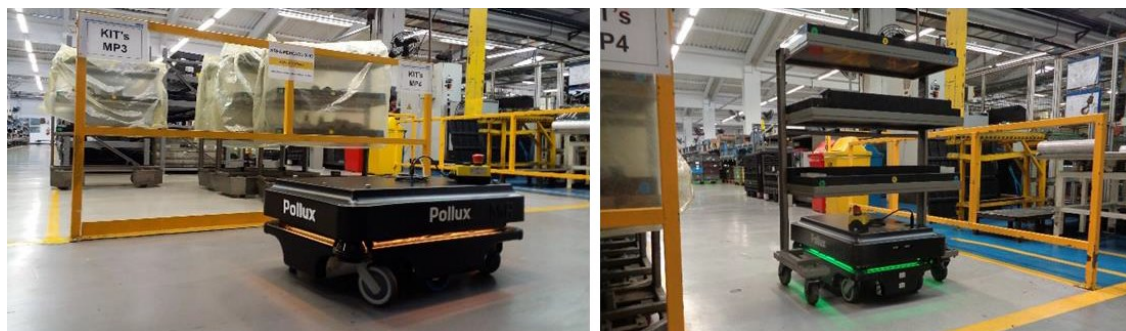
Enquanto os AGV's convencionais dependem da instalação de trilhos ou fitas magnéticas no piso para orientar o seu deslocamento, os AMRs são capazes de se situar na fábrica e criar suas próprias rotas. O sistema também monitora o carregamento da própria bateria e possui diversos mecanismos de inteligência para evitar situações perigosas para eles e as pessoas. As figuras 20 e 21 apresentam alguns detalhes do AMR implementado pela MWM.

Figura 20 – AMR realizando o abastecimento de Kits em uma linha de montagem



Fonte: Autor

Figura 21 – AMR realizando a coleta de Kits em um supermercado de peças



Fonte: Autor

Os custos para a aquisição do AMR foram facilmente justificados a partir de todos os ganhos contabilizados nos indicadores da MWM. Tratando exclusivamente desta etapa de automação e conectividade do processo, os seguintes resultados podem ser destacados:

- a) Aumento de produtividade em 10% com a liberação de 1 abastecedor por turno (motorista do rebocador);
- b) Redução de custos associados ao aluguel de rebocadores em aproximadamente R\$40.000 ao ano e à manutenção dos carros de transporte e carros Kits (Rodízios, carenagens, sistema hidráulico, etc) em aproximadamente R\$7.000 ao ano;
- c) Redução de superprodução: com o abastecimento via AMR não há possibilidade de enviar mais Kits do que o necessário à montagem. O sistema identifica quando o ponto de uso está cheio e, além de não enviar um novo Kit, ainda direciona o AMR automaticamente para o seu ponto de recarga de bateria;
- d) Gestão on line e em tempo real dos ciclos de abastecimento interno através de tablets, celulares e computadores.
- e) Ergonomia: redução de deslocamento manual dos carros Kit;

Quando somados os resultados do AMR a todas as etapas prévias de otimização no ciclo de abastecimento (*Lean + Indústria 4.0*), os resultados acumulados podem ser observados no quadro 7:

Quadro 7 - Resultados associados às quatro fases para otimização da logística interna

Atividades	Antes	Depois	Ganho
Nº de Abastecedores por turno	17	10	- 41%
Paradas de linha por falta de peça (Hrs/mês)	14,66	0,69	- 95%
Produtividade (Motor/turno/Abastecedor)	5,06	8,60	+ 70%
Agregação de valor na logística interna	15%	45%	+ 30%
Nº de peças no bordo da linha da montagem	1653	340	- 79%
Área ocupada na lateral das linhas de montagem (m ²)	100	51	- 49%
Distância do supermercado até a linha de montagem (m)	320	35	- 89%

Fonte: Autor

Este exemplo da MWM destaca o principal fundamento do ESSA. Imagine como seria o processo narrado se todo o trabalho de otimização tivesse iniciado pelo uso de tecnologia e não pela avaliação do fluxo! Seguramente haveria mais robôs em processo (a um custo muito maior) e os mesmos estariam dedicados a suprir os grandes percursos de

deslocamento e o abastecimento de altas taxas de estoque em processo, em outras palavras, desperdício puro.

5 CONCLUSÃO

Posicionados em um contexto estratégico, os modelos de excelência operacional desempenham um papel de grande importância para o aumento da competitividade em indústrias de manufatura e redes de prestação de serviço em todo o mundo. Esses modelos são estruturados por um conjunto de princípios e ferramentas que auxiliam os profissionais de diversos segmentos na condução de projetos de melhoria contínua.

Com o advento da tecnologia, os avanços promovidos pela Indústria 4.0 tem oferecido ao mercado uma série de soluções inovadoras. Modelos consagrados de gestão como o *Lean* e o Seis Sigma tem se beneficiado com este cenário. Além de não serem concorrentes da Indústria 4.0, esses modelos vêm operando de maneira integrada com as novas tecnologias e estabelecendo uma nova perspectiva em termos de capacidade de análise de dados e recursos para otimização de processos. Como contrapartida a este suporte tecnológico, o *Lean* e o Seis Sigma oferecem à Indústria 4.0 uma série de ensinamentos importantes obtidos ao longo de anos de aplicação prática. O principal deles é o foco exaustivo na busca pela eliminação de desperdícios.

Antes de automatizar qualquer coisa, é importante que seja feita uma reflexão sobre o que realmente agrega valor a um processo a partir da ótica do cliente. O uso de ciclos de melhoria contínua como o PDCA ou DMAIC e uma avaliação sistêmica com o método ESSA garantirá uma implementação bem-sucedida dos novos modelos de negócio. Todas estas características foram evidenciadas neste artigo a partir de um *case* real da empresa MWM, pois ao narrar o passo a passo de um exemplo prático de otimização em processos logísticos, ficou claro a importância de primeiro melhorar o fluxo através do *Lean*, para só então automatizar e criar conectividade com os conceitos da Indústria 4.0.

Independente da opção selecionada, quando se fala em otimização de processos o objetivo deve ser, sempre, garantir um retorno em termos de segurança, qualidade, produtividade e redução de custos. Se a solução envolver tecnologia, excelente, mas se for possível obter o mesmo resultado utilizando ferramentas simples e minimizando o desenvolvimento de sistemas complexos, muito melhor.

REFERÊNCIAS

ACTIO Consulting Group. **Lean e Indústria 4.0**. Disponível em: <https://www.actio-consulting.pt/pt/recursos/artigos/lean-e-industria-40.html>. Acesso em: 6 Mai. 2019.

AUCTUS Consulting. **Lean na Indústria 4.0**. Disponível em: <http://www.auctus.com.br/lean-na-industria-4-0/>. Acesso em: 8 Mai. 2019.

AUDY, Jorge Kotick, **Indústria 4.0**. Disponível em: <https://jorgeaudy.com/2018/02/07/industria-4-0/>. Acesso em: 6 Mai. 2019.

DALLACORTE, Fabiano Cislighi, **O Lean Manufacturing morreu com a chegada da Indústria 4.0?** Disponível em: <https://sebraers.com.br/metalmechanico/o-lean-manufacturing-morreu-com-a-chegada-da-industria-4-0/>. Acesso em: 9 mai. 2019.

FIGUEIREDO, Raquel. **Somar Performance**. e-Book, Disponível em: <http://somarperformance.com.br/e-book-lean-e-a-industria-4-0-transformar-o-mundo-resolvendo-problemas/>. Acesso em: 13 mai. 2019.

GOSWAMI, Bhaswar, **Why Six Sigma Learnings are relevant for Big Data?** Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/insights-on-business/electronics/why-six-sigma-learnings-are-relevant-for-big-data/>. Acesso em: 10 mai. 2019.

HEMPHILL, Kimberly Watson, **Optimizing Business Processes through Automation**, Disponível em: <https://business-expense-management.cioreview.com/cxoinsight/optimizing-business-processes-through-automation-nid-15496-cid-168.html>. Acesso em: 17 mai. 2019.

JOHANSSON B., Johansson M.I., **High automated kitting system for small parts – A case study from the Uddevalla plant**, Automotive Technology and Automation, Vienna, pp. 75-78, 1990.

LEAN Institute Brasil. **Lean Summit 2018**. Disponível em: <https://www.lean.org.br/lean-summit-2018.aspx>. Acesso em: 17 mai. 2019.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O modelo Toyota**: manual de aplicação. Um guia prático para a implementação dos 4 Ps da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2006

LWT, Sistemas, **Conheça os pilares da Indústria 4.0**. Disponível em: <http://www.lwtsistemas.com.br/10-pilares-da-industria-4-0/>. Acesso em: 2 mai. 2019.

NORTEGUBISIAN, Consulting, **Lean e a Indústria 4.0: você sabe qual é essa relação?** Disponível em: <https://www.nortegubisian.com.br/blog/lean-e-a-industria-4-0-voce-sabe-qual-e-essa-relacao>. Acesso em: 15 mai. 2019.

PORSHCE Consulting. **Academia Excelência na Logística II**, 128 slides, São Paulo, 2013.

PORTIFOLIO Sigma. **Lean six sigma encontra o data mining**. Disponível em: http://www.academia.edu/10542397/Lean_Six_Sigma_encontra_Big_Data_Minig. Acesso em: 15 mai. 2019.

SANDERS, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in Industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9 n. 3, p.811–833. 2006.

SANTOS, Virgilio F. M., **As metodologias Lean e Seis Sigma na Indústria 4.0**. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/as-metodologias-lean-e-seis-sigma-na-industria-4-0/>. Acesso em: 10 mai. 2019.

SCHUH, G, Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., Wahlster, W., “**Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies**” (acatech STUDY), “**Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten**”, Herbert Utz Verlag, 2017

WOMACK, J. P.; JONES D. T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscila Martins Celeste. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus 1996.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por minha vida, família, saúde e amigos.

Agradeço à Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica pela disponibilização de um curso com tema atual e de grande relevância ao cenário mundial.

Agradeço aos meus amigos de curso, pelo ambiente descontraído e amigável que proporcionaram.

Agradeço ao Prof. Me. Thiago Amici pelo profissionalismo e entusiasmo inspiradores.

Agradeço ao Prof. Dr. Jorge Giles pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Agradeço à minha família, pelo amor, incentivo e apoio em toda a minha trajetória profissional.

SOBRE OS AUTORES



OSMAR MARINHO

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela FEI - Faculdade de Engenharia Industrial (2011) e ³Pós-Graduação em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2019). Profissional com sólida experiência em gestão de projetos Lean e coordenador de diversos projetos em departamentos produtivos e administrativos. Formação internacional em Lean Thinking pelo MIT - Massachusetts Institute of Technologies (2010). Reconhecido como destaque

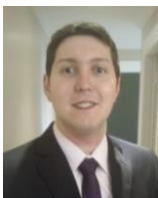
no prêmio de Excelência em Gestão do Conhecimento (SBGC 2015). Duas vezes vencedor do Mérito de Inovação em Gestão (IPEG 2016 /2017). Quatro artigos técnicos publicados pela SAE. Atualmente é PMO de iniciativas Lean e membro do comitê de implementação da Indústria 4.0 na MWM.



JORGE ANTONIO GILES FERRER

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Engenheiro Mecânico pela Pontificia Universidad Católica del Perú. Possui Licenciatura plena em pedagogia para educação profissional em ensino médio, pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. Atualmente é docente da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica em

São Caetano do Sul SP, onde ministra disciplinas no Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica e na pós- graduação na área de Gestão de Projetos e Produção (Lean Manufacturing e Virtualização de Sistemas Produtivos). É membro do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior do MEC



THIAGO TADEU AMICI

Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0 e na graduação em Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 7 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnicos de Mecatrônica, Automação Industrial, Eletrônica e Eletroeletrônica, além de

Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados ao CLP da Siemens. Possui mestrado em Automação e Controle e Processos pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de SP (IFSP - 2018), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2012), graduação em Tecnologia em Automação Industrial pelo IFSP (2009) e ensino profissionalizante em Eletrônica pela Instituição Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo (2002). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Automação Industrial, Mecatrônica, Robótica e Indústria 4.0. Experiência internacional na aprovação de linha de produção (Cavemil) em Milão na Itália e sua instalação no Brasil. Participou do desenvolvimento do projeto, programação, montagem e apresentação da Linha de Manufatura Avançada Industrial 4.0 realizada em parceria entre o SENAI-SP e a ABIMAQ, que foi exposta na FEIMEC 2018 e da linha de Confeção 4.0, em parceria entre o SENAI-SP e a ABIT.