

A influência do uso das tecnologias da Indústria 4.0 no ciclo de vida do produto

Isabella Roze Villar Showalter (Universidade Federal do Paraná) isa.villar7@gmail.com

Robson Seleme (Universidade Federal do Paraná) robsonseleme@hotmail.com

Fabiano Oscar Drozda (Universidade Federal do Paraná) fabiano.drozda@gmail.com

Juliana Norenberg de Araújo (Universidade Federal do Paraná) juliananorenbergdearaujo@gmail.com

Ricardo Augusto de Almeida Pastro (Universidade Federal do Paraná) ricardo.pastro@ufpr.br

Resumo:

A forte competitividade entre empresas no mercado incentiva a busca por melhoria no produto e nos processos de produção. Ter conhecimento das características e a forma como se desenvolve cada etapa do ciclo de vida do produto mostra-se fundamental para essa busca por melhoria. O propósito deste artigo é investigar a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 em setores industriais com foco de uso em etapas específicas do ciclo de vida dos produtos, de forma que beneficiem o fluxo de informações e de produtos dentro da indústria. A metodologia de pesquisa é uma revisão sistemática da literatura. Os estudos mostram diferentes aplicações de tecnologias que proporcionam benefícios variados para as empresas, como aumento de eficiência e redução de desperdícios em processos produtivos. Esta pesquisa tem relevância acadêmica e profissional, com aplicações operacionais e estratégicas para as empresas, fornecendo informações e ferramentas que podem ser utilizadas no gerenciamento do ciclo de vida do produto.

Palavras chave: Indústria 4.0, Ciclo de vida do produto, Desenvolvimento de produto, Big data, RFID.

The influence of the use of Industry 4.0 technologies in the product life cycle

Abstract

The strong competitiveness amongst companies in the market encourages the search for improvement in the product and in the production processes. Knowing the characteristics and the way each stage of the product life cycle develops is fundamental for this search for improvement. The purpose of this article is to investigate the application of Industry 4.0 technologies in industrial sectors with uses focused in specific stages of the product life cycle, so as to benefit the flow of information and products within the industry. The research methodology is a systematic review of the literature. The studies analyzed show different applications of technologies that provide various benefits for companies, such as increased efficiency and reduced production waste in productive processes. This research has academic and professional relevance, with operational and strategic applications for companies, providing information and tools that can be used to manage the product life cycle.

Key-words: Industry 4.0, Product lifecycle, Product development, Big data, RFID.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.”

1. Introdução

As empresas atuam em um ambiente de forte competitividade e que evolui em um ritmo cada vez mais rápido. Os desafios motivam as empresas a usar de forma extensiva o conhecimento e as tecnologias avançadas na busca de serem mais eficientes e altamente produtivas (FERREIRA et al., 2017; ISSA et al., 2017; ZHOU et al., 2018; TAO et al., 2018).

Porém, a baixa convergência de produtos físicos e seus modelos virtuais levam a processos menos eficientes e pouco sustentáveis nas etapas de desenvolvimento, produção e manutenção (TAO et al., 2018). Além disso, muitas empresas realizam apenas projetos-piloto para analisar a viabilidade de um novo sistema, evidenciando a subutilização de avanços tecnológicos, incluindo as tecnologias da Indústria 4.0 (SCHUH et al., 2017).

O volume de dados gerado por processos produtivos é grande e muitas vezes as empresas têm pouco conhecimento dos benefícios de se armazenar todo o volume, ou têm reduzida capacidade para lidar com os dados, causando interrupções no fluxo de informações (LI et al., 2015). O uso de novas tecnologias e de sistemas de informação adequado não só é capaz de reverter isso, como também melhora o gerenciamento de ciclo de vida de produto, acelerando as etapas de desenvolvimento e de manufatura dos mesmos, e também diminuindo riscos de projeto (SILVENTOINEN et al., 2009).

Diante disso, encontrou-se uma lacuna na literatura que consiste no crescente volume de dados gerados por processos diversos na manufatura e a facilitação de acesso e uso de tecnologias de comunicação e informação. Esses dois aspectos são poucas vezes relacionados diretamente um ao outro.

Todos esses fatores direcionam o objetivo deste artigo para definir como as tecnologias da Indústria 4.0 são utilizadas em cada etapa do ciclo de vida de um produto. Para tanto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura para reunir as aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 nos vários ramos industriais, analisando a influência destas aplicações nas fases do ciclo de vida de produtos.

2. Revisão da literatura

A revisão da literatura apresenta aspectos para caracterizar o ciclo de vida de produtos e a Indústria 4.0, trazendo ao final algumas considerações sobre a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 em empresas.

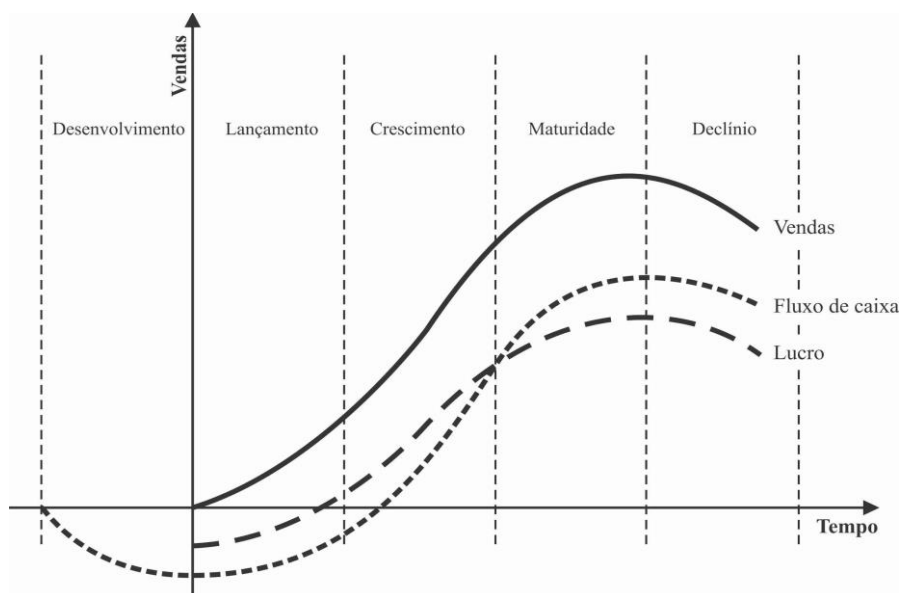
2.1 Ciclo de vida do produto

Os modelos do ciclo de vida fornecem uma visão da história do produto, descrevendo os estágios pelos quais o produto passa, desde os primeiros esforços para o seu desenvolvimento até o final no suporte pós-vendas, quando é finalizado o compromisso ativo da empresa com o suporte ao produto (ROZENFELD et al., 2006).

O ciclo de vida de um produto é dividido em três fases principais: início de vida (etapa que consiste em desenvolvimento do produto e lançamento no mercado), meio de vida (etapa que consiste na utilização do produto pelo cliente e prestação de assistência e manutenção pela empresa, esta fase pode também ser chamada de crescimento e maturidade), e fim de vida

(etapa em que os produtos são recolhidos, desmontados, remanufaturados, reciclados, reutilizados ou descartados, fase chamada também de declínio) (JUN et al., 2009).

A análise da curva de vida dos produtos tem o objetivo de determinar a fase da vida de um produto. A Figura 1 mostra a curva de vida típica de um produto, que tem início com seu desenvolvimento. Após a introdução no mercado (lançamento), as vendas começam a crescer lentamente. Quando o produto for aceito por uma certa parcela de consumidores, as vendas aceleram (crescimento). Nas vendas a varejo, isso ocorre quando os lojistas decidem manter um estoque do produto. Após alcançar a maturidade, as vendas começam a diminuir, todos os lojistas estão plenamente abastecidos com o produto e resolvem só repor o estoque das unidades vendidas (declínio). Isso geralmente ocorre quando há uma competição acirrada entre empresas rivais. Neste estágio, geralmente as empresas baixam os preços para manterem suas fatias do mercado e é ocasião também para lançamento do novo produto (BAXTER, 2011). Produtos de longo ciclo de vida ou que tenham alto valor agregado exigem manutenção contínua até o fim da sua etapa de declínio, pois apenas assim conseguem alta performance com a melhor relação custo-benefício (ROY et al., 2016)



Fonte: Adaptado de ROZENFELD et al. (2006)

Figura 1 - Curva de vida típica de um produto no mercado

Segundo Baxter (2011), o conhecimento do ciclo de vida do produto é importante para o planejamento estratégico do desenvolvimento de novos produtos, uma vez que os planos de lançamento de novos produtos devem ser preparados para aqueles produtos que atingem a maturidade. Kotler (2000) cita a necessidade de uma empresa em planejar estratégias apropriadas de acordo com cada estágio do ciclo de vida do produto, estendendo sua vida e sua lucratividade, considerando o fato que um produto não é eterno. O autor complementa que uma opção, principalmente para produtos que são líderes de mercado, é o seu redesenho, com o objetivo de revigorá-lo no mercado, em vez de substituí-lo.

Igba et al. (2015) comentam que o desempenho de produtos projetados para terem ciclo de vida longo pode ser melhorado se os dados adequados do produto em uso forem realimentados nos estágios iniciais do ciclo de vida. Isso permite que os projetistas aprendam com o desempenho do produto em serviço, obtendo informações para projetos subsequentes

baseados no conhecimento adquirido e, conseqüentemente, melhorando o desempenho do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 está intrinsecamente ligada à integração total entre informação e tecnologias de comunicação dentro da engenharia industrial (SCHUH et al., 2017). O elemento principal da Indústria 4.0 é o uso de internet e tecnologias dependentes dela dentro da indústria (DRATH e HORCH, 2014), para que a informação esteja disponível em todo lugar a qualquer momento (NEUGEBAUER et al., 2016).

A visão de Indústria 4.0 pode ser resumida no conceito de *smart factory* (do inglês “fábrica inteligente”) que consiste nos elementos de integração vertical e horizontal do sistema (HOLTKAMP e IYER, 2017). Os autores adicionam que a integração vertical incorpora na totalidade o ciclo de vida do produto, o sistema produtivo e de comunicação, e a hierarquia dos processos, servindo como forma de controle da produtividade. Já a integração horizontal é o compartilhamento de informações e de banco digital de dados entre equipamentos e pessoas, e entre diferentes setores (no ambiente interno) e diferentes empresas (no ambiente externo), servindo para divulgação de ações, determinados procedimentos e resultados, e para o aprimoramento geral das empresas (HOLTKAMP e IYER, 2017). Como complemento, Wang et al. (2016) trazem um terceiro tipo de integração, chamada integração de engenharia “fim-a-fim”, caracterizada pela integração de todas as etapas da cadeia de valor.

Neste contexto, a intensa evolução industrial se caracteriza por um cenário de confluência (WANG et al., 2016), integração e digitalização das tecnologias maduras e das recentemente desenvolvidas, em que sistemas de produção ciber-físicos englobam máquinas inteligentes, plantas fabris e áreas de armazenagem capazes de trocar informação autonomamente, realizando ações e controlando uma a outra independentemente (KAGERMANN et al., 2013; MDIC et MCTIC, 2016). Ainda segundo os autores, essa integração e autonomia promovem melhorias nos processos de manufatura, no uso de recursos, na cadeia logística e no ciclo de vida dos produtos. Assim, a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 resulta em um sistema de alta convergência dos domínios físico e digital (LANDHERR et al., 2016).

Os sistemas ciber-físicos são desenvolvidos como uma rede de elementos virtuais e físicos que interagem integralmente (LEITÃO et al., 2016). São compostos de uma unidade de controle, sensores e atuadores (responsáveis pela captura dos dados), e também por um sistema de comunicação (para transmissão contínua das informações) (JAZDI, 2014). Como também comentado pelos autores, estes sistemas permitem grande flexibilidade, customização, interação e diversas funcionalidades. Em complemento a isso, os sistemas ciber-físicos auxiliam no mapeamento dos processos de produtos e informações, permitindo realizar modelagens e simulações computacionais de maneira integral (ZHANG et al., 2016).

Entretanto, para que os sistemas ciber-físicos estejam integrados, todos os recursos físicos e digitais devem estar conectados por rede, ao que se dá o nome de *internet of things* - IoT (do inglês “internet das coisas”) (KAGERMANN et al., 2013). Com as funções de compartilhamento de informações e segurança de rede, a tecnologia da internet das coisas precisa de estrutura de tecnologia de informação adequada para gerenciar o volume e a velocidade de informações geradas e armazenadas (TU et al., 2018), sendo capaz de promover a troca de informações em tempo real para coleta, armazenamento, monitoramento e gerenciamento de dados (DING e JIANG, 2018; AHMED et al., 2017).

Uma das tecnologias que integram a internet das coisas é denominada *radio frequency identification*, ou RFID (do inglês “identificação por rádio frequência”) e é utilizada para rastreamento de recursos físicos dentro de um sistema (DING e JIANG, 2018). O RFID funciona similarmente ao código de barras, mas é capaz de armazenar maior volume de informação e ser rastreada em qualquer lugar a qualquer momento. Etiquetas com sistema de RFID são utilizadas de duas formas nos processos produtivos, sendo elas o mapeamento “um-a-um”, ideal para uso com produtos de alto valor agregado ou partes individuais de produto, e o mapeamento “muitos-para-um”, em que um lote de produção recebe uma etiqueta RFID similar à leitura de uma única peça (DING e JIANG, 2018).

Assim, a convergência de todas as tecnologias presentes nos sistemas ciber-físicos gera grande volume e variedade de dados que, acrescidos pela velocidade de processamento, integram o conceito de *Big data* (ALOYSIUS et al., 2016). O termo é originado do inglês, e significa “grande quantidade de dados”. A análise de *Big data* se fundamenta em métodos e algoritmos matemáticos, os quais possibilitam a extração de informações úteis por meio de funções computacionais (TIEN, 2013). O autor também traz que além de ser usada unificando negócios e engenharia, a análise de *Big data* apresenta ganhos científicos em pesquisas de ciências naturais, biológicas e humanas, mas não restritas a estas.

Os autores De Weck et al. (2013), em pesquisa com docentes e discentes do Massachusetts Institute of Technology (MIT), classificaram os estudos em desenvolvimento no MIT em sete categorias com alto potencial para proporcionar avanços nos processos produtivos. São elas: (1) nano-engenharia, (2) manufatura aditiva e de precisão, (3) robótica e automação adaptativa, (4) eletrônica avançada, (5) manufatura contínua de produtos farmacêuticos e bio-manufatura, (6) desenvolvimento e gerenciamento de cadeias de suprimento, e (7) manufatura sustentável. Estas tecnologias visam aumentar a eficiência e diminuir o conteúdo do trabalho manual direto da manufatura, minimizando erros e desperdícios de produção.

Por fim, os autores Herterich et al. (2015) colocam que as tecnologias da Indústria 4.0 propiciam algumas contribuições importantes para a indústria. São elas: uso de informações da produção presente para melhorar produção do futuro, otimização do uso de equipamentos, controle remoto de equipamentos, operações direcionadas por bancos de dados e informações, previsão de necessidade de serviços, diagnóstico e reposição remotos de equipamentos, e melhoria de qualidade das operações.

2.3 Implementação da Indústria 4.0

A implementação de tecnologias da Indústria 4.0 por meio de modelos de referência, como o apresentado por Schuh et al. (2017) no relatório sobre os resultados dos projetos financiados pela *National Academy of Science and Engineering* da Alemanha, em parceria com o *Fraunhofer Institute*, é capaz de tornar os resultados reais em menos tempo. De acordo com os autores, as etapas de implementação da Indústria 4.0 em uma empresa são:

- a) implementação de tecnologias computacionais necessárias;
- b) estabelecimento da conectividade das tecnologias;
- c) estabelecimento da visibilidade em tempo real de todos os componentes (também chamado de gêmeo digital);
- d) análise completa e efetiva dos dados;
- e) estabelecimento da capacidade preditiva do sistema por meio das tecnologias implementadas;

f) estabelecimento do sistema de decisões automáticas e adaptativas ao cenário corrente.

Todas as tecnologias derivadas da Indústria 4.0 são altamente dependentes de avanços tecnológicos e segurança para os mesmos. Para tornar a aplicação da Indústria 4.0 em qualquer sistema segura e viável, Drath e Horch (2014) citam quatro aspectos: proteção de investimento, estabilidade dos processos produtivos e da rede, privacidade de dados, e segurança da rede. Além disso, a crescente velocidade de aquisição e análise dos dados torna necessária uma constante atualização de pessoas e recursos físicos (TIEN, 2013).

3. Metodologia

Inicialmente, o objetivo do artigo foi definido para dar escopo à revisão. A segunda etapa foi realizar uma revisão da literatura sobre os conceitos relevantes ao escopo. Na sequência, foi realizada uma revisão sistemática da literatura para investigar o uso de tecnologias da Indústria 4.0 em diferentes setores da indústria que tenham sido aplicadas com foco em uma etapa específica do ciclo de vida do produto. As bases de dados utilizadas foram *Web of Science* e *Science Direct*. Os idiomas de busca foram inglês e português. Os termos de busca utilizados foram descritos na Tabela 1. O escopo da busca englobou os termos de busca, o tipo de trabalho, o título e o resumo. Foram analisados artigos no período entre os anos 2014 e 2018, sendo este um intervalo de 5 anos para garantir uma revisão atualizada da literatura. O tipo de trabalho analisado foi artigo. Os critérios de exclusão foram duplicidade de artigos em diferentes bases de dados e não-adequação do artigo ao escopo do estudo pela análise de título e resumo. A revisão sistemática resultou em 689 artigos. Ao final da revisão sistemática, foram incluídos artigos citados que complementam o escopo do estudo, por meio do procedimento denominado “bola de neve”, técnica de cocitação para revisar principais publicações e autores. O resultado da revisão sistemática é mostrado na Tabela 1.

Base de dados	Termos de busca	Anos de publicação	Tipo de documento	Número de publicações
Web of Science	product lifecycle AND industry	2014 - 2018	Articles	207
Web of Science	product lifecycle management AND industry	2014 - 2018	Articles	102
Web of Science	product lifecycle AND industry 4.0	2014 - 2018	Articles	8
Web of Science	product lifecycle AND industry 4.0 AND key technologies	2014 - 2018	Articles	3
Web of Science	product lifecycle AND key technologies	2014 - 2018	Articles	34
Web of Science	industry 4.0 AND key technologies	2014 - 2018	Articles	67
Science Direct	product lifecycle AND industry	2014 - 2018	Research article	128
Science Direct	product lifecycle management AND industry	2014 - 2018	Research article	65
Science Direct	product lifecycle AND industry 4.0	2014 - 2018	Research articles	10
Science Direct	product lifecycle AND industry 4.0 AND key technologies	2014 - 2018	Research articles	-
Science Direct	product lifecycle AND key technologies	2014 - 2018	Research articles	19
Science Direct	industry 4.0 AND key technologies	2014 - 2018	Research articles	46

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 1 – Revisão sistemática da literatura

Com o resultado da revisão, foi realizada análise dos estudos de caso sobre as tecnologias da Indústria 4.0 que foram aplicadas em indústrias de diversos tipos, e qual sua influência no ciclo de vida dos produtos dessas indústrias.

Por fim, foi definida a relação de aplicabilidade das tecnologias da Indústria 4.0 em cada etapa do Ciclo de Vida do Produto, considerando as indústrias analisadas.

4. Resultados

A partir da revisão sistemática da literatura, foram encontrados trabalhos que utilizaram ferramentas da indústria 4.0 em diversos setores da manufatura. A Tabela 2 apresenta um resumo dos artigos mais relevantes e a contribuição das aplicações das tecnologias nas etapas do ciclo de vida dos respectivos produtos.

Autores	Objetivo	Contribuição	Fase CVP
Cao et al. (2009)	Utilização de sensores RFID para dar suporte à tomada de decisão envolvida nas diferentes fases do ciclo de vida da indústria automotiva	No final da vida útil, sensores RFID individuais nos componentes do veículo podem ser acessados para determinar os padrões de uso do veículo. Dependendo dessas informações, as peças do veículo são separadas como: para venda, reutilização, reciclagem ou descarte	Maturidade e declínio
Jun et al. (2009)	Utilização de sensores RFID em produtos, visando obter mais informações acerca dos dados históricos de uso do produto, status de degradação, falha e/ou manutenção, as quais são de propriedade do cliente na fases de crescimento e maturidade	A utilização dos sensores RFID possibilita à empresa fornecedora do produto acesso à informações necessárias para a análise do status do uso do produto e de sua degradação e assim o cliente pode receber um relatório atualizado sobre o status do produto e obter assistência em tempo real da empresa	Crescimento e Maturidade
Yang et al. (2009)	Propor um modelo de produto inteligente, com utilização de sensores RFID para monitoramento e gestão do ciclo de vida do produto e redução do impacto ambiental. Aplicação foi realizada em controles de videogame, para diagnosticar unidades com defeito.	Sensores RFID podem ser usados para diagnósticos remotos e reciclagem de componentes no final de sua vida útil.	Maturidade e declínio
Kumar e Rahman (2014)	Uso de RFID para controle de peças de vestuário e roupa de cama e banho hospitalares, em hospital de grande porte.	Aumento da visibilidade e monitoramento das unidades processadas no sistema	Maturidade

Guo et al. (2015)	Usar RFID-based intelligent decision support system para o problema de controle e sequenciamento de produção em fábrica de roupas.	Aumento de 25% na eficiência produtiva; redução de 12% no desperdício de material (sobreprodução, defeitos e estoque em excesso); redução de 8% nos custos com funcionários.	Desenvolvimento, lançamento, crescimento e maturidade
Roy et al. (2016)	Classificação das principais tecnologias para otimizar o custo de vida útil de produtos de alto valor e vida longa através da manutenção contínua.	Aumentar a vida útil dos produtos e a eficiência da manutenção; reduzir riscos e custos; assistência customizada e aumento da segurança.	Desenvolvimento, Lançamento, Crescimento, Maturidade e Declínio
Bodrow (2017)	Tornar mais eficiente o uso de recursos produtivos e do planejamento de funcionários em uma loja de reparos automotivos, por meio do uso de RFID tags e Big Data.	Alto nível de confiança nos processos e aumento da flexibilidade no planejamento de máquinas e funcionários.	Desenvolvimento e crescimento
Ferreira et al. (2017)	Implementar ações de melhoria e um sistema de fluxo de informações produtivas entre parceiros, promovendo um controle mais próximo e reação mais rápida e assertiva.	O tempo de resposta em situações críticas relacionadas à manufatura foi reduzido em 75%; o tempo de conclusão de fases de desenvolvimento do produto teve redução média de 12,5%; a variação entre o tempo de execução real de projeto e o programado foi reduzida em 50%.	Lançamento e desenvolvimento
Zhou et al. (2018)	Investigar diferentes cenários de uso de veículos aéreos não-tripulados no contexto de projetos de construção civil, em quatro abordagens: ciclo de vida, produto, papel potencial, envolvimento dos stakeholders.	Veículos aéreos não-tripulados podem ser usados para avaliar projetos de obra, mapear terrenos, estabelecer comunicação em tempo real dentro da obra, aumentar segurança, avaliar terrenos pós-desastres.	Desenvolvimento, lançamento, crescimento e maturidade
Tao et al. (2018)	Propor um framework de desenvolvimento, manufatura e manutenção de produto baseado em tecnologias ciber-físicas, como os gêmeos digitais.	Proposição e detalhamento de um modelo de desenvolvimento, manufatura e manutenção de produto guiado pelas tecnologias de gêmeos digitais.	Desenvolvimento, lançamento e maturidade

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 2 – Aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 e seus resultados

Com a revisão da literatura foi possível perceber que as contribuições da aplicação das diversas tecnologias e ferramentas da Indústria 4.0 tornaram-se cada vez mais significativas e são aplicadas com significativos resultados na otimização dos processos produtivos em cada fase do ciclo de vida de um produto.

5. Conclusões

As características de cada tecnologia da Indústria 4.0 permitem variados usos, adaptáveis às demandas das operações individuais ou do sistema produtivo como um todo. A revisão da literatura descreveu sobre a integração vertical e horizontal do sistema produtivo, por meio de sistemas ciber-físicos e de comunicação entre diversos recursos dos processos. Estes elementos estão relacionados diretamente com o fluxo de informações nos sentidos *upstream* e *downstream* do sistema de produção, o que possibilita a utilização das informações de uma fase do ciclo de vida em todas as outras fases, extraindo o maior benefício possível da integração total do sistema.

O investimento em tecnologias que potencializam a capacidade instalada e o uso de recursos de maneira mais eficiente são fatores que podem tornar uma empresa mais competitiva no curto e longo prazo (JÄGER et al., 2016; HOLTKAMP e IYER, 2017). Isso foi visto em todos os casos analisados neste estudo, em que a aplicação de uma tecnologia da Indústria 4.0 promoveu benefícios ao sistema produtivo como um todo. É importante que as empresas implementem sistemas de informações e de tecnologia adequados às suas demandas (ISSA et al., 2017), pois planos de melhoria sem planejamento adequado ou sem objetivo bem definido podem impactar negativamente um sistema produtivo.

Nas etapas de desenvolvimento e lançamento do produto, observou-se tendência dos benefícios da Indústria 4.0 em sistemas de produção. Esta tendência relaciona um aumento geral na eficiência produtiva, bem como do tempo de resposta a problemas na linha de produção. Além disso, como consequência direta e indireta do uso das tecnologias avançadas, foi observada a redução de desperdícios e, conseqüentemente, dos custos nos processos das empresas analisadas. Já nas etapas de maturidade e declínio do ciclo de vida do produto, o que foi observado relaciona a determinação dos padrões de uso de peças/produtos quando estão em uso pelo cliente final - o que define o destino destes itens na situação de logística reversa.

Durante todo o ciclo de vida tecnologias de autocorreção e auto-reparo, manutenção remota e digital, big data e realidade aumentada são chaves para a manutenção contínua e aumento da vida útil de produtos. Outra observação a ser feita quanto às etapas finais do ciclo de vida, é a disponibilidade de assistência técnica em tempo real e melhorada devido à troca mais precisa de informações sobre uso e condições do produto.

Por fim, esta pesquisa tem relevância acadêmica e profissional, com aplicações operacionais e estratégicas para as empresas. A evidência trazida pela revisão da literatura mostra o impacto positivo que as tecnologias da Indústria 4.0 têm no ciclo de vida de diferentes produtos, bem como o impacto que têm nas etapas do ciclo, individualmente. Essa evidência foi demonstrada por melhorias nos indicadores de performance mencionados por diversos autores.

Referências

- AHMED, E.; YAQOOB, I.; HASHEM, I. A. T.; KHAN, I.; AHMED, A. I. A.; IMRAN, M.; VASILAKOS, A. V. *The role of big data analytics in internet of things*. Computer Networks, Vol. 129, n. 2, p. 459-471, 2017.
- ALOYSIUS, J. A.; HOEHLE, H.; VENKATESH, V. *Exploiting big data for customer and retailer benefits: A study of emerging mobile checkout scenarios*. International Journal of Operations and Production Management, Vol. 36, n. 4, p. 467-486, 2016.
- BAXTER, M. *Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos*. São Paulo: Blucher, 2011.
- BODROW, W. *Impact of Industry 4.0 in service oriented firm*. Advances in Manufacturing, Vol. 5, n. 4, p. 394-400, 2017.

CAO, H.; FOLAN, P.; MASCOLO, J.; BROWNE, J. *RFID in product lifecycle management: a case in the automotive industry*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 22, n. 7, p. 616–637, 2009.

DE WECK, O.; REED, D.; SARMA, S.; SCHMIDT, M. *Trends in Advanced Manufacturing Technology Innovation*. Production in the Innovation Economy (PIE) Study of the Massachusetts Institute of Technology. Cambridge: MIT Press, 2013.

DING, K.; JIANG, P. *RFID-based production data analysis in an IoT-enabled smart job-shop*, IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, Vol. 5, n. 1, p. 128–138, 2018.

DRATH, R.; HORCH, A. *Industrie 4.0: Hit or hype?*. IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.

FERREIRA, F.; FARIA, J.; AZEVEDO, A.; MARQUES, A. L. *Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments: An application to automotive industry*. International Journal of Information Management, Vol. 37, n. 1, p. 1474–1487, 2017.

GUO, Z. X.; NGAI, E. W. T.; YANG, C.; LIANG, X. *An RFID-based intelligent decision support system architecture for production monitoring and scheduling in a distributed manufacturing environment*. International Journal of Production Economics, Vol. 159, p. 16–28, 2015.

HERTERICH, M. M.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W. *The impact of cyber-physical systems on industrial services in manufacturing*. In: INDUSTRIAL PRODUCT-SERVICE SYSTEMS CONFERENCE, 7., 2015, Saint-Etienne, p. 323–328.

HOLTKAMP, B.; IYER, A. *Industrie 4.0: The future of Indo-German industrial collaboration*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung, 2017.

IGBA, J.; ALEMZADEH, K.; GIBBONS, P. M.; HENNINGSSEN, K. *A framework for optimising product performance through feedback and reuse of in-service experience*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 36, p. 2–12, 2015.

ISSA, A.; LUCKE, D.; BAUERNHANSL, T. *Mobilizing SMEs towards Industrie 4.0-enabled Smart Products*. In: CONFERENCE ON MANUFACTURING SYSTEMS, 50., 2017, Taichung City, p. 670–674.

JÄGER, J.; SCHÖLLHAMMER, O.; LICKEFETT, M.; BAUERNHANSL, T. *Advanced complexity management strategic recommendations of handling the 'Industrie 4.0' complexity for small and medium enterprises*. In: CONFERENCE ON MANUFACTURING SYSTEMS, 49., 2016, Stuttgart, p. 116–121.

JAZDI, N. *Cyber physical systems in the context of industry 4.0*. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION, QUALITY AND TESTING, 19., 2014, Cluj-Napoca, p. 1–4.

JUN, H. B.; SHIN, J. H.; KIM, Y. S.; KIRITSIS, D.; XIROUCHAKIS, P. *A framework for RFID applications in product lifecycle management*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 22, n. 7, p. 595–615, 2009.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*, Frankfurt: Forschungsunion, 2013.

KOLBERG, D.; KNOBLOCH, J.; ZÜHLKE, D. *Towards a lean automation interface for workstations*. International Journal of Production Research, Vol. 55, n. 10, p. 2845–2856, 2016.

KOTLER, P. *Administração de marketing: a edição do novo milênio*. São Paulo: Prentice-Hall, 2000.

KUMAR, A.; RAHMAN, S. *RFID-enabled process reengineering of closed-loop supply chains in the healthcare industry of Singapore*. Journal of Cleaner Production, Vol. 85, p. 382–394, 2014.

LANDHERR, M.; SCHNEIDER, U.; BAUERNHANSL, T. *The Application Center Industrie 4.0 - Industry-driven manufacturing, research and development*. In: CONFERENCE ON MANUFACTURING SYSTEMS, 49., 2016, Stuttgart, p. 26–31.

LEITÃO, P.; COLOMBO, A. W.; KARNOUSKOS, S. *Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges*. Computers in industry, Vol. 81, p. 11–25, 2016.

LI, J.; TAO, F.; CHENG, Y.; ZHAO, L. *Big Data in product lifecycle management*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 81, n. 1-4, p. 667-684, 2015.

MCKINSEY & COMPANY. *Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation*, New York: McKinsey Global Institute, 2012.

MDIC et MCTIC. *Perspectivas de Especialistas Brasileiros sobre a Manufatura Avançada no Brasil*. Ministério da Indústria do Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), Brasília, 2016.

NEUGEBAUER, R.; HIPPMANN, S. LEIS, M.; LANDHERR, M. *Industrie 4.0 – from the perspective of applied research*. In: CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTATION IN MANUFACTURING ENGINEERING, 11., 2017, Gulf of Naples, p. 2-7.

PICKSHAUS, T.; KANDT, A.; HESSE, S.; FLEISCHER, K.; SCHMITT, R. *A holistic approach to risk-oriented lifecycle engineering: Assessing lifecycle risks in early phases*. In: CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 23., 2016, Berlin, p. 265-270.

ROY, R.; STARK, R.; TRACHT, K.; TAKATA, S.; MORI, M. *Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges*. CIRP Annals – Manufacturing technology, Vol. 65, n. 2, p. 667-688, 2016.

ROZENFELD, H.; AMARAL, D. C.; FORCELLINI, F. A.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. *Gestão de desenvolvimento de produtos*, São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVENTOINEN, A.; PAPINNIEMI, J.; LAMPELA, H. *A roadmap for product lifecycle management implementation in SMEs*. In: ISPIM CONFERENCE, 2009, Vienna.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. (Eds.) *Industrie 4.0 maturity index: Managing the digital transformation of companies (acatech STUDY)*. Munich: Herbert Utz Verlag, 2017.

TAO, F.; CHENG, J.; QI, Q.; ZHANG, M.; ZHANG, H.; SUI, F. *Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 94, n. 9-12, p. 3563-3576, 2018.

TIEN, J. M. *Big data: unleashing information*. Journal of Systems Science and Systems Engineering, Vol. 22, n. 2, p. 127-151, 2013.

TU, M.; LIM, M. K.; YANG, M. F. *IoT-based production logistics and supply chain system – Part 2: IoT-based cyber-physical system: a framework and evaluation*. Industrial Management and Data Systems, Vol. 118, n. 1, p. 96-125, 2018.

VISICH, J. K.; LI, S.; KHUMAWALA, B. M.; REYES, P. M. *Empirical evidence of RFID impacts on supply chain performance*. International Journal of Operations and Production Management, Vol. 29, n. 12, p. 1290-1315, 2009.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 12, n. 1, p. 1-10, 2016.

YANG, X.; MOORE, P.; CHONG, S. K. *Intelligent products: From lifecycle data acquisition to enabling product-related services*. Computers in Industry, Vol. 60, n. 3, p. 184-194, 2009.

ZHANG, Y.; QIAN, C.; LV, J.; LIU, Y. *Agent and cyber-physical system based self-organizing and self-adaptive intelligent shopfloor*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 13, n. 2, p. 737-747, 2016.

ZHENG, M.; WU, K. *Smart spare parts management systems in semiconductor manufacturing*. Industrial Management and Data Systems, Vol. 117, n. 4, p. 754-763, 2017.

ZHOU, Z.; IRIZARRY, J.; LU, Y. *A multidimensional framework for unmanned aerial system applications in construction project management*. Journal of Management in Engineering, Vol. 34, n. 3, 2018.