

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/319333985>

A modularização e a indústria 4.0

Conference Paper · August 2017

CITATIONS
2

READS
2,964

5 authors, including:



Ana Claudia Silva da Silva
Universidade Feevale

3 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

SEE PROFILE



Fabiano Nunes
Universidade Feevale

69 PUBLICATIONS 122 CITATIONS

SEE PROFILE



Cristina Klingenberg
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

4 PUBLICATIONS 78 CITATIONS

SEE PROFILE



Leonardo Chiká
Universidade Feevale

1 PUBLICATION 2 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Análise do processo de inovação na reutilização de resíduos sólidos domiciliares: integração do cooperativismo e empresa de parque tecnológico [View project](#)



Operations Management [View project](#)

A MODULARIZAÇÃO E A INDÚSTRIA 4.0

Ana Claudia

anassilva-10@hotmail.com

Fabiano De Lima Nunes

fabianonunes@feevale.br

Cristina Orsolin

cristinaorsolin@gmail.com

Leonardo Chika

leonardo.chika@hotmail.com

Natália Aguiar

nana.aguiar.ca@hotmail.com



Resumo

Esse artigo tem como objetivo analisar a modularização no desenvolvimento de produtos dentro do contexto da Indústria 4.0, relacionando suas estratégias. A pesquisa, também visa apresentar estas estratégias em um contexto industrial, demonstrando uma visão das melhorias dispostas por elas. Como metodologia, utilizou-se a pesquisa bibliográfica a partir de buscas na literatura e bases de dados (Scopus, Science Direct e Web of Science). Como resultados, verifica-se que com a implementação da modularização é possível obter um maior mix de produtos, usando recursos existentes e com menores custos. Além disso, observa-se que a Indústria 4.0 possui estreita relação com a modularização em processos, o que pode possibilitar às empresas, a otimização em seus processos produtivos.

Palavras-chaves: Indústria 4.0, Modularização, Relações.



1. Introdução

A era industrial, iniciada no século XVIII, foi marcada por transformações sem precedentes na história da humanidade (HOBSBAWM, 2016). O crescimento econômico dos séculos subsequentes pode ser atribuído a avanços tecnológicos (ISMAIL, 2014). A partir desses avanços, modelos de produção são desenvolvidos (NETLAND, 2012; NUNES; VACCARO; ANTUNES JÚNIOR, 2017) com o intuito de suprir as necessidades produtivas das organizações e melhorar o padrão de vida da sociedade (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014).

No ano de 2011, na Alemanha, desponta um movimento chamado de Indústria 4.0, nome alusivo a uma possível quarta revolução industrial (BRETTEL et al., 2014; ROBLEK et al., 2016; SALTÍEL; NUNES, 2017) com um significativo potencial de aplicação junto aos sistemas de produção (RUSSWURM, 2014; SALTÍEL; NUNES, 2017; SCHRÖDER et al., 2015). A indústria 4.0 utiliza tecnologias disponíveis para a gestão dos processos de manufatura de forma integrada, atuando desde o desenvolvimento de produtos inteligentes até a movimentação de produtos ao longo da cadeia de suprimentos. A estratégia de modularização em design, a partir das possibilidades que esta proporciona, tanto no mix de produtos quanto os ciclos de vida dos produtos, fornece a esses produtos a flexibilidade necessária para a sua aplicação em sistemas inteligentes (BALDWIN; CLARK, 1997; GERSHENSON; PRASAD; ZHANG, 2003; NUNES; ROCHA; ANTUNES JR, 2014; PIRAN et al., 2016; SAKO, 2002; STARR, 1965; VIERO; NUNES, 2016).

Estudos sobre a Indústria 4.0 são recentes (ALMADA-LOBO, 2016; BRETTEL et al., 2014; GORECKY et al., 2014; LASI et al., 2014; ROBLEK et al., 2016; RUSSWURM, 2014; SALTÍEL; NUNES, 2017; SCHLECHTENDAHL et al., 2014; SCHRÖDER et al., 2015; SCHUH et al., 2014; SOMMER, 2015). Estudos em relação à modularização já são mais abundantes (BALDWIN; CLARK, 1994a, 1997; CHESBROUGH; PRENCIPE, 2008; DORAN, 2003; GERSHENSON; PRASAD; ZHANG, 2003; MIKKOLA, 2003; NUNES et al., 2014, 2015; NUNES; ROCHA; ANTUNES JR, 2014; NUNES; VACCARO; ANTUNES JÚNIOR, 2017; PARNAS, 1972; PIRAN et al., 2015, 2016; SAKO, 2002; SAKO; MURRAY, 1999; STARR, 1965, 2010; TU et al., 2004; VIERO; NUNES, 2016), enquanto que o tema de produtos inteligentes, a partir de modularização, ainda possui literatura escassa (BRODHAGEN et al., 2012; CARRELL et al., 2009; DEMMINGER et al., 2016; MOTHESS, 2015; PARK; TRAN, 2011; QIN; LIU; GROSVENOR, 2016; RIEL et al., 2017; STEPHAN; PFAFFMANN; SANCHEZ, 2008; VEZA; MLADINEO; GJELDUM, 2015; WANG et al., 2016;



WEYER et al., 2016).

Nesse contexto, esse artigo visa responder a seguinte pergunta de pesquisa: “como a modularização de produto contribui para a viabilização da indústria 4.0? ”. O objetivo geral é analisar a estratégia de modularização no desenvolvimento de produtos no contexto da Indústria 4.0. Esse artigo está dividido em cinco capítulos: (i) introdução; (ii) fundamentação teórica; (iii) metodologia de pesquisa; (iv) análises e discussões e; (v) considerações finais e sugestões de pesquisas futuras.

2. Revisão Teórica

2.1. Indústria 4.0

O fenômeno da Indústria 4.0 surgiu em 2011 na Alemanha, como uma proposta para o desenvolvimento de um novo conceito da política econômica alemã baseada em estratégias de alta tecnologia (ROBLEK et al., 2016). O novo paradigma produtivo baseia-se no fim das aplicações centralizadas tradicionais para produção e controle. Sua visão de ecossistemas de fábricas inteligentes com entidades de fábrica autônomas é, inerentemente descentralizada (ALMADA-LOBO, 2016).

Um dos objetivos da Indústria 4.0 é desenvolver uma manufatura capaz de atender às demandas dos clientes por produtos personalizados, com custos acessíveis. Para tanto, um conjunto de tecnologias é considerado: impressão 3D, internet das coisas (IoT – *Internet of Things*), computação em nuvem, dispositivos móveis, big data analytics, sistemas ciber-físicos (*Cyber-Physical Systems – CPS*), entre outras (SOMMER, 2015; RÜSSMAN et al., 2015; ALMADA-LOBO, 2016).

Em essência, a Indústria 4.0 envolve a integração técnica do CPS na fabricação e na logística, e a utilização da IoT em processos industriais influenciando nos modelos de negócios e na organização do trabalho (KAGERMANN et al., 2013).

A Indústria 4.0 pressupõe a intensa comunicação entre os elementos do processo produtivo – máquinas, componentes, produtos e pessoas. Para além de comunicar, o novo processo “pensa” e “decide”, tornando-se flexível e, portanto, capaz de atender a demandas específicas. Esses avanços têm o potencial de aumentar a produtividade industrial, fomentar o crescimento econômico e modificar o perfil da força de trabalho, impactando a competitividade das empresas e regiões (KAGERMANN et al., 2013; (RÜSSMAN et al., 2015).



A análise baseada em grandes conjuntos de dados surgiu recentemente no mundo da manufatura, e tanto a academia como os profissionais da indústria têm buscado compreender plenamente suas consequências (ALMADA-LOBO, 2016). Isto tem resultado em avanços na qualidade da produção, eficiência energética e na manutenção equipamentos, para citar algumas áreas (LEE; KAO; YANG, 2014).

No contexto da Indústria 4.0, a coleta e avaliação abrangente de dados de muitas fontes diferentes – equipamentos e sistemas de produção, bem como sistemas de gerenciamento de empresas e clientes – se tornará padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real. O gerenciamento da aquisição, processamento e uso dos dados é fundamental nesse novo paradigma. As possibilidades de aumento de flexibilidade das capacidades oferecidas pela computação em nuvem é relevante (LEE; KAO; YANG, 2014; RÜSSMAN et al., 2015).

A internet das coisas possibilita que diversos dispositivos, incluindo às vezes até mesmo produtos inacabados, estejam conectados entre si, usando tecnologias padrão. Isso permite que os dispositivos de campo se comuniquem e interajam uns com os outros e com controladores mais centralizados, conforme necessário. Também descentraliza a análise e a tomada de decisões, permitindo respostas em tempo real. A IoT utiliza sensores e dispositivos que conectam os equipamentos e permitem o monitoramento e correção e/ou adequação dos processos e atividades da fábrica, permitindo alcançar o nível de qualidade desejado pela empresa (RÜSSMAN et al., 2015; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

Desenvolvimentos recentes de uma estrutura de IoT e o surgimento da tecnologia de detecção criaram uma rede unificada de informações que liga os sistemas e os seres humanos, o que ainda ocupa um grande espaço na indústria. A IoT viabiliza a transformação dos equipamentos da fábrica em CPS. As máquinas neste contexto podem se tornar autoconscientes, evitando potenciais problemas de desempenho. Um sistema de máquina autoconsciente e auto mantido tem capacidade de auto avaliar a sua própria saúde e degradação, e ainda usar informações semelhantes de outros pares para decisões de manutenção inteligente (LEE; KAO; YANG, 2014; BRETTEL et al., 2014).

Nas fábricas inteligentes, os produtos são rastreados por meio de sensores RFID, que coletam e transmitem dados ao longo de todo o processo produtivo. Em caso de falhas ou defeitos, o próprio equipamento realiza as análises e correções de desvios, ou seja, os equipamentos têm o poder de tomar decisões que melhorem o processo. Além disso, esse sistema permite que os próprios produtos definam a melhor forma para serem produzidos,



(LEE; KAO; YANG, 2014; RUSSWURM, 2014; ALMADA-LOBO, 2016; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016).

2.2. Modularização

Modularização refere-se à divisão de sistemas, produtos ou processos em sistemas menores, que funcionam tanto de forma independente, quanto em conjunto. Os componentes estão ligados de forma a minimizar interações, muitas vezes usando interfaces padrão. O uso de módulos permite a produção de uma grande variedade de produtos a partir de recursos existentes e com custos mais baixos (BALDWIN; CLARK, 1994; NUNES et al., 2015; PIRAN et al., 2015; VIERO; NUNES, 2016).

Na manufatura, a modularidade contribui para as economias de escala e escopo na produção. No software, torna o código mais legível e, portanto, fácil de manter. No desenvolvimento de produtos, torna peças de um design global reutilizáveis, resultando em maior eficiência e maior velocidade no processo de desenvolvimento. Para os usuários, a modularidade possibilita projetos personalizados, com menores custos de manutenção e atualização mais eficiente ao longo da vida útil do produto (BALDWIN; CLARK, 1994).

A modularização, além de desafogar a linha de montagem e de operações mais complexas dentro da fábrica tem como vantagem o fato de o custo de operação ser empurrado para o fornecedor dos módulos, assim a empresa torna-se mais rentável e traz uma maior vantagem competitiva (BALDWIN; CLARK, 1994; NUNES; MENEZES, 2014).

Modularidade refere-se ao esquema pelo qual as interfaces compartilhadas entre componentes em uma determinada arquitetura de produto são especificadas e padronizadas para permitir uma maior reutilização e partilha de componentes comuns entre as famílias de produtos (MIKKOLA, 2003).

Um produto modular é um produto complexo, cujos elementos individuais foram concebidos de forma independente e funcionam juntos como um todo sem costura. Este tipo de produto foi rapidamente adotado na indústria de computadores, onde os módulos podem ser pensados como unidades de disco rígido, sistemas operacionais e microprocessadores (SAKO; MURRAY, 1999).

A arquitetura do produto é a disposição dos elementos funcionais de um produto em vários blocos de construção físicos, incluindo o mapeamento de elementos funcionais para componentes físicos e a especificação das suas interfaces. Sua finalidade é definir os blocos físicos básicos do produto, tanto em termos do que eles fazem, quanto de como



suas interfaces se relacionam com o resto do dispositivo. A arquitetura do produto é, geralmente, estabelecida durante o processo de desenvolvimento do produto, isto é, ocorre durante a fase de projeto do nível do sistema do processo depois que os princípios básicos de funcionamento tecnológico foram estabelecidos, mas antes de o projeto de componentes e subsistemas ter começado (MIKKOLA, 2003; CARDOSO; KISTMANN, 2008).

Sistemas modulares têm a capacidade de se adaptar às mudanças nos requisitos de substituição ou expansão de módulos individuais, através de sua flexibilidade. Por isto, os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em caso de variações sazonais ou se houver alterações nas características do produto. Com base em interfaces de software e hardware padronizados, novos módulos podem ser identificados automaticamente e podem ser utilizados de forma imediata através da IoT (HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014). Deste modo, modularização é a adaptação flexível das fábricas inteligentes às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais (RODRIGUES et al., 2016).

A modularização no processo, é uma vantagem principalmente para os negócios com sistemas complexos. No processo, o módulo agrupa componentes montados e fornecidos em uma única unidade. Isto implica em oportunidades de fornecimento para os fabricantes de componentes (CARDOSO; KISTMANN, 2008)

Aplicando uma estratégia de modularização, os sistemas de produção futuros devem ser projetados como soluções que adicionam minimização de risco à maximização de lucro. A fabricação aditiva e da indústria 4.0 irá melhorar significativamente a economia de projetos modulares (MOTHES, 2015).

No próximo capítulo será apresentada a metodologia utilizada neste artigo.

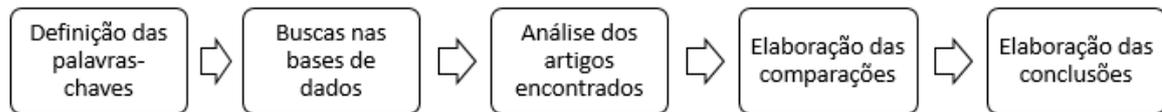
3. Metodologia

Em relação a classificação de pesquisa, esse artigo é de natureza aplicada, de fins exploratórios e abordagem qualitativa. No tocante aos procedimentos técnicos, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, na qual foram buscados referenciais teóricos em livros, artigos, sites, revistas, etc. (PRODANOV; FREITAS, 2013).



O método de trabalho utilizado na pesquisa foi a replicação do método utilizado por Saltiél e Nunes (2017), Tomaszewki et al. (2013) e Nunes e Menezes (2014), conforme apresenta a Figura 1.

Figura 1- Método de trabalho aplicado à pesquisa.



Fonte: Nunes e Menezes (2014), Saltiél e Nunes (2017) e Tomaszewki et al. (2013).

Foram pesquisadas em bases de dados (*Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*), as seguintes palavras-chave, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1: Resultados da busca e palavras-chaves nas bases de dados, no período de 2011 a 2017(abril).

Palavras-chave	<i>Science Direct</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
<i>Industry 4.0</i>	14.247	1072	859
Indústria 4.0	69	4	2
<i>Modularization</i>	222	779	435
Modularização	0	0	0
<i>Industry 4.0 AND Modularization</i>	2	2	1
Indústria 4.0 “E” Modularização	0	0	0

Fonte: autores

A base de dados *Scopus* da editora *Elsevier* contém resumos e citações de literatura científica revisada por pares, totalizando mais de 21.500 revistas e jornais científicos. A base de dados *Science Direct* oferece mais de 13 milhões de publicações de cerca de 2.500 revistas e mais de 33.000 livros da *Elsevier* (ELSEVIER, 2016). A *Web of Science* é uma base de dados da editora Thomson Reuters, revê anualmente entre 3.000 a 4.000 *journals* de artigos científicos, para incluí-los na base. Esses artigos são disponibilizados em mais de 9.200 títulos de periódicos (THOMSON REUTERS, 2016). Sendo assim, juntas essas



três bases de dados, possuem um número considerável de publicações, o que as torna fontes de dados científicos relevantes.

A modularização e a Indústria 4.0 são temas que estão relacionados, contudo, conforme apresentado na Tabela 1, o número de estudos sobre essa relação é escasso. A partir desses achados, torna-se relevante uma análise acerca desse tema. Os artigos encontrados acerca do tema foram analisados (Tabela 2), bem como demais artigos sobre os temas de Indústria 4.0 e Modularização.

Tabela 2 – Artigos encontrados acerca do tema Indústria 4.0 e modularização (Industry 4.0 AND Modularization).

Artigo	Autores	Data	Journal	Base de dados
<i>Individual construction with industrial production – Housing 4.0</i>	Grundke, M., Wildemann, H.	2016	<i>Productivity Management</i> 21(3), pp. 35-38	<i>Scopus</i>
<i>No-Regret Modular Concepts in Times of Complexity and Uncertainty</i>	Mothes, H.	2015	<i>Chemie-Ingenieur-Technik</i> 87(9), pp. 1159-1172	<i>Scopus</i> <i>Web of Science</i>
<i>Automated test generation technique for aspectual features in AspectJ</i>	Parizi, R. Ghani, A.; Lee, S.	2015	<i>Information and Science Software Technology</i> , 57, pp. 463-493	<i>Direct</i>
<i>Operationalised product quality models and assessment: The Quamoco approach</i>	Wagner, S. et al.	2015	<i>Information and Science Software Technology</i> , 62, pp. 101-123	<i>Direct</i>

Fonte: autores

A partir disso foram realizadas as comparações e similaridades dos temas baseando-se nos conteúdos estudados. Após, elaborou-se a discussão entre os achados na literatura, e a etapa de conclusões.



4. Discussão

A flexibilidade é uma das premissas da Indústria 4.0 (INDUSTRIE 4.0 WORKING GROUP et al., 2013; LEE; KAO; YANG, 2014; BRETTEL et al., 2014; RÜSSMAN et al., 2015; ALMADA-LOBO, 2016). A modularização de produtos pode ser pertinente a esse tema, pois aumenta a flexibilidade da oferta por meio de diferentes combinações de módulos. Desta forma, pode-se oferecer maior valor ao cliente, com soluções específicas, sem custos extraordinários, configurando uma produção em massa personalizada (BALDWIN; CLARK, 1994; NUNES; MENEZES, 2014; NUNES et al., 2015; PIRAN et al., 2015; VIERO; NUNES, 2016; MÜLLER-SEITZ et al., 2016).

Uma das bases da Indústria 4.0 é a modularização do processo produtivo. Esta faz com que as fábricas tenham a capacidade de substituir, expandir ou reordenar seus módulos, adaptando-se facilmente às mudanças de mercado e da cadeia de suprimentos e tendo resiliência quando há falha de equipamentos. (HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014; RODRIGUES *et al.*, 2016).

A modularização permite que outros modelos de negócio sejam trabalhados, os módulos da fábrica conversam entre si, tornando mais fácil a modificação do processo produtivo, utilizando para isto processos inovadores e cooperativos, tornando-o mais eficiente, sem perder a capacidade de personalizar seus produtos (MÜLLER-SEITZ et al., 2016).

A utilização de módulos no projeto de produto pode facilitar a leitura destes pelo software (BALDWIN; CLARK, 1997; CARDOSO; KISTMANN, 2008). A modularidade também possibilita uma velocidade maior no desenvolvimento dos produtos, o que é um fator importante de competitividade. Além disso, para projetos personalizados, o custo pode ser reduzido (BALDWIN; CLARK, 1994; HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014; RODRIGUES et al., 2016).

Algumas características da Indústria 4.0 se relacionam com a modularização, tanto de produto, como de processo. A flexibilidade, permite a fácil adaptação a mudanças, através da expansão e/ou substituição dos módulos, utilizando as tecnologias inteligentes da Indústria 4.0 (BALDWIN; CLARK, 1994; HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014; NUNES; MENEZES, 2014; NUNES ET AL., 2015; PIRAN ET AL., 2015; VIERO; NUNES, 2016; MÜLLER-SEITZ ET AL., 2016; RODRIGUES ET AL., 2016).

A utilização de RIFD também é uma das características da Indústria 4.0, estabelece uma relação com a modularização, pois o software realiza a leitura com uma facilidade maior, visto que terá que identificar um conjunto de componentes, ou seja, módulos, e não mais



componentes individuais (BALDWIN; CLARK, 1997; CARDOSO, KISTMANN, 2008; SCHRÖDER ET AL., 2015).

Ainda há a integração entre os processos, que possibilita configurações de produtos e de processo mais rápidas, visto que partes dos produtos conversam entre si, e podem ser configuradas de diferentes formas, resultando em produtos diferentes, conforme a configuração utilizada. A mesma ideia pode ser utilizada para os processos, resultando em configurações diversas de fábricas (BALDWIN; CLARK, 1994; HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014; MÜLLER-SEITZ ET AL., 2016; RODRIGUES ET AL., 2016; VIERO; NUNES, 2016.)

A Tabela 3 apresenta de forma sintética estas relações.

Tabela 3 - Relações entre a Indústria 4.0 e modularização em produto e em processo

Indústria 4.0	Modularização em projeto	Modularização em processo	Relações	Autores
Flexibilidade	Flexibilização dos projetos de novos produtos; Maior ciclo de vida do produto. Maior configuração e incremento no <i>mix</i> de produtos (acabados e semiacabados).	Flexibilização dos processos e operações; Maior ciclo de vida das instalações fabris. Maior velocidade na adaptação dos processos produtivos para o atendimento às demandas.	Flexibilização dos produtos e do processo a partir da aplicação de módulos, atendendo às demandas dos clientes por produtos customizados. As fábricas têm a capacidade de substituir ou expandir seus módulos, se adaptando facilmente a mudanças, através das tecnologias inteligentes que a Indústria 4.0 utiliza.	BALDWIN; CLARK, 1994; HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014; NUNES; MENEZES, 2014; NUNES ET AL., 2015; PIRAN ET AL., 2015; VIERO; NUNES, 2016; MÜLLER-SEITZ ET AL., 2016; RODRIGUES ET AL., 2016.
Leitura através de RIFD	Módulos cadastrados no sistema (<i>part numbers</i> específicos à cada subsistema, partes e componentes).	Produção realizada com base em módulos; Integração e interface amento de módulos com maior agilidade (processo <i>plug-in-play</i>)	A leitura feita pelo software é realizada com uma maior facilidade, visto que o software terá que identificar um conjunto de componentes identificado com RIFD e não mais componentes individuais.	BALDWIN; CLARK, 1997; CARDOSO, KISTMANN, 2008; SCHRÖDER ET AL., 2015.
Integração entre os processos	Partes de produto que conversam entre si, que podem ser conectadas de diferentes formas, resultando em diversas configurações de produtos.	Partes de processo, que podem ser conectadas de diferentes formas (<i>plug-and-work</i>), resultando em diversas configurações de planta.	Possibilidade de rápidas configurações de produto e de processo	BALDWIN; CLARK, 1994; HERMANN, PENTEK; OTTO, 2014; MÜLLER-SEITZ ET AL., 2016; RODRIGUES ET AL., 2016; VIERO; NUNES, 2016.



II Simpósio Gaúcho de Engenharia de Produção
Novo Hamburgo/RS, Brasil, 17 e 18 de agosto de 2017.

Fonte: autores

A tabela demonstra que os dois tipos de modularização – de produto e de processo – estão relacionados. Entende-se que, apesar de o foco da Indústria 4.0 ser nesta última, a modularização de produtos pode potencializar os benefícios esperados. A seguir são apresentadas as considerações finais deste artigo.

5. Considerações Finais

Esse artigo teve como objetivo analisar a estratégia de modularização e como a sua aplicação no desenvolvimento de produtos inteligentes impacta na Indústria 4.0.

A Indústria 4.0 utiliza diferentes tecnologias para gerir os processos de forma que tudo esteja integrado, desde o desenvolvimento de produtos até a sua distribuição ao longo da cadeia de suprimentos. Além disto, na Indústria 4.0 os elementos envolvidos no processo, comunicam, pensam e decidem, tornando o processo produtivo muito mais flexível, desta forma, as empresas são capazes de atender demandas específicas advindas de um mercado cada vez mais exigente.

A modularização por sua vez, dividindo os produtos ou processos em partes distintas que funcionam separadas ou em conjunto, possibilita para a empresa otimizar seu processo produtivo. Acredita-se que a modularização dos produtos pode influenciar a flexibilidade da Indústria 4.0.

A utilização de módulos identificados e rastreados por sensores no processo produtivo, pode gerar ganhos de escala, sem perder a flexibilidade, pois ao invés de se trabalhar com os dados de cada peça, trabalha-se com os dados de conjuntos de peças.

Nos artigos analisados, porém, não foi possível identificar uma combinação das abordagens. O que neste estudo entende-se ser viável e até mesmo benéfico, não tem sido usualmente abordado nas pesquisas existentes. Nesse sentido, investigações empíricas com o objetivo de verificar o quanto a modularização de produto colabora com a modularização de processo da Indústria 4.0 são importantes para que se evidenciem esses benefícios.

REFERÊNCIAS

ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of Innovation Management**, v. 3, n. 4, p. 17, 2016.



BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Modularity-in-design: An analysis based on the theory of real options. Harvard Business School, 1994. **Harvard Business School**, 1994a.

BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in an age of modularity. **Harvard Business Review**, v. 75, n. 5, p. 84–93, 1997.

BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37–44, 2014.

BRODHAGEN, A. et al. Erhöhung der Wirtschaftlichkeit durch beschleunigte Produkt- und Prozessentwicklung mit Hilfe modularer und skalierbarer Apparate. **Chemie-Ingenieur-Technik**, v. 84, n. 5, p. 624–632, 2012.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. **WW Norton & Company.**, p. 420–421, 2014.

CARDOSO, M. A.; KISTMANN, V. B. Modularização E Design Na Indústria Automotiva : O Caso Do Modelo Fox Da Volkswagen Do Brasil. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 4, p. 146–169, 2008.

CARRELL, J. et al. Review and future of active disassembly. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 2, n. 4, p. 252–264, 2009.

CHESBROUGH, H.; PRENCIPE, A. Networks of innovation and modularity: a dynamic perspective. **International Journal of Technology Management**, v. 42, n. 4, p. 414, 2008.

DEMMINGER, C. et al. The Concept of Technical Inheritance in Operation: Analysis of the Information Flow in the Life Cycle of Smart Products. **Procedia Technology**, v. 26, p. 79–88, 2016.

DORAN, D. Supply chain implications of modularization. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 3, p. 316–326, 2003.

GERSHENSON, J. K.; PRASAD, G. J.; ZHANG, Y. Product modularity: Definitions and benefits. **Journal of Engineering Design**, v. 14, n. 3, p. 295–313, 2003.

GORECKY, D. et al. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. **Proceedings - 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2014**, p. 289–294, 2014.



ISMAIL, S. **Exponential Organizations: Why new organizations are ten times better, faster, and cheaper than yours (and what to do about it)**. New York - NY: Diversion Books, 2014.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 3–8, 2014.

MIKKOLA, J. H. Modularity , outsourcing , and inter-firm learning. **R&D Management**, v. 33, n. 4, p. 439–454, 2003.

MOTHES, H. No-Regret-Lösungen - Modulare Produktionskonzepte Für komplexe, unsichere Zeiten. v. 87, n. 9, p. 1159–1172, 2015.

MÜLLER-SEITZ, G. et al. Towards Network-based Business Model Innovation – The Example of the SmartFactory. **Conference: European Group for Organizational Studies**, v. 32, 2016.

NETLAND, T. Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way? **International Journal of Production Research**, v. 51, n. May 2015, p. 1–14, 2012.

NUNES, F. D. L. *et al.* Análise da modularização como estratégia em desenvolvimento de produtos The modularisation as a strategy in product development: an analysis. **Revista Espacios Caracas**, v. 35, n. 13, p. 5, 2014.

NUNES, F. D. L.; ROCHA, M. V.; ANTUNES JR, J. A. V. Modularização - conceitos, abordagens e benefícios: uma revisão teórica. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 10, n. 2, p. 1–22, 2014.

NUNES, F. L. et al. Impactos no lead time na produção a partir da adoção da modularização de projeto : um estudo de caso em uma empresa fabricante de ônibus brasileira . **Revista Espacios Caracas**, v. 36, n. 13, p. 2, 2015.

NUNES, F. L.; VACCARO, G. L. R.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. The development of the Hyundai Production System: The historical evolution. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, n. Part 1, p. 47–57, 2017.

NUNES, F. L. DE; MENEZES, F. M. Sistema Hyundai de Produção e Sistema Toyota de Produção: Suas Interações e Diferenças. **Revista Acadêmica São Marcos**, v. 4, n. 2, p. 101–120, 2014.



PARK, H.-S.; TRAN, N.-H. An autonomous manufacturing system for adapting to disturbances. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 56, n. 9–12, p. 1159–1165, 2011.

PARNAS, D. L. **On the criteria to be used in decomposing systems into modules** *Communications of the ACM*, 1972.

PIRAN, F. A. S. et al. Modularization strategy: analysis of published articles on production and operations management (1999 to 2013). **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1–13, 2015.

PIRAN, F. A. S. et al. Product modularity and its effects on the production process: an analysis in a bus manufacturer. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173–178, 2016.

RIEL, A. et al. Integrated design for tackling safety and security challenges of smart products and digital manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, n. 2016, 2017.

ROBLEK, V. et al. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, p. 16–21, 2016.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A Complex View of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, p. 1–11, 2016.

RÜSSMAN, M. et al. Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing. **Boston Consulting**, n. April, p. 1–5, 2015.

RUSSWURM, S. Industry 4.0 - from vision to reality. **Background Information**, p. 1, 2014.

SAKO, M. Modularity and Outsourcing: The Nature of Co-Evolution of Product Architecture and Organisation Architecture in the Global Automotive Industry. **North**, p. 1–40, 2002.

SAKO, M.; MURRAY, F. Modular strategies in cars and computers. **Financial Times**,



v. 12, p. 1999, 1999.

SALTIÉL, R. M. F.; NUNES, F. **A indústria 4.0 e o sistema Hyundai de produção: suas interações e diferenças.** V SIMEP - Simpósio de Engenharia de Produção. **Anais...**Joinville: 2017

SCHLECHTENDAHL, J. et al. Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments. **Production Engineering**, v. 9, n. 1, p. 143–148, 2014.

SCHRÖDER, R. et al. Análise da Implantação de um Processo Automatizado em uma Empresa Calçadista : Um Estudo de Caso a Luz do Sistema Hyundai de Produção e a Indústria 4.0. **Revista Espacios Caracas**, v. 36, n. 18, p. 19, 2015.

SCHUH, G. et al. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 19, n. C, p. 51–56, 2014.

SOMMER, L. Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 8, n. 5, p. 1512–1532, 2015.

STARR, B. M. K. Modular Production - A New Concept. **Harvard Business Review**, v. November-D, n. 1, p. 131–142, 1965.

STARR, M. K. Modular production – a 45-year-old concept. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 30, n. 1, p. 7–19, 2010.

STEPHAN, M.; PFAFFMANN, E.; SANCHEZ, R. Modularity in cooperative product development: the case of the MCC “smart” car. **Int. J. Technology Management**, v. 42, n. 4, p. 439–458, 2008.

TOMASZEWKI, L. A. et al. Comparando Os Sistemas De Produção : Uma Perspectiva Do Sistema Toyota De Produção X Sistema Hyundai De Produção. **Anais do XXIII - Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP**, 2013.

TU, Q. et al. Measuring modularity-based manufacturing practices and their impact on mass customization capability: a customer-driven perspective. **Decision Sciences**, v. 35, n. 2, p. 147–168, 2004.

VEZA, I.; MLADINEO, M.; GJELDUM, N. Managing innovative production network of smart factories. **IFAC-PapersOnLine**, v. 28, n. 3, p. 555–560, 2015.

VIERO, C. F.; NUNES, F. L. Module, modularity, modularization modular product: A



theoretical analysis about the conceptual historical evolution. **Espacios**, v. 37, n. 3, 2016.

WANG, S. et al. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 2016, 2016.

WEYER, S. et al. Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 31, p. 97–102, 2016.