

Uma análise bibliográfica da modularização na literatura e indicação de possíveis pontos de integração entre as diferentes abordagens

Danieli Tartas (Universidade Federal de Santa Catarina) danielitartas@gmail.com
Steffan Macali Werner (Universidade Federal de Santa Catarina) steffan_m_w@yahoo.com.br
Guilherme Luz Tortorella (Universidade Federal de Santa Catarina) gtortorella@bol.com.br

Resumo:

O objetivo deste trabalho é apresentar um panorama do tema modularização na literatura nos últimos anos, de forma a identificar e comparar os diferentes métodos e aplicações mais utilizados, além de apontar possíveis pontos de similaridade entre as abordagens. A metodologia utilizada foi uma revisão sistematizada em diferentes bases de dados, onde os trabalhos encontrados foram filtrados, classificados e comparados. Nas pesquisas resultantes foram identificados e apontados tópicos e aplicações similares sobre o tema, e indicadas possíveis maneiras de abordar simultaneamente os diferentes tipos de modularização. A pesquisa mostrou que ferramentas e técnicas já conhecidas podem auxiliar em diferentes abordagens de modularidade em um único processo, e assim torná-la mais eficiente para empresas.

Palavras chave: Modularidade, Modularização, Desenvolvimento de Produtos, Serviços, Revisão Bibliográfica.

A literature review of modularization and an indication of possible integration points among different approaches

Abstract

The goal of this work is to present a perspective of the modularization topic in the academic research in the latest years, to identify and to compare the different methods and applications more used and in order to indicate possible points of similarity among the approaches. The methodology used was a systematic review in different scientific database, and then the publications were filtered, categorized and compared. In the resulting publications, similar topics and applications about the subject were identified and pointed, and so possible ways to approach the different kinds of modularization simultaneously were indicated. The work demonstrated that well-known tools and technics could support in the management of different modularity approaches in a single process, making it more efficient to companies.

Key-words: Modularity, Modularization, Product Development, Services, Literature Review

1. Introdução

Diante de uma economia dinâmica e comercial, onde a tecnologia permite o desenvolvimento de novos produtos e serviços a uma alta velocidade, as empresas cada vez mais buscam estratégias e métodos que permitam otimizar os processos de desenvolvimento de novos produtos e serviços. A modularidade surge como uma alternativa adotada por muitas organizações para agilizar e aprimorar esses processos e manter a competitividade no mercado.

A modularidade consiste um sistema complexo formado por unidades menores (módulos), que podem ser tratados individualmente. A interface dos módulos é o que indica como os elementos agem com todo o sistema (BALDWIN; CLARK, 1999). Os módulos, segundo

Rodrigues, Carnevalli e Miguel (2012), podem ser feitos e testados separadamente de forma simultânea, sendo integrados posteriormente.

Uma das vantagens do uso da modularidade é a possibilidade de separação de produtos complexos, isto é, produtos com grande número de componentes e interações em componentes individuais, tratando-os separadamente, facilitando assim o seu desenvolvimento ou alterações (CABIGIOSU; ZIRPOLI; CAMUFFO, 2013).

Atualmente a literatura classifica a modularidade em cinco segmentos: modularidade de projeto (desenvolvimento de produtos), de processos, de uso, organizacional e de serviços.

Embora o tema da modularização esteja presente em quantidade expressiva de publicações científicas, nota-se que ainda são restritas as pesquisas que abordam conjuntamente diferentes tipos de modularidade em um mesmo estudo. Este trabalho tem como principal objetivo identificar na literatura as principais publicações recentes com o tema e comparar os diferentes métodos e aplicações utilizados. Com isso, pretende-se encontrar pontos de similaridade entre os tipos de modularidade e indicar possíveis maneiras de integração.

A metodologia foi realizada com uma pesquisa em bases de dados científicas, seguida pela seleção dos artigos mais significativos sobre o tema nos últimos anos. Os estudos encontrados foram classificados de acordo com a forma de modularidade apresentada, e na sequência comparados, de modo a facilitar a visualização dos pontos onde seria possível realizar a integração entre os tipos de modularidade.

2. Fundamentação

2.1. Modularidade

Muitos autores caracterizam a modularidade como um termo complexo e de difícil definição. Baldwin e Clark (1999), descrevem como uma estrutura que procura minimizar a independência entre os módulos e maximizar a interdependência no módulo sem alterar a funcionalidade e a performance do sistema como um todo. Este pode ser considerado como um conceito versátil, que pode ser utilizado para resolver uma variedade de problemas de projeto. Os princípios desta definição são: tarefas independentes, interfaces limpas, hierarquias aninhadas e a separação de informações ocultas e visíveis.

Os mesmos autores também afirmam que a grande vantagem da modularidade é a possibilidade de gerenciar um sistema complexo ou resolver um problema por meio de uma divisão em partes menores, tornando possível visualizar todos os pontos do sistema (BALDWIN E CLARK, 1999).

A literatura indica que a modularidade iniciou com o desenvolvimento de computadores, quando em 1964 a empresa IBM (*International Business Machines*) lançou o IBM's System/360. Neste projeto os desenvolvedores elaboraram peças de forma segregada, o que possibilitava a troca ou a atualização de peças sem a necessidade de refazer todo o projeto (BALDWIN e CLARK, 1999). O resultado desse sistema foi que a IBM obteve um grande sucesso comercial e financeiro, pois também possibilitou a compatibilidade com softwares já existentes no mercado. Essa abordagem também aumentou os domínios da IBM a longo prazo, pois, várias outras empresas passaram a produzir módulos compatíveis a essas máquinas, como impressoras, memórias, softwares e CPU's.

2.2 Módulo

Um conjunto modular é considerado como um agregado de unidades denominadas módulos. Hilstron (1994), define módulo como um ou mais componentes (sub-montagens) que atendem alguns requisitos, como a habilidade para suportar testes funcionais, adaptabilidade (em

relação à função), interfaces padronizadas e grande possibilidade de trocas.

Cabigiosu, Zirpoli e Camuffo (2013), descrevem que o módulo é uma parte independente do todo, e interdependente dentro de suas funções. Como características marcantes, os módulos podem ser separados do resto do todo; eles são isoláveis, e autossuficientes dentro de suas funções, além de poderem ser recombinados com outros componentes, possibilitando a formação de novos produtos ou serviços.

2.3 Abordagens da Modularidade

A modularidade, segundo Baldwin e Clark (1999) pode ser abordada em três formas distintas, sendo elas: modularidade no projeto de um artefato (produto), modularidade na produção e modularidade no uso.

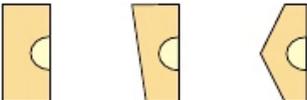
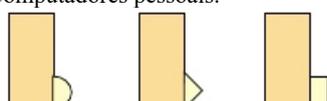
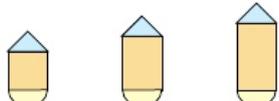
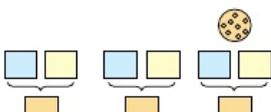
No entanto, Kubota e Miguel (2013), afirmam que recentemente a temática modularidade também vem sendo abordada no contexto organizacional e de serviços, mas carecendo ainda de pesquisas e explorações no contexto prático.

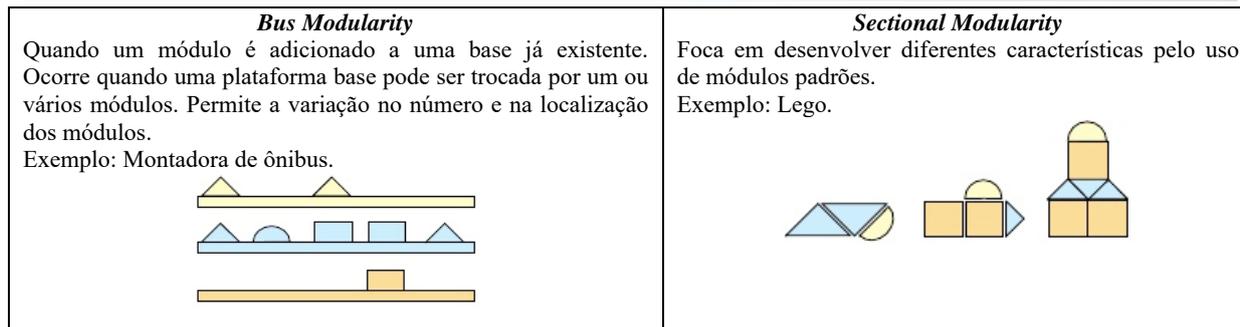
2.3.1 Projeto de Produto

Para projetos de produtos a modularidade destaca-se por poder proporcionar rapidez no processo de desenvolvimento, além da possibilidade de alterações de produtos entre diferentes módulos. A literatura cita duas regras a serem seguidas para aumentar a modularidade em uma plataforma de produto: maximizar a semelhança funcional e/ou física de membros de uma família de produtos, de forma que a alteração de um único componente não altere todo o conjunto; e minimizar o grau de interação entre os componentes físicos, para que assim a elaboração de diferentes produtos com os mesmos módulos seja facilitada (ALGEDDAWY e ELMARAGHY, 2013).

Campagnolo e Camuffo (2010) propõem uma definição de modularidade de produtos que aborda a perspectiva funcional, ou seja, tecnicamente voltada para os componentes, funções e orientações. Os autores consideram como funções os graus de modularidade de um produto em relação aos módulos, e denominam de interfaces as ligações entre esses módulos.

A aplicação da modularidade na concepção de um projeto ou produto pode ser abordada em variadas formas, de acordo com diferentes critérios. A literatura classifica a modularidade de produtos em seis tipos, conforme a interação com o produto (WOLTERS, 2002). Na Figura 1 são apresentadas as principais características desses tipos:

<p align="center">Component – Sharing Modularity</p> <p>Ocorre quando dois ou mais diferentes módulos são combinados com uma plataforma básica, criando variantes de produtos pertencentes à mesma família.</p> 	<p align="center">Component-Swapping Modularity</p> <p>Possibilidade de trocar produtos padrão. Várias plataformas básicas dividindo o mesmo módulo formam variedades de produtos com a mesma família. Exemplo: Computadores pessoais.</p> 
<p align="center">Cut-to-Fit Modularity</p> <p>Altera a dimensão dos módulos antes de combinar com outros módulos. Usado quando os produtos tem uma única dimensão.</p> 	<p align="center">Mix Modularity</p> <p>Quando os módulos são combinados e como consequência perdem sua identidade própria. Exemplo: Pintura de casas.</p> 



Fonte: Adaptado de Wolters (2002) e Drawpacks Business Diagrams (2015).
 Figura 1 – Tipos de modularidade para a customização em massa de produtos e serviços.

2.3.2 Produção

A modularidade de produção é definida como um meio de simplificar o processo de produção e de montagem, pois, consiste na configuração de módulos voltados para a produção, facilitando as configurações finais dos produtos (ARNHEITER e HARREN, 2005; SAKO; MURRAY, 1999).

Outra abordagem de modularização na produção é a apresentada por Schuh et al. (2003), que mostra a possibilidade de se reduzir a dependência da produção em ambientes turbulentos pela modularidade. Os autores apresentam como principal objetivo garantir que impactos da produção afetem apenas pequenos módulos, podendo dessa forma corrigir ou alterar facilmente com o auxílio de três conceitos: *Resource Box*, *MPA (Modular Plant Architectures) Methodology*, e *MPA Software Tools*. *Resource Box* é considerada a base da configuração modular, e consiste em um conjunto de módulos de produção já padronizados, possibilitando a simplificação dos projetos de produção quando utilizado em múltiplos locais de produção. *MPA Methodology* descreve procedimentos para projetos modulares; e *MPA Software Tools* corresponde a um conjunto de softwares que auxiliam nos projetos com testes e simulações de controle de produção.

2.3.3 Serviço

A modularização de serviços é considerada como uma forma de gerenciar a complexidade e balancear a customização dos serviços com eficiência. O maior benefício é a possibilidade de permitir que o cliente possua um grau de flexibilidade nas suas escolhas. Esse tipo de modularidade é visto como um meio para combinar estrategicamente sub-processos de serviços (CARLBORG e KINDSTRÖM, 2014).

Pekkarinen e Ulkuniemi (2008), destacam que a modularidade é capaz de melhorar o custo benefício das operações de serviços e gerar um aumento de heterogeneidade na demanda. A literatura também aponta para uma relação positiva entre serviços e modularidade no quesito de performance, pois, com a padronização das partes de um sistema de serviço, há um ganho de eficiência com o gerenciamento da complexidade (DAVIES, BRADY e HOBDDAY, 2007).

Hyötläinen e Möller (2007), defendem que o principal objetivo da modularização em serviços é agregar funcionalidades individuais para permitir outras funcionalidades semelhantes em um mesmo módulo, e assim ser possível reutilizar cada módulo o máximo possível. Essa configuração permite uma customização específica para cada consumidor, pois, ele mesmo pode agregar diferentes serviços de um dado conjunto de módulos, e construir um processo de serviço específico para suas necessidades (CARLBORG e KINDSTRÖM, 2014).

Wemmerlöv (1990), também caracterizou os serviços de acordo com o processo do serviço, podendo ser rígido ou fluído. Processos de serviços rígidos são bastante formalizados e

centralizados, apresentando alta padronização de processos e baixa variedade de tarefas. Por outro lado, processos fluídos possuem a capacidade de customização e são direcionados para serem processados pelos próprios consumidores, exigindo dos fornecedores mais capacidade técnica para conseguir gerenciar essa variedade na demanda.

Diante desse contexto, Carlborg e Kindström (2014), propuseram um modelo que diferencia os módulos de serviços em quatro tipos, dependendo do papel do consumidor (ativo ou passivo) e do nível do processo de serviço (rígido ou fluído).

3 Revisão bibliográfica sistemática

O método utilizado para a elaboração deste trabalho foi uma revisão sistematizada, que consiste no processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de artigos científicos (LEVY e ELLIS, 2006).

Utilizou-se como fontes primárias os periódicos científicos disponibilizados em bases de dados apresentadas no Portal de Periódico Capes, onde foram selecionadas as bases de dados *Scopus* e *ScienceDirect*. A *string* de busca utilizada foi atribuída conforme os assuntos de interesse para a pesquisa, sendo ela: “(*Product development*” OR *Process* OR *Layout* OR *Service*) AND (*Modularity* OR *Modularization*) AND NOT (*IT* OR *Software*)”.

Os critérios de inclusão dos artigos baseiam-se nas palavras-chave e restrições da pesquisa. A *string* foi pesquisada no título, resumo e palavras-chave. As restrições são citadas como a data de publicação dos trabalhos, onde foram restringidos apenas trabalhos dos últimos cinco anos (2010 – 2015). Também foi estabelecido a restrição para somente artigos publicados em periódicos, e em inglês. Os itens em duplicidade foram removidos e foi realizada a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave. Na sequência, foi verificada a disponibilidade dos textos completos.

Com estas buscas, retornaram 268 itens na base de dados *ScienceDirect* e 646 itens na *Scopus*. Após o processo de filtragem, foram removidos 119 artigos duplicados. Como resultado obtive-se 33 artigos, com textos completos disponíveis, e alinhados com o tema buscado, os quais foram lidos e analisados.

4 Análise de dados

Os artigos selecionados são apresentados no Quadro 1:

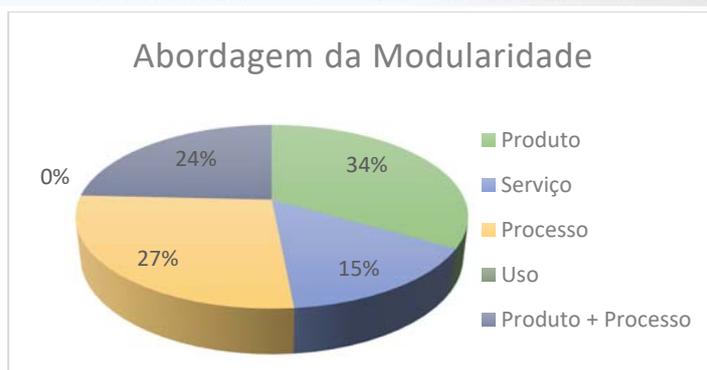
Autor / Ano	Título	Objetivo
Bi, et al., (2015)	<i>Reusing industrial robots to achieve sustainability in small and medium-sized enterprises (SMEs)</i>	Ilustrar a importância da reestruturação, reutilização, remanufatura, recuperação, reciclagem e redução (6R) para a fabricação sustentável utilizando robôs modulares.
Bruun, et al., (2015)	<i>PLM system support for modular product development</i>	Faz uma representação visual da arquitetura de um produto em combinação com um sistema de PLM para apoiar o desenvolvimento de uma família modular de produtos.
Da Rocha, Formoso, Tzortzopoulos, (2015)	<i>Adopting product modularity in house building to support mass customisation</i>	Aborda a modularidade de um produto para que ele possa ser utilizado na indústria de construção civil
Jo, et al., (2015)	<i>Development of Autonomous Car - Part II: A Case Study on the Implementation of an Autonomous Driving System Based on Distributed Architecture</i>	Desenvolve uma metodologia que habilita o projeto de desenvolvimento de carros autônomos, diminuindo a complexidade computacional, características de tolerância a falhas e modularidade do sistema.

Larsen, (2015)	<i>Failing to estimate the costs of offshoring: A study on process performance</i>	Investiga uma estimação de erros de custos no contexto de <i>offshoring</i> . Argumenta que essa estimativa imprecisa de custos pode ser ocasionada entre outros motivos pelo uso da modularidade para coordenar atividades.
Scalice, et al., (2015)	<i>Modular deployment using TRM and function analysis</i>	Realiza uma análise preliminar modular para plataformas de produtos de base nos resultados de TRM, utilizando técnicas de análise funcional.
Song, et al., (2015)	<i>Modularizing product extension services: An approach based on modified service blueprint and fuzzy graph</i>	Propõe um aprimoramento da eficiência e flexibilidade do projeto de PES por meio de <i>blueprint</i> e gráficos <i>fuzzy</i> .
Wagner, et al., (2015)	<i>Developing products for changeable learning factories</i>	Propõem uma abordagem de design para produtos que não podem ser processados usando fábricas de aprendizagem mutáveis para mostrar todos os seus recursos.
Bruun, Mortensen, Harlou, (2014)	<i>Interface diagram: Design tool for supporting the development of modularity in complex product systems</i>	Apresentar uma ferramenta de projeto visual de interface que visa apoiar o processo de desenvolvimento de modularidade em sistemas complexos de produtos.
De Blok, et al., (2014)	<i>Interfaces in service modularity: A typology developed in modular health care provision</i>	Melhora a descrição das interfaces de módulos de serviços, concentrando-se em propriedades da interface e função, na prestação de pacotes modulares de serviços na rede de saúde.
Hehenberger, (2014)	<i>Perspectives on hierarchical modeling in mechatronic design</i>	Identificar qual a hierarquia e granularidade apropriada para um sistema de mecatrônica, e como a consistência do modelo pode proporcionar a garantir o processo de desenvolvimento de produtos.
Kristianto, Helo, (2014)	<i>Product architecture modularity implications for operations economy of green supply chains</i>	Investiga se a remanufatura e modernização modular é apropriada em determinados períodos e módulos.
Strube, et al., (2014)	<i>Efficient engineering and production concepts for products in regulated environments - Dream or nightmare?</i>	Discute os diferentes aspectos considerados de economia de escala, alta flexibilidade e plantas de baixo volume.
Wang, et al., (2014)	<i>Modularity in building mass customization capability: The mediating effects of customization knowledge utilization and business process improvement</i>	Apresenta uma relação entre a modularidade do produto/processo, práticas organizacionais de aprendizado e a capacidade de MC (Customização em Massa).
Wulfsberg, et al., (2014)	<i>A function integrated and intelligent mechanical interface for small modular machine tools</i>	Explora a modularidade por um uma interface mecânica inteligente de uma ferramenta de usinagem.
Yang, Yu, Jiang, (2014)	<i>A modular method of developing an eco-product family considering the reusability and recyclability of customer products</i>	Apresenta um método sistemático para desenvolver uma família de produtos eco modulares para melhorar a reutilização e reciclagem de resíduos.
Allones, et al., (2013)	<i>SNOMED CT module-driven clinical archetype management</i>	Usar a modularidade para melhorar o gerenciamento de uma base de dados clínicos.
Cabigiosu, Zirpoli, Camuffo, (2013)	<i>Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry</i>	Investiga como montadoras e fornecedoras definem as interfaces de componentes de veículos em projetos de codesenvolvimento de componentes.
Chang, Wang, Wang, (2013)	<i>A systematic approach for green design in modular product development</i>	Propõe utilizar o QFD (<i>Quality Function Deployment</i>) e o DSM (Matriz de estrutura de projeto) no conceito modular para conseguir o desenvolvimento de produtos ecológicos desde a fase de projeto até a fabricação

Chen, Xiao, (2013)	<i>A dynamic intelligent decision approach to dependency modeling of project tasks in complex engineering system optimization</i>	Aborda a decisão inteligente para a modelagem de tarefas de projetos em sistemas de otimização de engenharia complexa.
Danese, Filippini, (2013)	<i>Direct and mediated effects of product modularity on development time and product performance</i>	Analisa o impacto da modularidade de produto no tempo do Processo de Desenvolvimento, e se o envolvimento de fornecedores pode influenciar no tempo do desenvolvimento.
Ji, et al., (2013)	<i>Green modular design for material efficiency: a leader-follower joint optimization model</i>	Traz uma abordagem total do sistema de modularidade de design verde e enfatiza o alcance da modularidade na reutilização de materiais.
Batet, et al., (2012)	<i>Turist@: Agent-based personalised recommendation of tourist activities</i>	Apresentar um sistema de recomendações para turistas de atividades durante uma viagem.
Carvalho, et al., (2012)	<i>Reducing fuel consumption through modular vehicle architectures</i>	Buscar uma solução de redução de peso de um veículo por meio de sua reconfiguração, durante o seu ciclo de vida.
Cheng, et al., (2012)	<i>A product module identification approach based on axiomatic design and design structure matrix</i>	Propõe um método de modularidade baseado em AD (projeto axiomático) e DSM por uma compreensão de FRs (Requisitos Funcionais).
Droge, Vickery, Jacobs, (2012)	<i>Does supply chain integration mediate the relationships between product/process strategy and service performance? An empirical study</i>	Investiga o papel da integração da cadeia de suprimentos nos efeitos da modularidade de produtos e processos na estratégia de serviços
Geum, Kwak, Park, (2012)	<i>Modularizing services: A modified HoQ approach</i>	Propõem uma Casa da Qualidade para a estrutura do QFD como uma ferramenta para modularizar serviços
Kong, et al., (2012)	<i>Framework of a representation model for modular product development</i>	Propõe como uma base para realizar o MPD (<i>Modular Product Development</i>) por um processo automatizado de computador.
Arauzo-Azofra, Aznarte, Benítez, (2011)	<i>Empirical study of feature selection methods based on individual feature evaluation for classification problems</i>	Usar a modularização para escolher métodos de aprendizagem.
Jacobs, et al., (2011)	<i>Product and process modularity's effects on manufacturing agility and firm growth performance</i>	Analisa o papel da modularidade de produto e processo como determinantes no desempenho.
Queudeville, et al., (2011)	<i>Design methodology for modular tools</i>	Metodologia para o projeto flexível de ferramentas modulares e moldes.
Schuh, Kampker, Wesch-Potente, (2011)	<i>Condition based factory planning</i>	Mudar o paradigma de processos consecutivos para uma abordagem modular, paralela, que possa ser reconfigurada, de acordo com as necessidades de novos projetos
Wang, et al., (2011)	<i>Modular development of product service systems</i>	Propõem um framework para desenvolvimento modular de PPS (<i>Product-Process System</i>).

Fonte: Elaborado pelos Autores (2015).
 Quadro 1: Abordagem da modularidade.

A Figura 2 apresenta o tipo de abordagem da modularidade nos artigos selecionados, onde aparece em maior quantidade a modularidade de produtos com 34% (11 artigos), seguida pela modularidade de processos com 27% (9 artigos) (Figura 2).



Fonte: Elaborado pelos Autores (2015).
 Figura 2: Abordagem da modularidade.

De acordo com o tipo de artigo, dentre os 33 artigos analisados, foram identificados 82% (27 artigos) empíricos e 18% (6 artigos) teóricos.

5 Discussões

Entre os trabalhos selecionados, ressalta-se a variação de áreas de foco dos *journals*, entre eles, produção sustentável, eletrônica, computação, logística, processos químicos, entre outros. Essa variedade de assuntos mostra como a modularização vem sendo aplicada em diferentes áreas.

Conforme observado pelos tipos de trabalhos, nota-se a predominância de pesquisas empíricas sobre as teóricas. Constata-se que há mais pesquisas voltadas à aplicação de metodologias de modularidade, testando e aprimorando, do que no desenvolvimento de novos modelos.

Entre os tipos de modularidade abordados pelos trabalhos selecionados, acentua-se a quantidade significativa de pesquisas envolvendo a integração entre produto e processos, no entanto, situação que não foi observada com serviços. Pela literatura, verifica-se que a modularização em serviços é um assunto ainda pouco abordado, necessitando de maior desenvolvimento e experimentação (KUBOTA; MIGUEL, 2013).

As contribuições dos trabalhos pesquisados variam quanto a sua abordagem, no entanto, foi identificada uma quantidade expressiva de trabalhos que citam o desenvolvimento de produtos com enfoque ambiental (YANG, YU e JIANG, 2014; JI, JIAO, CHEN e WU, 2013; CHANG, WANG e WANG, 2013; BRUUN et al., 2015; KRISTIANTO e HELO, 2014).

O ciclo de vida também é analisado por alguns autores (JI; JIAO; CHEN; WU, 2013; BRUUN et al., 2015; YANG; YU; JIANG, 2014; CARVALHO et al., 2012), abordando desde o desenvolvimento de processos até seu descarte ou retorno. Esses autores citam o ciclo de vida dos produtos com relação ao projeto, produção, uso, reparo e descarte ou retorno, no entanto, não se referem aos serviços envolvidos no comércio e distribuição.

A abordagem da modularização em processos foi apresentada por Da Rocha, Formoso e Tzortzopoulos (2015), trazendo a modularidade para processos da construção civil. Outro estudo neste segmento é retratado por BI et al. (2015), que testou a flexibilização de processos através da modularização de robôs.

Dentro desse contexto, objetivando apontar possíveis pontos de integração das diferentes modularidades, foi destacado na bibliografia selecionada alguns autores que abordaram os diferentes tipos de modularidade de forma holística.

Alguns autores trazem os softwares como ferramentas para facilitar os processos de modularização, auxiliando na gestão de informações, desde desenvolvimento de novos

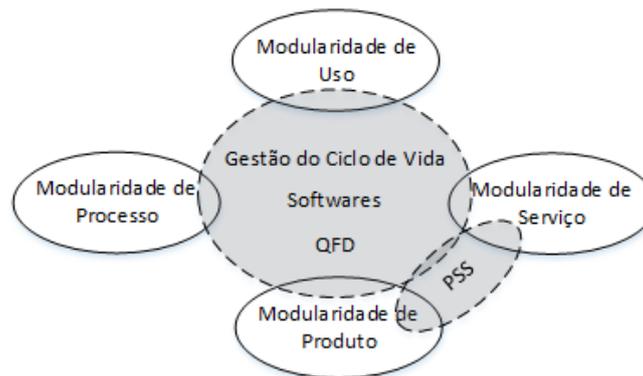
produtos (KONG et al., 2012; JO et al., 2015; BRUUN et al., 2015), ao desenvolvimento e aplicação de serviços (BATET et al., 2012).

A distribuição e estratégias de integração com fornecedores são abordadas por Droge, Vickery e Jacobs (2012), que apontam o problema da falta de interfaces entre os módulos para esta integração. Os autores mostram ainda o impacto direto da modularidade do produto no desempenho do serviço, fato que não acontece com a modularidade de processos, a qual não se torna tão impactante para o cliente, pois esse não visualiza a modularidade quando aplicada em processos da mesma forma quando aplicada em produtos ou serviços.

Identificou-se uma proposta de integração entre a modularidade de produtos e serviços no trabalho de Wang et al. (2011), onde foi apresentado um framework de desenvolvimento modular para um PSS (*Product-Service System*). O objetivo foi tentar integrar as informações do desenvolvimento do PSS, da produção e dos serviços.

Outra técnica utilizada nos trabalhos selecionados foi o QFD (*Quality Function Deployment*), que foi empregado para um estudo envolvendo modularidade no desenvolvimento de produtos (CHENG et al., 2012), e como uma forma para prover a modularização de serviços (GEUM, KWAK e PARK, 2012).

Como observado nos trabalhos analisados, é possível identificar algumas técnicas e formas que podem possibilitar reunir diferentes modularidades de forma conjunta, citando-se a gestão do ciclo de vida, softwares diversos, o QFD e o PSS. Essas técnicas e formas podem ser visualizadas na Figura 3, apontando as possíveis integrações entre os tipos de modularidade.



Fonte: elaborado pelos Autores (2015).

Figura 3 – Possíveis pontos de abordagem para interação entre as modularidades.

6 Considerações finais

Este estudo identificou na literatura os principais trabalhos nos últimos anos referentes à abordagens e aplicações de diferentes tipos de modularidade. Estas abordagens encontradas na literatura foram caracterizadas e analisadas, e os pontos de similaridade foram levantados e serviram de base para a identificação de possíveis pontos de integração dos tipos de modularidade.

Como forma de agregar as distintas abordagens de modularidades presentes na literatura, aponta-se a utilização de técnicas como o QFD, a gestão do ciclo de vida e o uso de diferentes softwares. Outra possibilidade levantada é o PSS como forma de desenvolver a modularidade simultânea de produtos e serviços.

Como vantagem desta integração espera-se uma melhora no desempenho de diferentes tipos de processos, pois desenvolveria um melhor alinhamento entre as diferentes abordagens, focando em um benefício final comum.

Este trabalho visa contribuir na sugestão de possibilidades que permitam a integração da modularidade no desenvolvimento de produtos, de processos, de uso e de serviços, de forma a torna-los mais convergentes e eficientes.

Sugere-se em trabalhos futuros tratar o tema de forma mais sistêmica e aprofundar a compreensão e caracterização das interfaces dos módulos das diferentes áreas, e proporcionar maiores ganhos com a aplicação da modularidade em organizações.

Referências

- ALGEDDAWY, T.; ELMARAGHY, H.** *Reactive design methodology for product family platforms, modularity and parts integration.* CIRP Journal of Manufacturing Science and technology, v. 6, n. 1, p. 34-43, 2013.
- ALLONES, J. L.; TABOADA, M.; MARTINEZ, D.; LOZANO, R.; SOBRIDO, M. J.** *SNOMED CT module-driven clinical archetype management.* Journal of Biomedical Informatics, v. 46, n. 3, p. 388-400, 2013.
- ARNHEITER, E. D.; HARREN, H.** *A typology to unleash the potential of modularity.* Journal of Manufacturing Technology Management, v. 16, n. 7, p. 699-711, 2005.
- ARAUZO-AZOFRA, A.; AZNARTE, J. L.; BENÍTEZ, J. M.** *Empirical study of feature selection methods based on individual feature evaluation for classification problems.* Expert Systems with Applications, v. 38, n. 7, p. 8170-8177, 2011.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B.** *Design Rules: The Power of Modularity.* Cambridge: MIT Press, 1999.
- BATET, M.; MORENO, A.; SÁNCHEZ, D.; ISERN, D.; VALLS, A.** *Turist@: Agent-based personalised recommendation of tourist activities.* Expert Systems with Applications, v. 39, n. 8, p. 7319-7329, 6/15/ 2012.
- BI, Z. M.; LIU, Y.; BAUMGARTNER, B.; CULVER, E.; SOROKIN, J. N.; PETERS, A.; COX, B.; HUNNICUTT, J.; YUREK, J.; O'SHAUGHNESSEY, S.** *Reusing industrial robots to achieve sustainability in small and medium-sized enterprises (SMEs).* Industrial Robot, v. 42, n. 3, p. 264-273, 2015.
- BRUUN, H. P. L.; MORTENSEN, N. H.; HARLOU, U.** *Interface diagram: Design tool for supporting the development of modularity in complex product systems.* Concurrent Engineering Research and Applications, v. 22, n. 1, p. 62-76, 2014.
- BRUUN, H. P. L.; MORTENSEN, N. H.; HARLOU, U.; WÖRÖSCH, M.; PROSCHOWSKY, M.** *PLM system support for modular product development.* Computers in Industry, v. 67, p. 97-111, 2, 2015.
- CABIGIOSU, A.; ZIRPOLI, F.; CAMUFFO, A.** *Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry.* Research Policy, v. 42, n. 3, p. 662-675, 2013.
- CARLBORG, P.; KINDSTRÖM, D.** *Service process modularization and modular strategies.* Journal of Business & Industrial Marketing, v. 29, n. 4, p. 313-323, 2014.
- CAMPAGNOLO, D.; CAMUFFO, A.** *The concept of modularity in management studies: a literature review.* International Journal of Management Reviews, v. 12, n. 3, p. 259-283, 2010.
- CARVALHO, I.; BAIER, T.; SIMOES, R.; SILVA, A.** *Reducing fuel consumption through modular vehicle architectures.* Applied Energy, v. 93, p. 556-563, 2012.
- CHANG, T. R.; WANG, C. S.; WANG, C. C.** *A systematic approach for green design in modular product development.* International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 68, n. 9-12, p. 2729-2741, 2013.
- CHEN, T.; XIAO, R.** *A dynamic intelligent decision approach to dependency modeling of project tasks in complex engineering system optimization.* Mathematical Problems in Engineering, v. 2013, 2013.
- CHENG, Q.; ZHANG, G.; GU, P.; SHAO, X.** *A product module identification approach based on axiomatic design and design structure matrix.* Concurrent Engineering Research and Applications, v. 20, n. 3, p. 185-194, 2012.
- DA ROCHA, C. G.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS, P.** *Adopting product modularity in house building to support mass customisation.* Sustainability (Switzerland), v. 7, n. 5, p. 4919-4937, 2015.
- DANESE, P.; FILIPPINI, R.** *Direct and mediated effects of product modularity on development time and product performance.* IEEE Transactions on Engineering Management, v. 60, n. 2, p. 260-271, 2013.

- DAVIES, A.; BRADY, T.; HOBDDAY, M.** *Organizing for solutions: Systems seller vs. systems integrator.* Industrial marketing management, v. 36, n. 2, p. 183-193, 2007.
- DE BLOK, C.; MEIJBOOM, B.; LUIJKX, K.; SCHOLS, J.; SCHROEDER, R.** *Interfaces in service modularity: A typology developed in modular health care provision.* Journal of Operations Management, v. 32, n. 4, p. 175-189, 5// 2014.
- DRAWPACKS BUSINESS DIAGRAMS.** *Six Types of Modularity for the Mass Customization of Products and Services.* Disponível em: <http://www.drawpack.com/index.php?route=product/product&product_id=5827>. Acesso em: 13 set. 2015.
- DROGE, C.; VICKERY, S. K.; JACOBS, M. A.** *Does supply chain integration mediate the relationships between product/process strategy and service performance? An empirical study.* International Journal of Production Economics, v. 137, n. 2, p. 250-262, 2012.
- GEUM, Y.; KWAK, R.; PARK, Y.** *Modularizing services: A modified HoQ approach.* Computers and Industrial Engineering, v. 62, n. 2, p. 579-590, 2012.
- HEHENBERGER, P.** *Perspectives on hierarchical modeling in mechatronic design.* Advanced Engineering Informatics, v. 28, n. 3, p. 188-197, 8, 2014.
- HILLSTRÖN, F.** *Applying Axiomatic Design to Interface Analysis in Modular Product Development.* Advances in Design Automation - ASME, DE - vol. 4-2. 1994.
- HYÖTYLÄINEN, M.; MÖLLER, K.** *Service packaging: key to successful provisioning of ICT business solutions.* Journal of Services Marketing, v. 21, n. 5, p. 304-312, 2007.
- JACOBS, M.; DROGE, C.; VICKERY, S. K.; CALANTONE, R.** *Product and process modularity's effects on manufacturing agility and firm growth performance.* Journal of Product Innovation Management, v. 28, n. 1, p. 123-137, 2011.
- JI, Y.; JIAO, R. J.; CHEN, L.; WU, C.** *Green modular design for material efficiency: A leader-follower joint optimization model.* Journal of Cleaner Production, v. 41, p. 187-201, 2013.
- JO, K.; KIM, J.; KIM, D.; JANG, C.; SUNWOO, M.** *Development of Autonomous Car - Part II: A Case Study on the Implementation of an Autonomous Driving System Based on Distributed Architecture.* IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 62, n. 8, p. 5119-5132, 2015.
- KONG, F. B.; MING, X. G.; WANG, L.; WANG, X. H.; WANG, P. P.** *Framework of a representation model for modular product development. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture,* v. 226, n. 5, p. 941-949, 2012.
- KRISTIANTO, Y.; HELO, P.** *Product architecture modularity implications for operations economy of green supply chains.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, v. 70, p. 128-145, 10, 2014.
- KUBOTA, F. I.; MIGUEL, P. A. C.** *Modularidade e desdobramento da função qualidade: uma análise teórica de publicações.* Revista Gestão Industrial, v. 9, n. 3, 2013.
- LARSEN, M. M.** *Failing to estimate the costs of offshoring: A study on process performance.* International Business Review, 2015.
- LEVY, Y.; ELLIS, T. J.** *A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research.* Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline, v. 9, n. 1, p. 181-212, 2006.
- PEKKARINEN, S.; ULKUNIEMI, P.** *Modularity in developing business services by platform approach.* The International Journal of Logistics Management, v. 19, n. 1, p. 84-103, 2008.
- QUEUDEVILLE, Y.; IVANOV, T.; VROOMEN, U.; BÜHRIG-POLACZEK, A.; ELGETI, S.; PROBST, M.; BEHR, M.; WINDECK, C.; MICHAELI, W.; NUSSBAUM, C.; HINKE, C.** *Design methodology for modular tools.* Production Engineering, v. 5, n. 4, p. 351-358, 2011.
- RODRIGUES, E. A.; CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C.** *Uma investigação sobre a relação entre o projeto do produto e produção em uma montadora automotiva e fornecedores de motores que adotam a modularidade.* Revista Produção, v. 22, n. 3, p. 367-379, 2012.
- SAKO, M.; MURRAY, F.** *Modules in Design, Production and Use: implications for the global automotive industry.* Cambridge: IMVP. 1999.

SCALICE, R. K.; DA SILVA, J. O.; OSTETTO, J. N.; DE PAULA, G. A. *Modular deployment using TRM and function analysis.* Technological Forecasting and Social Change, v. 92, p. 1-11, 3, 2015.

SCHUH, G.; KAMPKER, A.; WESCH-POTENTE, C. *Condition based factory planning.* Production Engineering, v. 5, n. 1, p. 89-94, 2011.

SCHUH, G.; VAN BRUSSEL, H.; BOER, C.; VALCKENAERS, P.; SACCO, M.; BERGHOLZ, M.; HARRE, J. *A Model-Based Approach to Design Modular Plant Architectures.* In: Proceedings of the 36th CIRP International Seminar Progress in Virtual Manufacturing Systems, Saarbrücken. 2003.

SONG, W.; WU, Z.; LI, X.; XU, Z. *Modularizing product extension services: An approach based on modified service blueprint and fuzzy graph.* Computers and Industrial Engineering, v. 85, p. 186-195, 2015.

STRUBE, J.; DITZ, R.; FRÖHLICH, H.; KÖSTER, D.; GRÜTZNER, T.; KOCH, J.; SCHÜTTE, R. *Efficient engineering and production concepts for products in regulated environments - Dream or nightmare?* Chemie-Ingenieur-Technik, v. 86, n. 5, p. 687-694, 2014.

WAGNER, U.; ALGEDDAWY, T.; ELMARAGHY, H.; MÜLLER, E. *Developing products for changeable learning factories.* CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, v. 9, p. 146-158, 2015.

WANG, P. P.; MING, X. G.; LI, D.; KONG, F. B.; WANG, L.; WU, Z. Y. *Modular development of product service systems.* Concurrent Engineering Research and Applications, v. 19, n. 1, p. 85-96, 2011.

WANG, Z.; CHEN, L.; ZHAO, X.; ZHOU, W. *Modularity in building mass customization capability: The mediating effects of customization knowledge utilization and business process improvement.* Technovation, v. 34, n. 11, p. 678-687, 2014.

WEMMERLÖV, U. *A taxonomy for service processes and its implications for system design.* International Journal of Service Industry Management, v. 1, n. 3, p. 0-0, 1990.

WOLTERS, M. J. J. *The Business of Modularity and the Modularity of Business,* ERIM Ph. D. Series in Management, n. 11, 2002.

WULFSBERG, J. P.; GRIMSKE, S.; KONG, N.; RÖHLIG, B.; STORJOHANN, J.; MÜLLER, J. *A function integrated and intelligent mechanical interface for small modular machine tools.* Precision Engineering, v. 38, n. 1, p. 109-115, 1, 2014.

YANG, Q.; YU, S.; JIANG, D. *A modular method of developing an eco-product family considering the reusability and recyclability of customer products.* Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 254-265, 2/1/ 2014.