

## **CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DA LITERATURA SOBRE MODULARIDADE: PERSPECTIVAS FUTURAS PARA PESQUISA**

### **LITERATURE CLASSIFICATION AND ANALYSIS ON MODULARITY: FUTURE PERSPECTIVES FOR FURTHER RESEARCH**

Flávio Issao Kubota<sup>1</sup>; Lucila Maria de Souza Campos<sup>2</sup>; Paulo Augusto Cauchick Miguel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGE  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis/SC – Brasil  
[flavioissao.kubota@gmail.com](mailto:flavioissao.kubota@gmail.com)

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGE  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis/SC – Brasil  
[lucila.campos@ufsc.br](mailto:lucila.campos@ufsc.br)

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGE  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis/SC – Brasil  
[paulo.cauchick@ufsc.br](mailto:paulo.cauchick@ufsc.br)

#### **Resumo**

*O desenvolvimento de novos produtos tornou-se um esforço conjunto de diversas organizações. Demandas variadas por parte dos clientes, pressão por reduzir o tempo de desenvolvimento de produtos e minimização de custos são alguns dos desafios recentes que as empresas de manufatura e serviços têm enfrentado. Nesse contexto, observa-se que a modularidade tem sido considerada nas estratégias de negócios das companhias, visando superar esses desafios. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a literatura acerca do tema modularidade, com a finalidade de descrever os principais benefícios e dificuldades/barreiras da estratégia modular, bem como apontar tópicos emergentes e perspectivas futuras de pesquisa no tema. Para a consecução do estudo, realizou-se uma pesquisa teórico-conceitual, identificando a bibliografia relevante e assim, construindo (selecionando) um portfólio bibliográfico no tema para identificar, principalmente, novas oportunidades de pesquisa para desenvolver estudos futuros. Observou-se que os benefícios mais destacados são as economias de escala e redução de lead-time e as dificuldades são o aumento da dependência dos fornecedores quanto aos conhecimentos tecnológicos (especialmente no setor automotivo) e a mudança da cadeia de suprimentos tradicional para a modular. Como tópicos emergentes, destacam-se a modularidade aplicada ao setor de serviços e o estudo das relações entre diversos (três ou mais) tipos de modularidade.*

**Palavras-chave:** modularidade, tipos de modularidade, perspectivas futuras, teórico-conceitual, revisão de literatura.

## Abstract

*New product development has become a joint effort of several organizations. Varied demands by customers, pressure to reduce product development time and cost minimization are some of the recent challenges that manufacturing and service companies are facing. In this context, it is noted that modularity has been taken into account in the companies' business strategy, aiming to overcome these challenges. Therefore, this study examines the literature regarding modularity, with the purpose of describing modularity's main benefits and difficulties/barriers as well as pointing out emerging topics and future perspectives. To achieve this objective, a theoretical-conceptual study was conducted, identifying relevant literature and thus building a portfolio specially to find out new research opportunities to develop further studies. It was observed that most highlighted benefits were the economies of scale and lead-time reduction and the most exposed difficulties are increased dependence on suppliers regarding technological knowledge (especially in the automotive sector) and the change from the traditional supply chain to a modular structure. As emerging topics, it is highlighted modularity applied to service sector and the study of the relationships among various (three or more) modularity typologies.*

**Key-words:** modularity, modularity typologies, future perspectives, theoretical-conceptual, literature review.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, as empresas têm enfrentado novos desafios como demandas diversas de clientes, ciclos de desenvolvimento de produtos mais reduzidos e pressão por minimizar custos, o que tem feito as organizações enfrentarem desafios na melhoria da produção (AGRAWAL et al., 2013). Nesse sentido, percebe-se a necessidade das empresas, no contexto atual, de não desenvolver produtos que apenas atendam necessidades de mercado a que se destinam, mas também que façam frente à concorrência, visando a conquista significativa de parcelas de mercado. Simultâneo a isso, observa-se que a competitividade de empresas de manufatura em geral depende de sua habilidade em responder rapidamente aos nichos de mercado e em produzir uma variedade de produtos com alta utilidade e com baixo custo (TYAGI et al., 2012).

Nesse contexto, uma das estratégias que se insere e que tem gerado contribuições na crescente adequação das companhias a esse cenário é a adoção da modularidade. Este conceito trata da decomposição de um sistema complexo em subsistemas simplificados por meio da minimização da interdependência entre módulos e da maximização da interdependência dentro desses, de modo a combiná-los e obter novas configurações sem perda de funcionalidade ou desempenho de um produto (BALDWIN; CLARK, 1997). O conceito de modularidade é amplamente adotado em diversos setores, como por exemplo: automotivo (MACDUFFIE, 2013; CARNEVALLI et al., 2013), eletro-eletrônico (ARNHEITER; HARREN, 2006), móveis (CARIDI et al., 2012), informática (AGARD; BASSETTO, 2013), energia nuclear (JAIN et al., 2013), serviços (LIN;

PEKKARINEN, 2011; BASK et al., 2010) e ainda em equipamentos de tecnologia assistida para portadores de necessidades especiais (PLOS et al., 2012).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a literatura acerca do tema modularidade, com a finalidade de apontar tópicos emergentes e perspectivas futuras de pesquisa neste tema, visando obter uma agenda potencial de pesquisa acerca de possibilidades ainda pouco exploradas acerca da modularidade. Após esta introdução, o presente trabalho é estruturado do seguinte modo: na seção dois, o referencial teórico apresenta os conceitos e abordagens da modularidade usualmente utilizadas. Na seção três, os métodos de pesquisa adotados são descritos, de forma a estabelecer os procedimentos metodológicos para a consecução do trabalho. Na seção quatro, os resultados são apresentados, juntamente com as discussões a partir destes. Por fim, na seção cinco, as conclusões extraídas a partir do estudo são estabelecidas, bem como são apontadas as limitações e as perspectivas futuras para continuidade do presente estudo.

## **2. Modularidade – Conceitos gerais**

O conceito de modularidade não é recente, surgindo por meio do conceito de intercambialidade de peças e facilidade de ajustá-las entre si por volta da Década de 1910 (WOMACK et al., 1992), consolidando-se com a invenção do transistor em 1948 (MEHL, 2013) e emergindo com maior destaque na indústria de informática na década de 1960, trazendo benefícios como economias de escala e possibilidade de combinações diversas (BALDWIN; CLARK, 2000; 1997). Embora tenha o conceito sido concebido na indústria de computação, a modularidade é um termo que tem sido amplamente adotado em diversos setores industriais, caracterizando uma crescente importância no desenvolvimento de produtos (AGRAWAL et al., 2013; CARIDI et al., 2012), processos (MACDUFFIE, 2013; PARENTE et al., 2011), modelos organizacionais (TSVETSKOVA; GUSTAFSSON, 2012) e serviços (GEUM et al., 2012; LIN; PEKKARINEN, 2011). Nesse sentido, a modularidade é uma estratégia que visa organizar produtos e processos complexos de forma eficiente (CARIDI et al., 2012). Para tanto, a modularidade se subdivide em algumas perspectivas, as quais buscam englobar a cadeia produtiva como um todo. Nas próximas subseções são descritos, sucintamente, os tipos de modularidade (produto, produção, uso, organizacional e serviços) mais destacados na literatura e que são adotados na indústria de modo geral.

### **2.1. Modularidade de produto**

A modularidade de produto é uma propriedade da arquitetura de produto (CARIDI et al., 2012). Neste tipo de modularidade, as especificações de produto, funções de cada subsistema e suas

interfaces são concebidas, bem como os componentes e a conexão funcional entre esses. Nessa abordagem, é possível ampliar a variedade de produtos ofertados e permite que os engenheiros criem famílias de componentes que compartilhem características comuns – reduzindo custos de desenvolvimento para a próxima geração de produtos, promovendo a continuidade (BALDWIN; CLARK, 1997). Ainda nesse sentido, a modularidade de produto implica que mudanças em um módulo do produto requer poucas ou nenhuma alteração em outras partes do produto (CARIDI et al., 2012), caracterizando assim as potenciais redução de custos e possibilidade de oferecer mais variedade de produtos por meio dos módulos/componentes configuráveis.

Dessa forma, um produto estruturado modularmente pode ser decomposto em várias unidades funcionais e os produtos modulares podem ser máquinas, montagens e componentes que atendem diversas funções sendo uma combinação de blocos (ou módulos) distintos (GEUM et al., 2012).

## 2.2. Modularidade de produção

A modularidade de produção (ou processo) tem por objetivo simplificar os processos produtivos (manufatura e montagem), subdividindo-os em etapas mais bem definidas e pré-montagens e pré-testes funcionais dos módulos, o que possibilita a redução da linha de montagem da fábrica, transferindo a submontagem de alguns módulos para os fornecedores (PARENTE *et al.*, 2011; CARNEVALLI *et al.*, 2011; CONNOLLY, 2007). Um exemplo clássico e amplamente estudado dessa tipologia de modularidade é a unidade de caminhões e ônibus da Volkswagen, localizada no Brasil em Resende-RJ (COLLINS *et al.*, 1997; SALERNO *et al.*, 2008).

Tabela 1 – Síntese de trabalhos que abordam a estrutura de consórcio modular da Volkswagen.

| Referência                     | Síntese do trabalho  |
|--------------------------------|--|
| Sacomano Neto e Truzzi (2009)  | O estudo aborda como a estrutura de consórcio modular afetou as interfaces físicas e de conhecimento entre montadora e fornecedores, apontando mudanças como a inserção de fornecedores de primeiro nível (modulistas) dentro da planta da montadora e a redistribuição do poder decisório, favorecendo os modulistas. |
| Salerno <i>et al.</i> (2008)   | Os autores discutem algumas das melhores práticas adotadas na indústria automotiva brasileira, onde se evidencia que as unidades industriais no país trouxeram avanços, dentre esses o consórcio modular.  |
| Cauchick Miguel e Pires (2006) | O trabalho investiga a modularidade de projeto e produção na unidade da VW, por meio da discussão das atividades de projeto e a evolução e desenvolvimento da unidade industrial em questão.   |
| Pires (1998)                   | O autor discute as implicações gerenciais decorrente do modelo de consórcio modular, à época uma novidade no segmento automotivo.  |

(continua...)

Tabela 1 (continuação) – Síntese de trabalhos que abordam a estrutura de consórcio modular da Volkswagen.

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Marx <i>et al.</i> (1997)    | O estudo discute as principais características referentes ao consórcio modular da VW, à época considerada uma estratégia de manufatura significativamente distinta dos processos tradicionais de produção. O trabalho aborda os riscos e as oportunidades decorrentes da estrutura para a VW e seus parceiros em direção à uma sustentabilidade competitiva, sendo o consórcio modular considerada um conceito radical de produção. |
| Collins <i>et al.</i> (1997) | O trabalho analisa duas estruturas de consórcio modular desenvolvida nos anos 1990, sendo essas das empresas Skoda e Volkswagen. Os resultados apontaram que à época, a abordagem de consórcio modular aproximou empresas da indústria automotiva, fortalecendo a parceria entre indústrias na cadeia produtiva.  |

Fonte: organizado pelos autores.

Os autores definem a fábrica como um consórcio modular, que visava racionalizar recursos, definir novos requisitos e intensificar a terceirização de atividades como uma alternativa estratégica. Além desses, existem outros trabalhos os quais já investigaram as características desse tipo de arranjo produtivo (ver Tabela 1).

### 2.3. Modularidade de uso

A modularidade de uso se trata de uma decomposição do produto orientada ao consumidor, visando satisfazer a facilidade de uso e valorizar a individualidade dos clientes, estando ainda conectado ao conceito de customização em massa (PANDREMENOS *et al.*, 2009), por meio da personalização do produto. Assim, componentes padronizados são combinados de modo a obter diferentes produtos por meio da variedade de combinações entre os módulos (SAKO; MURRAY, 1999), o que pode contribuir para a configuração e personalização dos produtos conforme o desejo do consumidor sem adição de elevados custos para tais ações (PANDREMENOS *et al.*, 2009).

Alguns exemplos da modularidade de uso podem ser encontrados no setor automotivo. Baldwin e Clark (2000) e Gu e Sosale (1999) relatam que as montadoras no geral oferecem ao consumidor possibilidades de personalizar os produtos com módulos opcionais. Ou seja, os veículos são customizados por meio de pacotes opcionais definidos pelos clientes nas concessionárias (SCAVARDA *et al.*, 2005).

### 2.4. Modularidade organizacional

A estratégia da modularidade organizacional trata da aplicação do conceito na perspectiva gerencial dos negócios. Um exemplo dessa aplicação pode ser vista no estudo de Tsvetkova e Gustafsson (2012), onde os autores consideram ecossistemas industriais como sistemas complexos possíveis de decomposição, transformando-os em subsistemas em um contexto interorganizacional. No entanto, a modularidade organizacional não trata apenas de decompor as empresas e seus relacionamentos, mas também pode abordar, de forma mais aprofundada, os modelos de negócios

das empresas, bem como a sistematização das atividades e tarefas que envolvem múltiplas organizações, visando benefícios na simplificação das atividades e suas responsabilidades (TSVETSKOVA; GUSTAFSSON, 2012).

Outra exemplificação da modularidade organizacional é oriunda do setor automotivo e consta no estudo de Sako e Murray (2000), onde os autores afirmam que a estrutura organizacional existente para o desenvolvimento de novos produtos e a natureza dos relacionamentos com fornecedores afetam as possíveis escolhas relacionadas à nova arquitetura de produtos. No entanto, a modularidade organizacional implica que as várias unidades envolvidas nos processos podem operar de forma autônoma e podem ser facilmente reconfiguradas (HOETKER, 2006), mesmo com as alterações na arquitetura de produto que resultam em mudanças nas relações entre empresas da cadeia produtiva.

## **2.5. Modularidade em serviços**

A modularidade em serviços se trata de um conceito recente, onde a heterogeneidade dos serviços, a função das pessoas na customização de serviços e a natureza dos mesmos torna a aplicação e adequação mais complexa (BASK et al., 2010; VOSS; HSUAN, 2009). De modo geral, a modularidade em serviços pode ser implementada como uma maneira de reduzir a complexidade inerente dos serviços e oferecer variedade nos mesmos (LIN; PEKKARINEN, 2011; BALDWIN, 2007), assemelhando-se à modularidade de produto e uso, no entanto aplicada em um contexto de serviços. Ainda, a modularidade pode ser observada como um princípio de projeto para simplificar e racionalizar o projeto de processos e serviços para gerenciar a complexidade (ARAUJO; SPRING, 2011) e desenvolvimento de subsistemas (MIOZZO; GRIMSHAW, 2005).

Pekkarinen e Ulkuniemi (2008) argumentam que módulos de serviço podem ser compreendidos como um ou mais elementos que oferecem uma mesma característica de serviços. Ainda, a modularidade tem potencial de possuir um papel importante no setor de serviços em diversas perspectivas, como por exemplo na decomposição de um objetivo em vários componentes, contribuindo para a análise sistemática dos serviços (GEUM et al., 2012). No entanto, diversas dificuldades têm surgido em relação à modularização de serviços (conceito inicialmente criado por SUNDBO, 1994), embora alguns relatos de sua viabilidade e benefícios já tenham sido descritos.

## **3. Método de pesquisa**

Este trabalho se caracteriza como um estudo teórico-conceitual, uma vez que busca investigar novos conceitos e oportunidades de pesquisa no tema. A partir dos artigos encontrados, utilizou-se como principal técnica de análise o método hipotético-dedutivo (NUNES; BENNETT,

2008), inferindo as principais características relacionadas à modularidade. Como critérios, foi delimitado que na leitura dos artigos, buscou-se levantar as perspectivas futuras relatadas pelos autores, bem como extrair os tópicos emergentes no tema e as oportunidades de pesquisa a partir da análise crítica do portfólio bibliográfico organizado e elaborar um mapa teórico acerca dos tipos de modularidade mais utilizados e as suas características conforme a tipologia de modularidade adotada. Adicionalmente, foram identificados conceitos que possuem convergência e/ou relação com a aplicação da modularidade, isso com o intuito de ampliar o desenvolvimento do mapa teórico mencionado anteriormente.

As palavras-chave utilizadas na busca dos artigos foram: “*modularity*”, “*modular*”, “*modularisation*”, “*modularization*” e “*modular strategy*”. Esses termos foram buscados nos títulos, resumos e/ou palavras-chave de cada artigo. Visando identificar especificamente as perspectivas futuras recentes e tópicos emergentes no tema, o recorte temporal considerado foi de artigos publicados a partir de 2008 até 2012, abrangendo um período de 5 anos. Ressalta-se que apenas esse período mais recente (2008-2012) foi considerado para seleção dos artigos devido ao fato de um dos focos principais do presente estudo ser o levantamento de tópicos emergentes acerca da modularidade nos setores industriais em geral. Para identificar, recuperar e organizar as publicações existentes no assunto, algumas bases de dados foram consultadas, tais como *Scopus*, *ISI Web of Knowledge*, *Compendex*, *Wiley Online Library*, *Blackwell*, *Emerald* e *Springer*, além de outros artigos de periódicos não disponíveis nos periódicos CAPES tais como: o *International Journal of Automotive Technology and Management*, *International Journal of Technology Management* e o *Journal of Manufacturing Technology Management*. O software EndNote X6<sup>®</sup> foi utilizado para organizar e armazenar os arquivos encontrados.

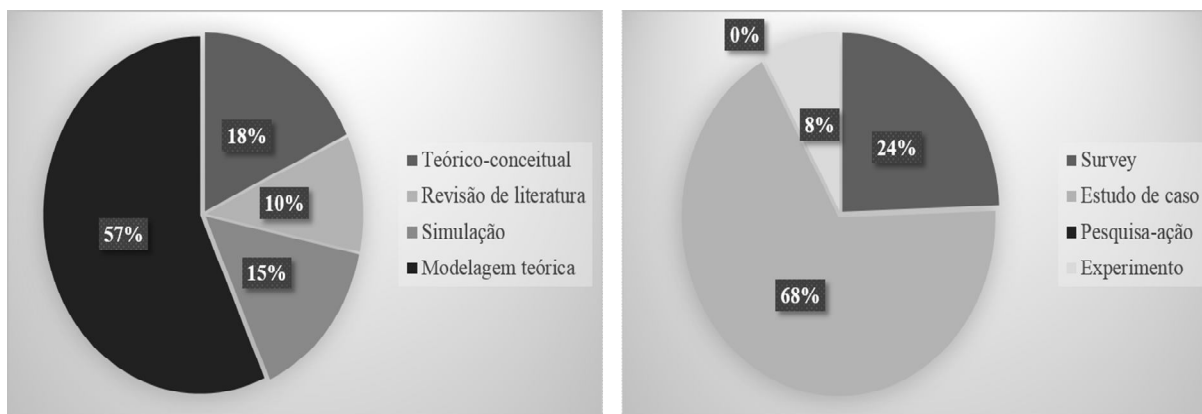
Inicialmente, elaborou-se o planejamento e o escopo da pesquisa, visando definir claramente os objetivos do estudo para em seguida estabelecer as palavras-chave a serem utilizadas na busca bibliográfica, bem como as bases de dados onde os trabalhos. Após essas etapas, faz-se a busca e recuperação dos artigos nas bases de dados, para posteriormente analisar se os artigos estão de fato alinhados com o escopo da pesquisa (definidos previamente). Para os artigos inseridos no escopo do estudo, iniciou-se com a análise bibliométrica e em seguida de conteúdo, visando uma busca mais detalhada e aprofundada acerca dos benefícios, dificuldades e perspectivas futuras de pesquisa no tema modularidade. Por fim, o registro e fichamento dos dados e informações obtidas e a elaboração do relatório de pesquisa encerram a condução de todo o estudo.

#### **4. Análise de conteúdo dos artigos**

Antes da análise de conteúdo dos trabalhos, uma análise bibliométrica descritiva e de meta-

dados foi conduzida. A primeira busca por trabalhos, sem considerar o recorte temporal e os artigos duplicados (encontrados duas ou mais vezes em bases distintas), resultou em 1787 artigos. Após a eliminação das duplicatas, 1475 artigos foram extraídos. Desses, foram considerados os trabalhos mais recentes (2008-2012), conforme já descrito na seção de métodos de pesquisa, priorizando o levantamento de tópicos emergentes no tema. Dessa forma, a leitura do título, resumo e palavras-chave foi conduzida. Assim, 154 artigos foram analisados de modo a encontrar características e aspectos referentes à modularidade, especialmente os tópicos emergentes, lacunas e perspectivas futuras de pesquisa. Inicialmente, os trabalhos foram classificados em “conceitual” (43%) ou “empírico” (57%), conforme a predominância na abordagem. Quanto aos métodos dos trabalhos de cada tipo, a Figura 2 apresenta os tipos de pesquisa mais utilizados nos trabalhos conceituais.

Figura 1 – Tipos de trabalhos conceituais (à esquerda) e empíricos (à direita)



Fonte: desenvolvido pelos autores.

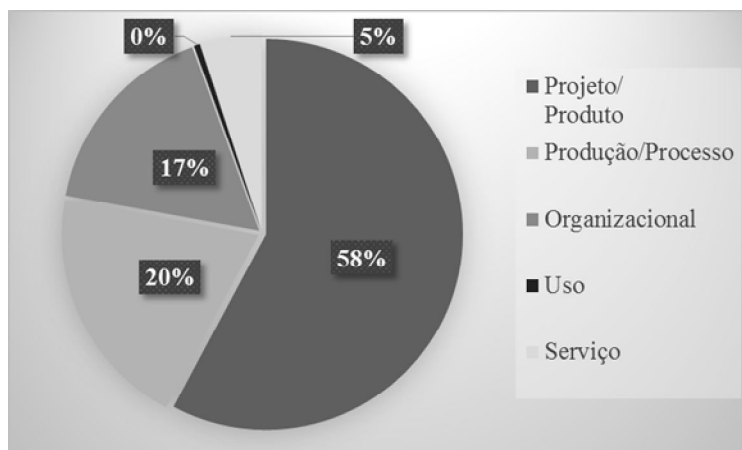
É possível notar na Figura 4 que a maior parcela dos trabalhos conceituais considera o uso de modelagem teórica, onde modelos qualitativos ou quantitativos são desenvolvidos para verificar o grau de modularidade de produtos e processos e avaliar os benefícios e dificuldades da modularidade. Quanto aos trabalhos predominantemente empíricos, observa-se que a maior parte desses são desenvolvidos por meio de estudos de caso, ou seja, utiliza-se de verificações em situações reais nas empresas para o desenvolvimento dos estudos.

Cabe ressaltar que em alguns trabalhos, foram utilizadas abordagens metodológicas combinadas, no entanto foi considerado o método predominante de cada estudo. Por exemplo, no estudo de Jain *et al.* (2013), embora tenha ocorrido estudo de caso com dados reais para comparar os possíveis benefícios de uma estrutura integral ou modular de plantas nucleares, o exercício da simulação do modelo gerado foi o principal objetivo, visando a validação do método elaborado pelos autores. Tratando especificamente dos estudos de caso, verifica-se que 55% dos casos são únicos, ao passo que 45% são múltiplos. O interesse pelos casos múltiplos se deve ao fato de haver



maior interesse em investigar como a modularidade ocorre na cadeia de suprimentos como um todo, bem como as relações de influência entre as empresas que interagem entre si. Em seguida, os tipos de modularidade mais investigados foram verificados, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 2 – Tipos de modularidade mais pesquisados



Fonte: desenvolvido pelos autores.

Verifica-se que a modularidade de produto é a abordagem mais considerada nos estudos no tema, seguido da modularidade de produção e a organizacional. Poucos trabalhos englobam a modularidade de uso e a de serviços. No entanto, essa última (modularidade em serviços) se destaca pelo fato de ser uma abordagem recente e crescente nos últimos anos, especialmente devido à peculiaridade dos serviços terem característica mais intangível (mais detalhes são apresentados na próxima seção – tópicos emergentes).

Além disso, os setores mais considerados nas pesquisas foram avaliados, e foi percebido que a maioria (39%) dos trabalhos aborda a indústria de modo geral. Em seguida, destaca-se o automotivo, com 21% dos artigos, e os setores relacionados a produtos eletrônicos, englobando 10% dos trabalhos do portfólio bibliográfico, demonstrando a preferência por trabalhos na cadeia de suprimentos automotiva e eletrônica, bem como estudo acerca das contribuições da modularidade a esses setores. Assim, pode-se afirmar que os setores que envolvem atividades relacionadas à tecnologia são os que mais apresentam trabalhos sobre modularidade. Quanto aos setores de serviços, esses apresentaram uma elevada dispersão quanto ao enfoque, com exemplos de aplicação na área de saúde, administração pública, logística, serviços na construção civil e tecnologia da informação.

#### 4.1. Elementos conceituais relacionados à modularidade

Por meio da literatura, foi possível identificar outro aspecto emergente durante a análise do

portfólio bibliográfico: a diversidade de elementos conceituais vinculados à modularidade, onde os autores em geral atribuem a esses influência na definição do conceito de modularidade existente nos produtos. O Quadro 1 apresenta os elementos conceituais mais encontrados e citados na literatura, seguidos de uma descrição sucinta e os tipos de modularidade mais relacionados com cada elemento.

Quadro 1 – Elementos conceituais relacionados à modularidade

| <b>Elemento conceitual</b>  | <b>Tipo de modularidade</b> | <b>Descrição</b>  | <b>Referências</b>   |
|---|-----------------------------|---|--|
| <b>Functionality (funcionalidade)</b>   | Produto                     | Trata da habilidade ou capacidade de desempenhar uma determinada tarefa ou função. Módulos/componentes de um produto podem desempenhar uma ou mais funcionalidades, conforme o projeto do produto.  | Sushandoyo e Magnusson (2012); Tsvetskova e Gustafsson (2012); Tyagi <i>et al.</i> (2012).                   |
| <b>Standardisation (padronização)</b>   | Produto / Produção          | Possibilita a recombinação de componentes em produtos sem uma adaptação elaborada de interfaces. Por exemplo, componentes de um computador pessoal ou de uma bicicleta podem ser facilmente substituídos por componentes de fabricantes diversos. | Tsvetskova e Gustafsson (2012); de Waard e Kramer (2008); Schmickl e Kieser (2008).                          |
| <b>Variedade de produtos</b>  | Produto / Produção          | Oferta de variedade de produtos que a empresa disponibiliza no mercado. Quanto maior a variedade, maior a possibilidade de oferecer diversidade de produtos diferenciados e customizados ao cliente.  | Carnevalli <i>et al.</i> (2013); Rahikka <i>et al.</i> (2011); Huang e Hsu (2011); Liu <i>et al.</i> (2010). |
| <b>Reusability (reusabilidade)</b>  | Produto                     | Trata da possibilidade de aproveitamento (ou atualização) de módulos conforme o lançamento de novas versões de um produto.  | Geum <i>et al.</i> (2012); Nunes e Bennett (2008).   |
| <b>Customisation level (nível de customização)</b>  | Produto / Uso / Serviço     | Consiste no nível em que o produto pode ser customizado, ou seja, o quanto pode ser ajustado e/ou combinado conforme as necessidades/expectativas do cliente.   | Stäblein <i>et al.</i> (2011); Lindquist <i>et al.</i> (2008).   |
| <b>Commonality (grau de módulos/componentes compartilháveis por diferentes produtos – “Comunalidade”)</b> | Produto                     | Trata do grau de módulos/componentes comuns a diversos produtos.  | Sushandoyo e Magnusson (2012).   |

(Continua...)

Quadro 1 (continuação) – Elementos conceituais relacionados à modularidade

| <b>Elemento conceitual</b>  | <b>Tipo de modularidade</b>         | <b>Descrição</b>  | <b>Referências</b>   |
|---|-------------------------------------|---|--|
| <b><i>Substitutability</i> (grau de capacidade de substituição dos módulos/componentes ao longo de uma família de produtos)</b> | Produto                             | Define o grau de possibilidade de substituição de componentes/módulos de produtos ao longo de uma família de produtos. Quanto mais presente esse elemento, mais fácil é o processo de substituir componentes e utilizá-los em outros produtos.  | Schmickl e Kieser (2008).  |
| <b><i>Outsourcing</i> (terceirização)</b>   | Produto / Produção / Organizacional | Consiste no grau de componentes/módulos os quais são terceirizados, bem como o grau de influência de fornecedores no desenvolvimento do produto e processo.   | Brandt e Thun (2011); Brusoni e Prencipe (2011); Shamsuzzoha (2011); Zirpoli e Becker (2011); Ro <i>et al.</i> (2008).                     |
| <b>Interdependência entre módulos</b>   | Produto / Produção                  | Trata do grau de independência estrutural dos módulos/componentes entre si. Quanto maior a interdependência, maior autonomia e capacidade de acoplamento e desacoplamento os módulos possuem, sem deixar de funcionar em conjunto como um todo. | Geum <i>et al.</i> (2012); Zirpoli e Becker (2011).  |
| <b><i>Information sharing / Interfirm relationship</i> (compartilhamento de informações – relacionamento entre firmas)</b>      | Produto / Organizacional            | Refere-se ao grau de compartilhamento de informações e grau de relacionamento entre empresas na cadeia de suprimentos.  | Zirpoli e Becker (2011).   |
| <b><i>Co-design / Co-development</i> e envolvimento dos fornecedores no desenvolvimento e manufatura</b>                        | Produto / Produção                  | Trata do grau de envolvimento que os fornecedores possuem no desenvolvimento do produto.  | Carnevalli <i>et al.</i> (2013); Zirpoli e Becker (2011), Lau <i>et al.</i> (2010); Salerno <i>et al.</i> (2009); Ro <i>et al.</i> (2008). |

Fonte: adaptado e atualizado a partir de Henriques (2013).

Foi possível observar que todos os elementos conceituais encontrados estão relacionados com a modularidade de produto, com enfoque na funcionalidade dos módulos, arquitetura do produto em si e a transferência de atividades de desenvolvimento de produtos aos fornecedores. Isso se torna evidente pelo fato de grande parte das decisões referentes à modularidade terem impactos em diversas perspectivas (projeto, organizacional, custos, tempo de desenvolvimento, etc.) no desenvolvimento do produto. No caso da modularidade de produção, os elementos remetem à padronização dos componentes (SCHMICKL; KIESER, 2008), ao passo que na modularidade

organizacional há maior preocupação em organizar a transferência de atividades aos fornecedores e o compartilhamento de informações entre os envolvidos na cadeia de suprimentos como um todo (DE WAARD; KRAMER, 2008). Por fim, na modularidade de uso, há o elemento de customização, o qual é voltado especificamente ao atendimento de necessidades e expectativas particulares de clientes (PANDREMENOS *et al.*, 2009), o que também pode ser relacionado à abordagem de modularidade em serviços. Cabe ressaltar que os elementos discutidos nesta subseção não estão exclusivamente interligados a cada tipo de modularidade, mas sim com relação predominante com a tipologia em questão.

Além disso, pode-se notar, ainda que preliminarmente, que os elementos têm influência e inter-relacionamentos entre si. A “funcionalidade” é um aspecto crítico na definição da arquitetura de produto modular e tem relação com os demais elementos descritos anteriormente, uma vez que isso é um parâmetro utilizado para definir os módulos e suas interfaces dentro do produto como um todo. O elemento “padronização” (*standardisation*) está relacionado com a “comunalidade” (*commonality*), pois para que os módulos possam ser compartilhados por diversos produtos e/ou serviços, é necessário que um certo grau de padronização e especificações existam para que isso seja viabilizado, por exemplo, em uma família de produtos. Ainda, o elemento “comunalidade” tem conexão com a variedade de produtos, no entanto de uma forma inversa, ou seja, aspectos que contribuem para potencializar um elemento conceitual podem inibir o outro. Um dos benefícios obtidos com a “comunalidade” é a redução de custos e economias de escala, no entanto, a distinção dos componentes comuns a diversos produtos é minimizada, o que limita a oferta variada de produtos no mercado.

Assim, faz-se importante o equilíbrio entre “comunalidade” e variedade, para que se alcance um amplo segmento de clientes com produtos caracterizados como únicos, singulares (Lindquist *et al.*, 2008). Ainda, a “comunalidade” está fortemente relacionada com o elemento referente à capacidade de substituição de módulos (“*substitutability*”). Para que módulos/componentes possam ser facilmente compartilhados em comum ao longo de uma família de produtos, é importante que exista a possibilidade de substituição dos mesmos entre uma linha de produtos diversos.

O elemento “reusabilidade” pode ser influenciado pela capacidade de substituição de módulos (“*substitutability*”), pois para melhor reaproveitamento dos componentes de um produto, é necessário que se viabilize a substituição e atualização das partes do produto ao longo de suas atualizações. Além disso, para que mais módulos possam ser reutilizados, é necessária uma estrutura sólida de padronização dos mesmos, caso contrário o benefício de reusabilidade será comprometido. Outra possibilidade de potencializar a reusabilidade é combinando suas características com a “comunalidade”, fazendo assim com que os módulos possam ser

recombinados ao longo de produtos diversos. No entanto, essa pode ser uma prática que comprometa a variedade de produtos, uma vez que muita padronização e elementos comuns entre bens de consumo ou serviços podem inibir a ampliação da oferta de maior diversidade.

A “interdependência entre módulos” é um elemento que está vinculado a diversos dos demais elementos descritos na Tabela 1. As capacidades de substituição de módulos e a “comunalidade” entre esses varia conforme o grau de interdependência existente. Ainda, trabalhando-se com esse elemento é possível alterar o nível de customização (“*customisation level*”), o que pode ainda incrementar a variedade de produtos, atendendo a segmentos diversos de mercado. Outra conexão da interdependência entre módulos é com relação à terceirização: especialmente nos estudos no setor de informática e equipamentos eletrônicos, nota-se que a interdependência de componentes contribui para a terceirização dos mesmos, descentralizando a fabricação, transferindo responsabilidades e facilitando a geração de inovação por parte de fornecedores. No entanto, isso também pode comprometer o controle das matrizes sobre as melhorias tecnológicas desenvolvidas, fazendo com que seus especialistas tenham dificuldades no gerenciamento dos projetos de produtos.

Por fim, o envolvimento dos fornecedores, que trata do quão os fornecedores participam do desenvolvimento do produto (desde simples fabricantes de componentes ou módulos seguindo especificações da matriz até o envolvimento desde a concepção inicial do produto) está vinculado ao compartilhamento de informações entre firmas (“*information sharing*” / “*interfirm relationship*”), co-desenvolvimento de projetos (“*co-design*”) e a terceirização (“*outsourcing*”) de atividades. Quanto maior o envolvimento dos fornecedores no desenvolvimento de produtos, maior é o compartilhamento de informações entre os mesmos e a matriz. Isso pode também influenciar a intensidade de terceirização de componentes, atividades, responsabilidades, etc. Adicionalmente, o maior envolvimento de fornecedores pode estar relacionado ao fato de esses estarem comprometidos com atividades de co-desenvolvimento dos projetos, juntamente com a matriz, exercendo considerável influência nas decisões relacionadas à especificações e concepção inicial do produto (além do envolvimento nas etapas finais).

Além das inter-relações descritas anteriormente, pode-se notar também que há relações de dependência e independência entre os elementos conceituais, ou seja, existem elementos conceituais que sendo explorados impactam outros (ex.: “*commonality*” e “*standardisation*”) enquanto outros têm independência, como é o caso da “terceirização” (*outsourcing*) e a “reusabilidade” (“*reusability*”). A seguir, as conclusões extraídas a partir do estudo são apresentadas.

## 5. Conclusões

A partir do presente estudo, foi possível concluir que os setores automotivo e de eletrônicos são os que mais têm explorado o uso da estratégia modular em seus negócios, juntamente com o setor de serviços e, em menor escala, o de linha branca. Acerca dos benefícios e dificuldades da modularidade, a principal característica encontrada foi a ausência de estudos que vinculem desses aspectos com os setores industriais estudados. A partir de trabalhos nessa direção, pode-se observar como as vantagens e barreiras da estratégia modular se comportam de acordo com cada setor, visando identificar os setores os quais conseguem absorver melhor os benefícios, bem como àqueles que enfrentam mais dificuldades no processo.

Ainda em relação a esse tópico, sugere-se também que mais estudos demonstrem efetivamente os benefícios da modularidade, especialmente nos casos de redução de *lead-time* e de custos, utilidades mais citadas na literatura, o que pode ser feito por meio de métodos quantitativos (ex.: modelagem e simulação com dados reais de companhias), qualitativos (ex.: estudos de caso em profundidade, analisando-se o histórico de empresas que alteraram sua estrutura produtiva ou o seu projeto de produto) ou abordagens combinadas.

No que se refere aos elementos conceituais vinculados à modularidade, percebeu-se que há uma quantidade significativa de inter-relações entre os mesmos. Dessa forma, qualquer alteração em determinada característica impactará em outros aspectos, necessitando-se um planejamento adequado e estruturado para que as organizações possam se apropriar de maneira equilibrada e sólida do maior número possível de potencialidades da modularidade, além de compreender e considerar as possíveis limitações do conceito. Por fim, quanto às limitações deste trabalho, ressalta-se que apenas o período mais recente (2008-2012) foi considerado para seleção dos artigos, pelo fato de um dos focos principais ser o levantamento de tópicos emergentes que possam ser investigados como perspectivas futuras no tema.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

## Referências

- AGARD, B.; BASSETTO, S. Modular design of product families for quality and cost. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 6, p. 1648-1667, 2013.
- AGRAWAL, T.; SAO, A.; FERNANDES, K.J.; TIWARI, M.K.; KIM, D.Y. A hybrid model of component sharing and platform modularity for optimal product family design. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 2, p. 614-625, 2013.

ARAUJO, L.; SPRING, M. Complex performance, process modularity and the spatial configuration of production. In: CALDWELL, N.; HOWARD, M. (org.). **Procuring Complex Performance: Studies in Innovation in Product-Service Management**. London: Routledge, p. 78-96, 2011.

ARNHEITER, E.D.; HARREN, H. Quality management in a modular world. **The TQM Magazine**, v. 18, n. 1, p. 87-96, 2006.

BALDWIN, C.Y. Where do transactions come from? Modularity, transactions, and the boundaries of firms. **Industrial and Corporate Change**, v. 17 n. 1, p. 155-195, 2007.

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

BALDWIN, C.Y.; CLARK, K.B. **Design Rules: The Power of Modularity**. Cambridge: MIT Press. 2000.

BASK, A.; LIPPONEN, M.; RAJAHONKA, M.; TINNILÄ, M. The concept of modularity: Diffusion from manufacturing to service production. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 3, p. 355-375, 2010.

BRANDT, L.; THUN, E. Going mobile in China: Shifting value chains and upgrading in the mobile telecom sector. **International Journal of Technological Learning, Innovation and Development**, v. 4, n. 1-3, p. 148-180, 2011.

BRUSONI, S.; PRENCIPE, A. Patterns of modularization: The dynamics of product architecture in complex systems. **European Management Review**, v. 8, n. 2, p. 67-80, 2011.

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.

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. 9, n. 1, p. 146-169, 2008.

CARIDI, M.; PERO, M.; SIANESI, A. Linking product modularity and innovativeness to supply chain management in the Italian furniture industry. **International Journal of Production Economics**, v. 136, n. 1, p. 207-217, 2012.

CARNEVALLI, J.A.; CAUCHICK MIGUEL, P.A.; SALERNO, M.S. Aplicação da modularidade na indústria automobilística: análise a partir de um levantamento tipo survey. **Produção**, v. 23, n. 2, p. 329-344, 2013.

CAUCHICK MIGUEL, P.A.; PIRES, S.R.I. A case study on modularity in product development and production within the auto industry. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 6, n. 3, p. 315-330, 2006.

COLLINS, R.; BECHLER, K.; PIRES, S. Outsourcing in the Automotive Industry: From JIT to Modular Consortia. **European Management Journal**, v. 15, n. 5, p. 498-508, 1997.

DE WAARD, E.J.; KRAMER, E.H. Tailored task forces: Temporary organizations and modularity. **International Journal of Project Management**, v. 26, n. 5, p. 537-546, 2008.

GEUM, Y.; KWAK, R.; PARK, Y. Modularizing services: A modified HoQ approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, n. 2, p. 579-590, 2012.

GU, P.; SOSALE, S. Product modularization for life cycle engineering. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 15, n. 5, p. 387-401, 1999.

HENRIQUES, F.E. Grau de adoção da modularidade em projeto e em produção em montadoras automotivas no Brasil: avaliação de novos desenvolvimentos de veículos. **Dissertação** (Mestrado

em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, Brasil. 2013.

HOETKER, G. Do modular products lead to modular organizations? **Strategic Management Journal**, v. 27, n. 6, p. 501-518, 2006.

HUANG, M.S.; HSU, M.K. Modular design applied to beverage-container injection molds. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 53, n. 1-4, p. 1-10, 2011.

JAIN, S.; ROELOFS, F.; OOSTERLEE, C.W. Valuing modular nuclear power plants in finite time decision horizon. **Energy Economics**, v. 36, p. 625-636, 2013.

LAU, A.K.W.; YAM, R.C.M.; TANG, E.P.Y. Supply chain integration and product modularity: An empirical study of product performance for selected Hong Kong manufacturing industries. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 30, n. 1, p. 20-56, 2010.

LIN, Y.; PEKKARINEN, S. QFD-based modular logistics service design. **Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 26, n. 5, p. 344-356, 2011.

LINDQUIST, A.; BERGLUND, F.; JOHANNESSON, H. Supplier integration and communication strategies in collaborative platform development. **Concurrent Engineering-Research and Applications**, v. 16, n. 1, p. 23-35, 2008.

LIU, Z.; WONG, Y.S.; LEE, K.S. Modularity analysis and commonality design: A framework for the top-down platform and product family design. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 12, p. 3657-3680, 2010.

MACDUFFIE, J.P. Modularity-as-Property, Modularization-as-Process, and 'Modularity'-as-Frame: Lessons from Product Architecture Initiatives in the Global Automotive Industry. **Global Strategy Journal**, v. 3, n. 1, p. 08-40, 2013.

MARX, R.; SALERNO, M.S.; ZILBOVICIUS, M. The 'modular consortium' in a new VW truck plant in Brazil: new forms of assembler and suppliers relationship. **Integrated Manufacturing Systems – The International Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 8, n. 5, p. 292-298, 1997.

MEHL, E.L.M. **Do Transistor ao Microprocessador**. Disponível em: [http://stoa.usp.br/kblane/files/827/4714/historia\\_transistor.pdf](http://stoa.usp.br/kblane/files/827/4714/historia_transistor.pdf). Acesso em: 20 dez. 2013.

MIOZZO, M.; GRIMSHAW, D. Modularity and innovation in knowledge-intensive business services: IT outsourcing in Germany and the UK. **Research Policy**, v. 34, n. 9, p. 1419-1439, 2005.

NUNES, B.; BENNETT, D. The Contribution of Modularity to Green Operations Practices. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 5, n. 2, p. 93-108, 2008.

PANDREMENOS, J.; PARALIKAS, J.; SALONITIS, K.; CHRYSOLOURIS, G. Modularity concepts for the automotive industry: a critical review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 1., n. 3, p. 148-152, 2009.

PARENTE, R.C.B.; BAACK, D.W.; HAHN, E.D. The effect of supply chain integration, modular production, and cultural distance on new product development: A dynamic capabilities approach. **Journal of International Management**, v. 17, n. 4, p. 278-290, 2011.

PEKKARINEN, S.; ULKUNIEMI, P. Modularity in the developing business services by platform approach. **International Journal of Logistics Management**, v. 19, n. 1, p. 84-103, 2008.

PIRES, S.R.I. Gestão da cadeia de suprimentos e o modelo de consórcio modular. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 05-15, 1998.



PLOS, O.; BUISINE, S.; AOUSSAT, A.; MANTELET, F.; DUMAS, C. A Universalist strategy for the design of Assistive Technology. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 42, n. 6, p. 533-541, 2012.

RAHIKKA, E.; ULKUNIEMI, P.; PEKKARINEN, S. Developing the value perception of the business customer through service modularity. **Journal of Business and Industrial Marketing**, v. 26, n. 5, p. 357-367, 2011.

RO, Y.K.; LIKER, J.K.; FIXSON, S.K. Evolving models of supplier involvement in design: The deterioration of the Japanese model in US auto. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 55, n. 2, p. 359-377, 2008.

SACOMANO NETO, M.; TRUZZI, O.M.S. Posicionamento estrutural e relacional em redes de empresas: uma análise do consórcio modular da indústria automobilística. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 4, p. 598-611, 2009.

SAKO, M., MURRAY, F. **Modular strategies in cars and computers**. Financial Times, 1999.

SAKO, M.; MURRAY, F. Modules in design, production and use: implications for the global automotive industry. In: GERPISA INTERNATIONAL COLLOQUIUM, 2000, Paris. **Proceedings...** Paris, 2000.

SALERNO, M.S.; CAMARGO, O.S.; LEMOS, M.B. Modularity tem years after: na evaluation of the Brazilian experience. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 8, n. 4, p. 373-381, 2008.

SALERNO, M.S.; MARX, R.; ZILBOVICIUS, M.; DIAS, A.V.C. The importance of locally commanded design for the consolidation of local supply chain: the concept of design headquarters. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 16, n. 4, p. 361-376, 2009.

SCAVARDA, L.F.; BARBOSA, T.P.W.; HAMACHER, S. Comparação entre as tendências e estratégias da indústria automotiva no Brasil e na Europa. **Gestão & Produção**, v. 12, n. 3, p. 361-375, 2005.

SCHMICKL, C.; KIESER, A. How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations? **Research Policy**, v. 37, n. 3, p. 473-491, 2008.

SHAMSUZZOHA, A.H.M. Modular product architecture for productivity enhancement. **Business Process Management Journal**, v. 17, n. 1, p. 21-41, 2011.

STÄBLEIN, T.; HOLWEG, M.; MIEMCZYK, J. Theoretical versus actual product variety: how much customisation do customers really demand? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 3, p. 350-370, 2011.

SUNDBO, J. Modularization of service production and a thesis of convergence between service and manufacturing organizations. **Scandinavian Journal of Management**, v. 10, n. 3, p. 245-266, 1994.

SUSHANDOYO, D.; MAGNUSSON, T. A two-way relationship between multi-level technological change and organisational characteristics-cases involving the development of heavy hybrid buses. **Technovation**, v. 32, n. 7-8, p. 477-486, 2012.

TSVETKOVA, A.; GUSTAFSSON, M. Business models for industrial ecosystems: A modular approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 29-30, p. 246-254, 2012.

TYAGI, S.; YANG, K.; TYAGI, A.; VERMA, A. A Fuzzy Goal Programming Approach for Optimal Product Family Design of Mobile Phones and Multiple-Platform Architecture. **IEEE**

**Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C – Applications and Reviews**, v. 42, n. 6, p. 1519-1530, 2012.

VOSS, C.A.; HSUAN, J. Service architecture and modularity. **Decision Sciences**, v. 40, n. 3, p. 541-569, 2009.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Rio de Janeiro: Campus. 1992.

ZIRPOLI, F.; BECKER, M.C. The limits of design and engineering outsourcing: Performance integration and the unfulfilled promises of modularity. **R & D Management**, v. 41, n. 1, p. 21-43, 2011.

Recebido: 29/10/2013

Aprovado: 20/12/2014