

Perspectivas e implicações da modularidade do desenvolvimento de produto - estudo bibliográfico inicial

Paulo Augusto Cauchick Miguel (USP/UNIMEP) pamiguel@unimep.br

Resumo

Dentre essas perspectivas de pesquisa em desenvolvimento de produto, a literatura tem apontado um tema emergente: o emprego da modularidade em projetos de desenvolvimento de produto. A modularidade constitui um processo de projeto de um produto complexo a partir de sub-sistemas, envolvendo duas idéias principais: interdependência entre os sub-sistemas e componentes do próprio módulo e a independência entre os módulos. Nesse contexto, a abordagem modular tem sido explorada por diversos setores industriais, tais como na indústria de componentes eletro-eletrônicos, câmeras fotográficas, computadores e no setor automotivo. O trabalho identifica que, apesar do crescente uso da modularidade, existem implicações na sua plena adoção, particularmente na indústria automotiva. Nesse setor, apesar da modularidade ser um fator importante para a competitividade, poucas organizações têm avançado nessa direção. As dificuldades podem até envolver a definição do que realmente constitui um módulo, com variantes conceituais em termos de função, forma ou elemento. O trabalho também identifica que a decisão de adotar uma estrutura modular para desenvolvimento de produto tem uma grande influência em toda a organização, pois suas implicações envolvem a cadeia de fornecimento. Nesse sentido, este trabalho também aponta perspectivas para pesquisas nesse tema, estabelecendo então uma base para estudos futuros.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produto, modularidade, cadeia de suprimentos

1. Introdução

O sistema de desenvolvimento de produto constitui-se de uma série de processos, cujas atividades podem ser estruturadas em três dimensões principais (CHENG, 2000): 1. Avaliação do desenvolvimento de produtos (avaliação de desempenho e identificação dos fatores contribuintes de sucesso); 2. Estratégico: empresa/projeto (processo de desenvolvimento e organização); e 3. Operacional: projeto (processo de desenvolvimento e organização do grupo de desenvolvimento). Essas dimensões podem então ser desdobradas e relacionadas aos tópicos de interesse como perspectivas para o engajamento de pesquisa e desenvolvimento do conhecimento.

Dentre essas perspectivas, a literatura mais recente tem apontado um tema relevante relacionado às dimensões estratégica e operacional do processo de desenvolvimento: o emprego da modularidade em projetos de desenvolvimento de produto. A modularidade constitui um processo de projeto de um produto complexo a partir de sub-sistemas de menor escala (BALDWIN e CLARK, 1997). Esses sub-sistemas podem ser projetados independentemente mas devem funcionar inter-dependentemente, de forma a satisfazer as condições de operação pré-determinadas. No entanto, a decisão de adotar projetos que envolvem sistemas modulares, relativamente frequentes na indústria automotiva (ver DORAN, 2003), não é uma tarefa simples e suas implicações ainda carecem de mais estudos nessa direção. Na verdade, indica Camuffo (2000), mesmo na indústria automotiva, poucas organizações têm avançado nessa direção.

Nesse contexto, este trabalho objetiva fazer uma análise inicial da literatura em relação ao emprego da modularidade no desenvolvimento de produto. A partir da bibliografia estudada, algumas implicações na adoção da modularidade no desenvolvimento de produto são identificadas, bem como são apresentadas perspectivas para pesquisas futuras.

2. Referencial teórico sobre os princípios da modularidade

A classificação das dimensões relacionadas ao desenvolvimento de produto – citada na Introdução e proposta por Cheng (2000) - é importante não somente pela contribuição em mapear as dimensões básicas e fronteiras do desenvolvimento de produto mas também, em relação a este trabalho, estabelecer seu contorno teórico. Nesse sentido, essa proposta relaciona-se com os tópicos 2 e 3 (processo de desenvolvimento nos níveis estratégico e operacional). Com o tópico 2, relaciona-se a aspectos organizacionais de integração inter-organizacional pois a modularidade envolve as estratégias de desenvolvimento de produto, operacionais e das relações organizacionais na cadeia de suprimentos (ver DORAN, 2003) e também pelo envolvimento dos fornecedores nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento (ver MONCZKA et al., 2000). Por sua vez, este tema relaciona-se com o tópico 3 por razões similares, ou seja, pelo impacto que a decisão da adoção de projetos modulares pode causar nos estágios de desenvolvimento de produto, bem como pelo envolvimento dos fornecedores nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento. Esses processos de desenvolvimento são geralmente estruturados de acordo com diversos modelos descritos na literatura: APQP - *Advanced Product Quality Planning* (APQP, 1997); Funil de Desenvolvimento (CLARK e WHEELRIGHT, 1993), *Stage-gates* (COOPER, 1993) ou outros processos similares (RAHMAN, 1995; DUNCAN, 1996; GUNASEKARAN, 1998; PETERS et al. 1999). Nesse contexto, a modularidade, foco principal este trabalho, é conceituada no item a seguir, bem como seus tipos principais.

2.1 Conceito de modularidade

Visando analisar a estrutura de produto, Ulrich (1995) introduziu uma tipologia para a arquitetura de produto, subdividindo-a em arquitetura modelar e arquitetura integrada. A partir dessa definição, o autor (ULRICH, 1995) menciona seus efeitos na variabilidade dos produtos, sugerindo que a arquitetura modular permite maior flexibilidade de projeto e manufatura pela utilização de sub-sistemas.

Uma das definições mais relevantes de modularidade foi proposta por Baldwin e Clark (1997). Os autores conceituam modularidade como o processo de construir um produto complexo a partir de sub-sistemas de menor escala, que podem ser projetados independentemente mas que funcionam juntos como um todo. Nesse sentido, duas idéias estão presentes nesse conceito geral (BALDWIN e CLARK, 2000): interdependência entre os sub-sistemas e componentes do próprio módulo e a independência entre os módulos. Entretanto, a modularidade não é limitada ao projeto de produto podendo envolver, os processos de produção ou outros processos organizacionais, como descrito a seguir.

2.2 Tipologia da modularidade

Segundo Camuffo (2000), a modularidade pode ser de três tipos: de projeto, de fabricação (manufatura ou montagem) ou relacionada aos processos organizacionais. A modularidade no projeto refere-se à delimitação das fronteiras de um produto e de seus componentes, de tal forma que as características e tarefas de projeto sejam interdependentes entre os módulos. No caso da fabricação, refere-se ao planejamento dos processos de manufatura e de montagem de maneira a reduzir a complexidade dos principais processos. Nesse sentido, considera-se sub-montagens e testes de pré-acoplamento dos módulos transferindo algumas dessas atividades para os fornecedores na cadeia de suprimentos. Ainda segundo o autor (CAMUFFO, 2000), a

modularidade em relação aos processos organizacionais é associada às estruturas de governança e procedimentos de contratação que são adotados para acomodar a produção modular no contexto interno à empresa ou entre empresas.

2.3 Aplicações da modularidade

A abordagem modular tem sido explorada por diversos setores industriais. Existem evidências no uso de sistemas modulares na indústria de componentes eletro-eletrônicos há mais de uma década (LANGOIS e ROBERTSON, 1992). Outros relatos identificam o uso de módulos no projeto de câmeras fotográficas (ROBERTSON e ULRICH, 1998), computadores (BALDWIN e CLARK, 1997; SAKO e MURRAY, 1999), bem como automóveis e seus componentes (BALDWIN e CLARK, 1997; SAKO e MURRAY, 1999; CAMUFFO, 2000; SALERNO, 2001; FREDRIKSSON, 2002; DORAN, 2003).

Uma variante dos estudos de modularidade também considera uma investigação sobre a modularidade de projeto sob a perspectiva da otimização computacional, como por exemplo mostrado no trabalho de Fujita (2002). O autor (FUJITA, 2002) utiliza a simulação computacional para determinar o conteúdo dos módulos e suas possíveis combinações no projeto de uma aeronave e também em um projeto de um televisor.

3. O caso da modularidade em projetos de produto na indústria automotiva

A utilização da modularidade na indústria automotiva tem demonstrado ser um fator importante em termos de competitividade (FREDRIKSSON, 2002). Assim, várias experiências relacionadas à indústria automotiva são citadas na literatura. Algumas dessas fontes são descritas na seqüência.

Baldwin e Clark (1997), Camuffo (2000) e Doran (2003) relatam um projeto conjunto envolvendo a Swatch Fabricante suíço de relógios) e a Mercedes-Benz na Europa, no projeto e montagem de um veículo de dois lugares denominado *Smart* (CAMUFFO, 2000). A colaboração entre essas duas empresas envolveu a experiência da Mercedes-Benz em como definir os módulos para seus veículos utilitários esportivos. Enquanto que um veículo necessita da coordenação de aproximadamente 200 fornecedores, este projeto conjunto foi projetado para usar somente 25 fornecedores (DORAN, 2003), localizados próximos a planta da montadora em Hambach na França (CAMUFFO, 2000). Um indicativo importante na abordagem modular e a transferência de uma porcentagem alta de valor agregado para os fornecedores que, no caso da planta industrial do *Smart*, somente 20% das atividades com valor agregado ocorreu na montadora (DORAN, 2003). Ainda segundo Doran (2003), mais recentemente a Ford e General Motors construíram novas plantas industriais específicas para acomodar montagem por módulos.

Em outro caso citado por Doran (2003), um projeto de um novo veículo utilitário esportivo, pela Mercedes-Benz nos EUA, envolveu a estruturação do projeto em sete módulos. Para ilustrar a complexidade associada com uma abordagem modular para montagem de um veículo, o módulo da cabina do motorista contém o sistema de *air bag*, aquecimento e ar-condicionado, painel de instrumentos, coluna de direção, e toda a fiação necessária, envolvendo diferentes tecnologias de produto e processo.

Outra experiência é relatada por Fredriksson (2002), que analisa as condições necessárias para a montagem de unidades modulares, baseado em um estudo de caso conduzido na Volvo Sueca. O autor (FREDRIKSSON, 2002) discute a decorrência de uma estrutura modular de produto que pode implicar em montagem modular, envolvendo sub-montagens de componentes em módulos em paralelo com o trabalho de montagem final, indicando que formas organizacionais distintas oferecem diferentes condições para o desempenho das unidades de montagem modulares. No entanto, conclui que nenhuma das formas

organizacionais é a melhor e que diferentes alternativas devem ser utilizadas mas que as montadoras devem controlar as unidades de montagem modulares.

Em todos os casos analisados, identifica-se uma série de implicações na decisão de adotar a modularidade no desenvolvimento de produto. Essas implicações são discutidas a seguir.

3.1 Implicações da modularidade

A decisão de adotar uma estrutura modular de produtos tem uma grande influência em toda a organização (BALDWIN e CLARK, 1997). Mesmo na indústria automotiva que demonstra uma grande aplicação da modularidade, poucas organizações têm avançado nessa direção (CAMUFFO, 2000). Apesar de um crescente número de montadoras automotivas e seus fornecedores estarem adotando estratégias voltadas para a modularidade, continua existindo uma confusão em relação ao que realmente constitui um módulo, com definições em termos de função, forma ou elemento (DORAN, 2003). Na realidade, a decisão de adotar projetos que envolvem sistemas modulares, relativamente frequentes na indústria automotiva, não é uma tarefa simples e suas implicações ainda carecem de estudos mais aprofundados.

Nesse sentido, o desenvolvimento de produto voltado para a modularidade, isto é, o estudo de como dividir um sistema em módulos também tem sido pesquisado, buscando reduzir a complexidade do processo de projeto, como apontado por Ulrich e Eppinger (1995) e Huang e Kusiak (1998).

Por exemplo, Carbone (1999) aponta algumas dificuldades associadas à definição do que constitui-se um módulo pela Honda, enfatizando as dificuldades de seleção de um fornecedor para o módulo de painel de instrumentos em função das diferentes tecnologias envolvidas (no caso prover o pedido para um fornecedor com tecnologia em plásticos mas não necessariamente *expert* em eletrônica), dificultando a decisão sobre o nível de integração requerido.

Além da dificuldade em definir a estrutura modular, a utilização de sistemas modulares tem trazido implicações no projeto, na fabricação e em processos organizacionais, como por exemplo em relação a aspectos estratégicos (CAMUFFO, 2000) ou de gestão da cadeia de suprimentos (DORAN, 2003).

No contexto da cadeia de suprimentos, segundo Sako e Murray (1999), existem duas abordagens estratégicas distintas para lidar com modularidade: o papel “integrador”, onde a montadora mantém o controle sobre os módulos e o papel “modulador”, onde a montadora transfere o controle dos módulos para o fornecedor da primeira linha de fornecimento que possui a capacidade requerida para oferecer a solução modular necessária. Essa diferença ilustra o fato que, não necessariamente, todas as montadoras estão dispostas a delegar o controle sobre a operação modular. Na verdade, um dos pontos críticos de sucesso para os fornecedores de módulos é representado pela sua habilidade da produção em alcançar o desempenho requerido, reconhecer e apoiar ganhadores e qualificadores de pedido apropriados (HILL, 1993) e identificar e implementar estratégias operacionais adequadas.

4. Perspectivas para pesquisas futuras

Sendo assim, com base na literatura, nota-se que o conceito a aplicação de modularidade ainda não está consolidado. Conforme aponta Doran (2003): “a modularidade continua na sua infância”. Nesse sentido, é possível identificar uma série de perspectivas para desenvolvimento desse tema. Essas perspectivas são descritas a seguir.

De acordo com Camuffo (2000), não está claro como a modularidade no desenvolvimento de produto relaciona-se com os processos organizacionais, sejam estes internos a organização ou aqueles que envolvam relação entre organizações. A questão que surge está relacionada a

como a modularidade definida em projeto pode causar impacto esses processos e em que intensidade. No contexto do setor automotivo, por exemplo, somente algumas montadoras têm extensivamente adotado a modularidade no desenvolvimento do produto (CAMUFFO, 2000). Essa afirmativa, por si só, já apresenta-se como uma importante perspectiva para pesquisa neste cenário. Estudos empíricos que sirvam como base para melhor entendimento do impacto da modularidade sem dúvida viriam a contribuir nesse sentido. Outras perspectivas devem considerar o estudo sobre as implicações associadas a determinação dos recursos necessários a serem alocados aos projetos modulares. Essas implicações podem envolver o redirecionamento das estratégias operacionais, estudos de custos e análise da cadeia de valor, necessidade de melhoria nas técnicas de controle e garantia da qualidade, bem como desenho e gestão da cadeia de suprimentos.

A modularidade também vem trazer implicações para o projeto da arquitetura da produção, uma vez que a adoção de projetos modulares deve vir a facilitar os processos produtivos de forma a atender os requisitos de variabilidade de produtos, fluxo de produção, custos e qualidade. A decisão de adotar a modularidade pode levar, como consequência, a transferência de operações que agregam valor para os fornecedores, como identificado anteriormente, bem como a busca por uma gestão mais eficaz dos fornecedores em relação a seleção, qualificação, e avaliação de desempenho.

Visando implementar essas perspectivas de pesquisa, diversas estratégias poderão vir a ser utilizadas, tais como desenvolvimento teórico-conceitual (WHETTEN, 1989), estudo de casos (YIN, 1994; VOSS et al., 2002) e, eventualmente, pesquisa-ação (THIOLLENT, 1996; COUGHLAN e COUGHLAN, 2002), embora não esteja descartada a hipótese da realização de levantamentos tipo *survey* (FORZA, 2002). A decisão sobre as estratégias e métodos de pesquisa a serem adotados, vai depender de uma melhor delimitação da pesquisa, próxima etapa desse trabalho, para, em seguida definir e delinear de forma mais precisa a metodologia a ser adotada para essa pesquisa.

5. Considerações finais

A partir da análise de parte da literatura sobre modularidade, nota-se que seu conceito, bem como suas implicações ainda não estão plenamente desenvolvidos. Sendo assim, diversas perspectivas para trabalhos futuros são identificadas. Essas perspectivas partem da decisão de adotar um projeto modular e estendem-se para outros processos e funções organizacionais, sejam relacionados aos processos de produção, gestão de fornecedores, estratégias operacionais e da cadeia de suprimentos, dentre outras.

Nesse sentido, a próxima fase desse estudo é delimitação da presente pesquisa, mais especificamente voltada para o desenvolvimento de um modelo que considere as variáveis envolvidas no projeto modular, bem como suas implicações para os processos organizacionais. O projeto considera, portanto, um desenvolvimento teórico-conceitual, não estando descartada a hipótese de realização de estudos empíricos sobre esse tema.

Referências

- APQP (1997) - Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle. São Paulo: Instituto da Qualidade Automotiva, 1ª edição, 1997.
- BALDWIN, C.Y. e CLARK, K.B. (2000) - Design Rules – The Power of Modularity, Vol. 1. Cambridge: The MIT Press.
- BALDWIN, C.Y. e CLARK, K.B. (1997) - Managing in the Ages of Modularity. Harvard Business Review, September-October, p. 84-93.
- CAMUFFO, A. (2000) - Rolling out a World Car: Globalization, Outsourcing and Modularity in the Auto Industry, IMVP Working Paper. Available: <http://imvp.mit.edu.papers>.

- CARBONE, J. (1999) - The System is the Thing. Purchasing, February, p.60-66.
- CHENG, L.C. (2000) - Caracterização da Gestão de Desenvolvimento do Produto: Delineando o seu Contorno e Dimensões Básicas. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto, São Carlos, p. 1-9.
- CLARK, K.B. e WHEELWRIGHT, S.C. (1993) - Managing New Product and Process Development". New York: The Free Press.
- COOPER, R. (1993) - Winning at New Products – Accelerating the Process from Idea to Launch. Cambridge: Perseus Books.
- COUGHLAN, P. e COUGHLAN, D. (2002) - Action Research for Operations Management. International Journal of Operations and Production Management, Vol. 22 No. 2, p. 220-240.
- DORAN, D. (2003) - Supply Chain Implications of Modularization. International Journal of Operations and Production Management, Vol. 23, No. 3, p.316-326.
- DUNCAN, W.R. (1996) - *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Pennsylvania: Project Management Institute Publications.
- FORZA, C. (2002) - Survey Research in Operations Management: a Process-based Perspective. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22, No. 2, pp. 152-194.
- FREDRIKSSON, P. (2002) - Modular Assembly in the Car Industry – an Analysis of Organizational Forms' Influence on Performance. European Journal of Purchasing & Supply Management, Vol. 8, p. 221-233.
- FUJITA, K. (2002) - Product Variety Optimization under Modular Architecture. Computer-Aided Design, Vol. 34, p. 953-965.
- GUNASEKARAN, A. (1998) - An Integrated Product Development-Quality Management System for Manufacturing. *The TQM Magazine*, Vol. 10, No. 2, pp. 115-123.
- HILL, T. (1993) - Manufacturing Strategy. London: Macmillan.
- HUANG, C. e KUSIAK, A. (1998) - Modularity in Design of Products and Systems. IEEE Transactions of Systems, Man., and Cybernetics – Part A: Systems and Humans, Vol. 28, No. 1.
- LANGOIS, R. e ROBERTSON, P. (1992) - Networks and Innovation in a Modular Systems: Lessons from the Microcomputer e Stereo Components Industry. Research Policy, Vol. 21, p. 297-313.
- MONCZKA, R.M. et al. (2000) - New Product Development - Strategies for Supplier Integration. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- PETERS, A.J. et al. (1999) - New Product Design and Development: a Generic Model. *The TQM Magazine*, Vol. 11, No. 3, p. 172-179.
- ROBERTSON, D. e ULRICH, K. (1998) - Planning for Product Platforms. Sloan Management Review, Vol. 39, No. 4, p. 19-31.
- RAHMAN, S. (1995) - Product Development Stages and Associated Quality Management Approaches. *The TQM Magazine*, Vol. 7, No. 6, p. 25-30.
- SAKO, M. e MURRAY, F. (1999) - Modular Strategies in Cars and Computers. Financial Times, No. 6, December.
- SALERNO, M.S. (2001) - The Characteristics and the Role of Modularity in the Automotive Business. International Journal of Automotive Technology and Management, Vol. 1, No. 1, p. 92-107.
- THIOLLENT, M. (1996) - Metodologia da Pesquisa-ação. São Paulo: Cortez Editora.
- ULRICH, K. e EPPINGER, S.D. (1995) - Product Design and Development. New York: McGraw-Hill.
- VOSS, C., TSIKRIKTSIS, N. e FROHLICH, M. (2002) - Case Research in Operations Management. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22 No. 2, p. 195-219.
- WHETTEN, D.A. (1989) - What Constitutes a Theoretical Contribution? Academy of Management Review, Vol. 14, No. 4, pp. 490-495.
- YIN, R.K. (1994) - Case Study Research – Design and Methods. Applied Social Research Methods Series, Vol. 5, London: Sage Publications.