

O desenvolvimento de projetos de sistemas complexos na indústria aeronáutica: o caso de gestão integrada aplicada ao programa Embraer 170

The development of complex systems projects in the aeronautical industry: the case of integrated management applied to the program Embraer 170

Luiz Guilherme de Oliveira¹

Resumo

Este trabalho busca analisar o desenvolvimento de sistemas complexos na indústria aeronáutica a partir do projeto de aeronave da Embraer (Embraer 170). Deve-se estar atento para algumas das características de produtos denominados como complexos, a saber: i) elevado custo unitário, ii) alta intensidade de engenharia, iii) produtos desenvolvidos a fim de atender demandas específicas dos consumidores, e iv) que requerem uma elevada capacidade de integração de conhecimentos e competências. É importante destacar que a dinâmica da empresa integradora, aquela que desenvolve e monta o produto final, está estruturada a partir da lógica de desenho da cadeia de fornecedores. Outra característica importante, no caso aeronáutico, é a elevada internacionalização destes fornecedores, distribuídos globalmente. Merece atenção o fato de que muitos destes fornecedores são, na realidade, parceiros na produção e concepção da aeronave. Na verdade, a dinâmica inovadora da empresa integradora está relacionada à capacidade de gestão de P&D compartilhada, entre ela e os parceiros. Esta pesquisa foi realizada durante os anos de 2000 e 2001, sendo que o público entrevistado foi selecionado a partir da lógica de produção da empresa integradora e de seus parceiros e fornecedores (a saber: gerentes de projetos na integradora e de parceiros).

Palavras-chave: sistemas complexos, gestão integrada, desenvolvimento de projetos

Abstract

This paper is aimed at analyzing the development of complex systems in the aeronautical industry, focusing on the Embraer 170 aircraft project. Complex products have a common set of characteristics: i) high unitary cost, ii) high engineering intensity, iii) developed to address specific demands from consumers, and iv) require high capacity of integration of knowledge and abilities. It is important to note that the dynamics of the integrator company (which develops and assembles the final product) is founded in the logic of its own supply chain framework. Furthermore, other characteristic is the high internationalization of suppliers, which are globally located. It is important to emphasize the fact that many of these suppliers are actually partners in the production and conception of the aircraft. Actually, the innovative dynamics of the integrator company is related to the capacity of management of P&D, shared among the company and its partners. This research was carried through during the years of 2000 and 2001. The interviewed public was selected taking into account the integrator company's logic of production (namely: project management in the integrator and its partners).

Keywords: complex systems, integrated management, development of projects

¹ Economista, doutor em Política Científica e Tecnológica. Professor do Programa de Pós-graduação de Administração da Universidade de Brasília - PPGA/UnB. Endereço: ICC Norte, módulo 25, subsolo, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília/Distrito Federal – Brasil - CEP 70910 900. E-mail: lgoliveira@unb.br

Artigo submetido em setembro de 2007 e aceito em agosto de 2008

Introdução

O setor Aeronáutico é caracterizado pela elevada complexidade de desenvolvimento de projeto e de integração de sistemas. Desta forma, torna-se necessário compreender algumas das particularidades que regem este setor, em especial o segmento de aeronaves civis. É fundamental observar que esta complexidade ganha densidade a partir do movimento de internacionalização econômica, comum aos principais integradores de conjuntos aviônicos. O objetivo deste trabalho é buscar compreender a dinâmica do desenvolvimento de projetos complexos no setor aeronáutico a partir da experiência da Embraer. Deve-se ressaltar que o desenvolvimento do projeto necessita considerar a capacidade de integração dos sistemas e sub-sistemas por parte da integradora. É nesta capacidade que reside o *core business* na produção de aeronaves. Neste cenário, a gestão e desenvolvimento de *design* ganham importância estratégica e a introdução de um novo paradigma para o setor explicita este fenômeno que apresenta, como uma de suas conseqüências, a redução no ciclo de desenvolvimento do projeto. Ao mesmo tempo, a gestão e desenvolvimento de *design* e *co-design* do projeto exigem uma reestruturação na dinâmica produtiva, o que leva à necessidade de criação de mecanismos de comunicação que permitam uma eficiência na troca de informações entre os atores envolvidos no processo de produção.

O artigo está estruturado em 4 seções. A seção inicial apresenta a gestão em sistemas de produtos complexos (CoPS). A segunda seção descreve a lógica de desenvolvimento de projetos aeronáuticos focando três aspectos: o ciclo de desenvolvimento do produto, a dinâmica inovativa do setor e o processo de gestão de *design* e *co-design*. A seção seguinte descreve o estudo de caso da Embraer no desenvolvimento da família 170. Finalmente, a última seção apresenta as conclusões do trabalho. A metodologia aplicada buscou analisar a integração de aeronaves a partir do estudo de caso da família de aviões Embraer 170. O trabalho de coleta de dados foi organizado em duas fases. A fase inicial, durante os anos de 2000 e 2001, foi composta por uma amostra de 8 empresas (inclusive a Embraer). Esta fase foi fundamental para a definição e desenho da amostra da fase seguinte. A segunda fase, mais extensa, foi realizada nos anos de 2002, 2003 e 2004. Nesta fase foram efetuadas 35 visitas em várias empresas da cadeia aeronáutica e no Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA). Ainda a respeito da segunda fase, o campo focou a coleta de dados primários, de caráter qualitativo. Inicialmente, existiu uma preocupação quanto ao corte das empresas a serem visitadas. A opção pelo modelo 170 está fundamentada no sentido de que este projeto foi o primeiro desenvolvido no período pós-privatização da Embraer. Em todas as empresas visitadas, os respondentes foram selecionados como pessoas vinculadas à elaboração do projeto, ou seja, pessoas familiarizadas com a estratégia e comportamento da cadeia produtiva aeronáutica e vinculados à engenharia de produto e à atividade de P&D.

A Gestão do Design em Sistemas de Produtos Complexos

A produção de Produtos Complexos (CoPS) envolve uma dinâmica peculiar e atípica quando comparada com os processos de produção mais tradicionais. A dificuldade na produção, integração e desenvolvimento deste tipo de produto talvez seja sua característica mais emblemática. É importante salientar que o que vai determinar esta complexidade não é somente a tecnologia incorporada ao produto, mas também a forma de organização da estrutura de produção e a capacidade de relação entre os atores envolvidos. O primeiro atributo que poderia nos ocorrer como necessário a um produto complexo é a heterogeneidade de sua constituição. Entretanto, tal heterogeneidade ou multipartibilidade pode ser uma condição necessária, mas não é suficiente; um produto complexo é algo cujas partes constituintes encontram-se arrançadas de tal modo que não seja provável que esse arranjo tenha ocorrido por acaso.

Quanto maior o número de atores envolvidos no processo, maior a possibilidade de atrito entre estes atores, maior a necessidade de um *design* eficiente que possibilite a integração de maneira harmônica entre as partes. Desta maneira, a capacidade de gestão destes atores também caracteriza a complexidade do processo.

O caso da indústria aeronáutica pode ser classificado como uma rede de produtos complexos. Este tipo de rede compreende relacionamentos produtivos associados à geração de CoPS de caráter único e customizado, que

requerem a integração de diferentes sistemas de componentes (aviônicos). Geralmente estas redes são montadas a partir de projetos envolvendo uma diversidade de agentes e instituições, dos quais é possível obter bens extremamente sofisticados. Os produtos gerados possuem um elevado valor unitário e são altamente intensivos em atividades de engenharia, sendo produzidos em função das necessidades de consumidores individuais. A complexidade técnica dos produtos obtidos através destes arranjos – baseados na compatibilização de diferentes subsistemas e da estrutura de hardware e software – requer a integração de conhecimentos e competências diferenciadas (Hobday, 2000).

O quadro 1 descreve as características de CoPS. Nele podemos observar os seguintes fatores: características do produto, características de produção, processo inovativo, estratégias competitivas, coordenação e evolução industrial e características do mercado.

Quadro 1 – Caracterização de Produtos Complexos

Característica do Produto	Interfaces complexas entre componentes Elevado custo unitário Ciclo de produção longo (décadas) Diversos inputs em termos de habilidades e conhecimentos
Características da produção	Produção de unidades discretas através de produtos unitários Integração de sistemas Intensiva em escala, apesar da produção em massa não ser relevante
Processos Inovativos	Comandados por relação usuário-produtor Processo flexível, baseado em habilidades específicas Inovação e difusão inter-relacionadas Padrões de inovação negociados previamente entre fornecedores e usuário Conhecimento incorporado em pessoal qualificado.
Estratégias competitivas e Coordenação da Inovação	Foco no <i>design</i> e desenvolvimento do produto Coordenação orgânica Integração sistêmica de competências Gerenciamento de alianças simultâneas em projetos temporários
Coordenação e Evolução industrial	Redes estruturadas Alianças simultâneas entre múltiplas firmas baseadas em projetos específicos Alianças temporárias para produção e inovação Estabilidade de longo prazo ao nível da integração de sistemas
Características do mercado	Estrutura duopolista Pequeno número de transações Mercados administrados Preços negociados Mercados parcialmente contestáveis

Baseado em Hobday (2000).

O conceito de complexidade refere-se não apenas ao número de componentes integrados ao produto, mas também à contribuição que a arquitetura, através da qual estes componentes se combinam, exerce para a obtenção de uma melhor performance funcional. Neste sentido, à medida que o progresso tecnológico avança ao longo do tempo, torna-se possível obter produtos cada vez mais complexos. A eficiência na gestão das relações interfirmas torna-se uma competência essencial para o desenvolvimento deste sistema (Hobday, 2000; Walker, 2000). Esta eficiência exige a construção de canais de comunicação capazes de possibilitar uma troca de informações que permita uma noção clara da etapa de desenvolvimento de cada sistema e produto.

Autores como Davies (1998) sugerem que o CoPS possua duas fases distintas quando analisado o processo de inovação. Na primeira, é priorizado o desenvolvimento de novos sistemas de arquitetura; nesta fase a

arquitetura de design é influenciada de maneira significativa pela rede de fornecedores. A segunda se relaciona à fase de geração de novos produtos, onde a quantidade de inovação aumenta e ocorre a introdução sucessiva de novos produtos e componentes sem alterar fundamentalmente a arquitetura de design já estabelecida.

Neste tipo de arranjo os agentes se interligam e se relacionam de forma intensa e contínua. Neste processo a gestão da empresa, frente ao projeto, possui papel central na relação com a organização do processo de produção. É importante destacar que as variações exógenas (ex. mercado, instituições, mecanismos de financiamento) são os fatores que determinam as mudanças de comportamento entre os atores internos do processo produtivo. Ao mesmo tempo, existe uma relação de proximidade entre todos os atores, caracterizando a importância da troca de experiências e conhecimento adquiridos. Convém destacar, como visto anteriormente, que a partir do momento em que mais atores participam deste processo, mais complexo ele se torna. Desta maneira, exige-se uma maior capacidade da empresa que exerce a função de gestão do projeto.

O caso da Indústria Aeronáutica torna-se exemplar a partir do momento em que a empresa, que integra este conjunto de atores, busca especializar-se na gestão deste sistema. O papel da integradora é fundamental não só para a viabilidade da produção, mas também para a criação das capacidades das empresas sistêmicas e demais fornecedores. Assim, o desenvolvimento da capacidade de gestão torna-se o principal ativo estratégico da integradora. É importante salientar que é no âmbito da gestão que o *design* ganha mais importância. A relação entre integradora e fornecedores exige uma possibilidade de troca de informações e competências que permita uma eficiência no desenvolvimento do projeto (Browning, 1997).

Assim, o sistema de produtos complexos extrapola a questão da complexidade do produto em si, passa a ser considerado também a complexidade das relações entre os atores participantes do processo (Walker, 2000). É importante destacar que as relações de troca de informações entre os vários atores ocorre em vários níveis: i) no desenvolvimento do produto, ii) no processo de produção, e iii) no desenvolvimento técnico. Assim, o esquema proposto extrapola para todas as esferas vinculadas à produção em si (Wang & Tunzelmann, 2000).

As Abordagens sobre BFC, Inovação e Design

A inovação tecnológica é um elemento fundamental para a consolidação do processo evolutivo da firma. Assim passa a ser também um fator determinante para a própria estrutura de mercado. Algumas abordagens da corrente neoclássica consideram a inovação tecnológica como um fator exógeno na análise econômica. Por outro lado, a abordagem neo-schumpeteriana considera a incorporação da tecnologia como uma condição fundamental para a ampliação do dinamismo econômico, ao considerar este fator (tecnologia) como uma variável endógena ao sistema de produção, possibilitando assim uma abordagem diferenciada da evolução e da sedimentação das firmas (Freeman, 1986; Nelson & Winter, 1992; Dosi, 1984; Hodgson, 1999; Malerba, 2006).

Ao se verificar a inovação tecnológica, partindo do pressuposto neo-schumpeteriano, torna-se fundamental procurar compreender o processo evolutivo da firma. Esta compreensão, por sua vez, está condicionada a questões como observação de rotinas de processo e operação, de procedimento e seleção e de transformação (Hamel, 1990; Nelson, 1991; Lazonick, 2000; Andersen, 2003). São justamente estas rotinas que determinam as trajetórias tecnológicas e as estratégias adotadas pelas firmas.

O aprofundamento na análise das trajetórias tecnológicas ganha importância a partir do momento em que o delineamento da trajetória pode ser diferente, variando entre firmas dentro de um mesmo segmento de mercado, sendo dependente das condições de oportunidade, apropriabilidade, cumulatividade e das características da base tecnológica. A trajetória surge como um caminho natural para a superação de problemas que eventualmente emergem dentro de um determinado paradigma produtivo.

Por sua vez, argumenta-se que as atividades de design são cruciais no processo de inovação ao longo do período de maturação de uma determinada trajetória tecnológica. Segundo esta abordagem, quando diminui a possibilidade de inovações radicais cresce mais a importância do design para a estratégia das firmas. Com

efeito, o design passa a ser associado aos ciclos de competitividade, sendo considerado como um instrumento privilegiado de manutenção e conquista de novos mercados (Freeman, 1986).

O processo evolutivo da firma gera uma modificação nas estruturas das trajetórias tecnológicas, além de criar condições para as mudanças na estrutura do próprio mercado (Nelson & Winter, 1982; Dosi, 1984; Malerba, 2006). Quando observado o setor Aeronáutico, é verificada uma mudança na trajetória das empresas integradoras de sistemas. A adoção do Better, Faster, Cheaper – BFC, a partir do início da década de 90, modifica de maneira significativa o ambiente produtivo do setor (Murman, Walton & Rebutisch, 2000), pois aspectos como o período de desenvolvimento e de utilização do produto ganham importância.

Atualmente as principais empresas do setor Aeronáutico no segmento de aviação civil (Boeing, Airbus, Bombardier e Embraer) estão sintonizadas com este novo paradigma. Esta sintonia levou estas empresas observarem, com maior atenção, fatores como o ciclo de desenvolvimento e de vida útil do produto, ao mesmo tempo em que procuram adaptar seus custos dentro de um novo ambiente produtivo. O BFC busca priorizar fatores como performance, custos e tempo, sob basicamente três aspectos: i) na elaboração e desenvolvimento do design, ii) na engenharia e iii) na própria manufatura. Desta maneira, a relação entre fornecedores, sistemistas e integradores é um fundamento estratégico para uma possível bem sucedida trajetória de desenvolvimento e manufatura do produto.

Ciclos de Desenvolvimento do Produto Aeronáutico no BFC

Uma das características centrais do BFC está focada no período de desenvolvimento, produção e utilização da aeronave (ciclo de produto). Neste processo, são observadas mudanças importantes nas ferramentas que viabilizam o desenvolvimento do projeto. A possibilidade de maior eficiência, e a rapidez na troca de informações, muitas vezes, através de padronização de instrumentos de comunicabilidade, trazem ganhos significativos que se materializam no próprio ciclo do produto.

Ao se comparar o projeto de aeronaves dos segmentos civil e militar, podemos constatar que as dinâmicas são bastante distintas, principalmente quando considerado o ciclo de desenvolvimento do produto e custo de produção (Quadro 2). Uma das características principais do segmento militar está vinculada ao elevado coeficiente tecnológico incorporado ao projeto. Embora a incorporação de tecnologias sensíveis seja uma característica comum a todo setor aeronáutico, ela é mais intensiva no segmento militar. Muitas vezes, algumas tecnologias são adotadas inicialmente na área militar, sendo incorporadas na área civil após um período de amadurecimento. Este amadurecimento está bastante vinculado ao custo da incorporação da tecnologia no processo produtivo.

Ceteris Paribus, a incorporação de novas tecnologias ao produto representa uma elevação nos custos de produção. Este processo torna-se ainda mais pertinente no setor aeronáutico devido ao elevado padrão de confiabilidade que o setor exige, o que fica claro através dos rígidos trâmites para certificação de produtos. Aqui surge um importante ponto que diferencia o segmento militar do segmento civil. Enquanto o primeiro é rápido em absorver inovações tecnológicas, o segundo aguarda a viabilidade econômica e confiabilidade técnica desta inovação.

Quadro 2 - Ciclo de Desenvolvimento, Produção e Vida de um Programa Aeronáutico Civil e Militar.

Fases	Características	Duração Anos (Civil)	Duração Anos (Militar)
Pré-desenvolvimento do Produto	- Estudos de mercado; - Desenvolvimento tecnológico; - Preparação do projeto; - Lançamento do Programa.	2 a 4	5 a 6
Desenvolvimento	- Desenvolvimento-montagem de protótipo; - Obtenção de 1º protótipo; - Realização de ensaios e testes; - Certificado de navegabilidade.	3 a 4	10 a 15
Produção	- Fabricação em série; - Introdução do produto no mercado;	10 a 20	10 a 20
Ciclo de vida	--	15 a 20 (relativamente alto)	30 a 35 (alto)
Retorno do Investimento	--	6 a 8 (risco elevado)	Muito baixo ou nenhum

Fonte: Elaboração própria (baseado em: Uterback, 1994; Murman, Walton & Rebutisch, 2000).

O diferencial na incorporação de inovações entre segmentos acaba por determinar uma modificação no período de desenvolvimento do produto. Este movimento fica claro quando verificado o desenvolvimento de dois projetos distintos, de segmentos diferentes dentro da mesma empresa – Boeing, o caso do F-16 (militar) e do 777 (civil) (Murman, Walton & Rebutisch, 2000).

A Dinâmica da Inovação no Setor Aeronáutico Civil

As empresas integradoras de aeronaves seguem um padrão de comportamento no que diz respeito à sua dinâmica inovativa. Abaixo é possível verificar as atribuições e características desta dinâmica.

Quadro 3 - Características e especificidades da inovação industrial no setor aeronáutico civil.

Atribuições	Características
Inovação	- Incremental por produto e caracterizada pela cumulatividade e qualidade.
Origem da Inovação	- Fornecedores
Produtos	- Estandarização dos Produtos; - Alto valor agregado.
Processo de Produção	- Eficiência; - Intensivo em capital; - Custo de mudança tecnológica elevado e crescente.
P&D	- Foco no desenvolvimento de produtos com características incrementais; - Ênfase na tecnologia de processo.
Planta	- Larga escala; - Alta especificidade em produtos particularizados.
Custo de Produção	- Elevado.
Competidores	- Poucos; - Oligopólio clássico com estabelecimento de <i>market shares</i> bem definidos.
Base da Competição	- Preços.

Fonte: Elaboração própria (baseado em: Utterback, 1996; Hobday, 2005)

O quadro 3 demonstra as principais características do regime de inovação no setor. Neste processo de inovação, os fornecedores possuem um papel fundamental para o desenvolvimento da inovação. As empresas integradoras passam a gerenciar este processo, através do desenvolvimento na capacidade de gestão e elaboração do *design*.

A padronização dos produtos torna-se clara, assim como a característica de alta intensidade de capital, vinculada ao processo de produção. O crescente foco da P&D no desenvolvimento de inovações incrementais, com ênfase na tecnologia de processo, é um reflexo das crescentes demandas das integradoras junto a seus fornecedores. Quando verificada a adoção de inovações radicais, estas ficam centradas na indústria militar, confirmando o que foi observado anteriormente. No caso do processo inovativo, é possível detectar que os principais atores geradores da inovação passam a ser os próprios fornecedores. A integradora gerencia este movimento apresentando suas necessidades e expectativas (Murman, Walton & Rebenitsch, 2000).

As plantas produtivas buscam incorporar as exigências do novo paradigma. Assim, passam a se caracterizar pela busca de escalas de produção. No entanto, este movimento esbarra na dificuldade das integradoras em automatizar suas linhas de montagem. O trabalho de integração é basicamente manual, o que torna ainda mais clara a característica deste sistema complexo de produção.

O alto custo de produção é também uma das causas da situação oligopolística desta indústria. Aqui as barreiras de entrada tornam-se explícitas, possibilitando a manutenção desta situação. Embora exista uma tendência de perpetuação desta estrutura de mercado, a base da concorrência é o preço. Entretanto, não deve ser deixada de lado outra variável: o processo de adoção do conceito de famílias de aeronaves, tendência que tem crescido no setor aeronáutico civil devido à possibilidade de redução nos custos de treinamento e manutenção.

O "Design" na Indústria Aeronáutica Civil

O fato do setor aeronáutico caracteriza-se como um produto complexo, torna a eficiência dinâmica entre empresa e fornecedores um ativo estratégico, principalmente quando observada a gestão do desenvolvimento do *design* e *co-design* entre integradora e sistemista (Browning, 1997). Convém ressaltar que algumas destas empresas sistemistas produzem produtos que podem ser considerados também como complexos. Neste caso, a produção de turbinas pode ser um exemplo (Bonaccorsi & Giuri, 2000).

A gestão do design possui um papel central no desenvolvimento do projeto. Quando verificado o ciclo de produção, esta variável torna-se ainda mais importante. Traçar um paralelo com a indústria automotiva passa a ser a tendência natural, quando da interpretação deste movimento de especialização no desenvolvimento do design e *co-design*. Entretanto, as similaridades entre os dois setores tornam-se marginais se considerarmos o processo produtivo em âmbito geral. A adoção do toyotismo pode ser apontada como um caminho das integradoras no desenvolvimento de sua gestão de design e de gerenciamento do processo produtivo. Porém, a dinâmica de produção é distinta.

Como visto anteriormente, a complexidade da produção do setor aeronáutico inviabiliza algumas das principais características do setor automotivo, das quais pode-se citar o processo de produção em massa. Entretanto, as dinâmicas do desenvolvimento de design e *co-design* são muito próximas. Autores como Suh (1990) procuram mapear e interpretar esta dinâmica. Inicialmente, é possível verificar que a necessidade do cliente está em primeiro plano. Convém ressaltar que as expectativas destes clientes podem ser distintas. Busca-se assim, focar as necessidades dos consumidores finais. Depois de definidas as necessidades mercadológicas, são verificadas as funções técnicas que estas necessidades exigem. Em seguida, são determinados os parâmetros do design a ser desenvolvido e conseqüentemente, as possíveis variações de processos exigidos pela demanda inicial.

A capacidade de desenvolvimento deste design apresenta-se em níveis distintos, esta distinção surge em função do caráter do conhecimento exigido para o desenvolvimento. Gulati e Eppinger (1996) definiram três fases críticas quando considera as diferenças nas dimensões do conhecimento: (i) a avaliação da informação, (ii) a

transferência de informação, (iii) a proposta de uso e aplicação da informação. O fluxo de informações é um ativo fundamental na eficiência da elaboração do design, a partir do momento em que é possível distinguir dois grandes sub-grupos catalisadores deste conhecimento, o Downstream Design Process (que permeia o caráter tácito do conhecimento) e o Upstream Design Process (onde se apresenta o conceito técnico teórico). Faz-se necessário criar capacidades de troca de experiências e conceitos que viabilize a fluidez do projeto. É importante criar mecanismos que possibilitem a interatividade entre estes dois grupos (von Hippel, 1995).

A freqüente troca de informações possibilita que o grupo detentor de conhecimento tácito (Downstream Design Group) proporcione feedback para o grupo que utiliza de maneira mais intensiva o conhecimento teórico (Upstream Design Group). O grupo upstream modifica, e aperfeiçoa, o produto desenvolvido pelo grupo downstream, repassando a informação (ou o protótipo) até a elaboração do produto final.

A eficiência desta gestão exige a construção de mecanismos de comunicabilidade que viabilizem a integração entre os atores. Browning (1997) procura mapear e interpretar como este processo se sedimenta no setor aeronáutico. Inicialmente, o autor busca aprofundar a dinâmica das relações entre fornecedores, observando que estes podem se dividir em níveis hierárquicos coordenados inicialmente pela integradora. Em seu modelo, Browning apresenta que estes fornecedores podem se desdobrar em até três níveis distintos (não descartando, no entanto, a ampliação do número de níveis), além da própria integradora. Convém destacar que estes desdobramentos tornam o processo cada vez mais complexo e passam a exigir graus de integração cada vez mais eficientes. Esta eficiência está vinculada à existência de mecanismos de integração (MI), que cumprem o papel de ferramentas de comunicabilidade entre os vários níveis de produção.

Alguns atores que participam desse processo possuem um papel estratégico quando considerada a efetividade das interfaces que o desenvolvimento do design exige. O papel dos integrated product teams (IPT) e functional support groups (FGS) são um exemplo da necessidade de criação de capacidades de integração e comunicação entre os agentes envolvidos.

A idéia de rede de produção pode ser adotada neste exemplo. Assim, busca-se um ganho de escala e uma otimização nas tarefas de desenvolvimento e integração do produto. As relações dentro destes times, ou grupos, criam interfaces que necessitam de um grau de comunicabilidade eficiente, o que exige a criação de Mecanismos de Informação (MI), conforme observado no quadro 5. Como visto anteriormente, quanto maior o número de níveis, maior a complexidade do produto. Desta maneira, a integração é um fator imprescindível para a efetividade do projeto.

Quadro 5 - Ferramentas de MI

-
1. Engenharia de sistemas e otimização de interface – sistema para arquitetura do produto. Uma arquitetura composta de maneira racional facilitando o gerenciamento das interfaces.
 2. Aperfeiçoamento de informação e tecnologia de informação – sistemas de CAD/CAM/CAE, e-mail, tele e videoconferências, base de dados comum (com acesso fácil e compartilhado), nomenclatura comum aos atores.
 3. Treinamento – especializado na construção de times; aumento do conhecimento sobre o papel e necessidades dos participantes da integração.
 4. Co-locação – física dos IPT, FGS e sistemas de times e membros do programa.
 5. Reuniões tradicionais – encontros face a face para tomadas de decisão.
 6. *Town meetings* – encontros para um aumento da camaradagem entre os atores envolvidos, ao mesmo tempo em que procura criar um aumento nas relações e percepções a respeito do trabalho em grupo.
 7. Mediação gerencial – esquema para tomadas de decisão, envolvendo os responsáveis pelo produto e os integradores.
 8. Mediação dos envolvidos – engenharia de ligação, engenheiros de resolução de conflitos.
 9. Grupos de gerenciamento de interface – times de integração com o objetivo de mediar conflitos nos assuntos de interface.
 10. Contratos e padrões de interface – delineamento explícito de valores e características da interface para avaliação de sua efetividade.
-

Baseado em Browning (1997).

A aplicação destas ferramentas exige um esquema de mediação para a interface entre os atores. Este esquema, por sua vez, está vinculado a algumas características, quais sejam: i) de definição de informações (a fim de se definir quais as necessidades exigidas pela interface); ii) de permeabilidade (que possibilite uma fácil percepção entre todos os envolvidos, das necessidades e *time* entre estas necessidades); iii) de mutação (capacidade de compreender as mudanças em possíveis modificações de instrumentos de fluxo de informações); iv) de eficiência; v) de documentação (possibilitando um fluxo de informação capaz de fluir entre os agentes) e vi) de adaptação (adaptação e readaptação das tarefas exigidas).

Estudo de caso: A gestão integrada do programa Embraer 170

A Embraer foi privatizada em 1994, sendo os seus atuais controladores distribuídos entre o Grupo Bozano, Simonsen e os fundos de pensão Previ e Sistel. Em 1999, o consórcio de grandes empresas francesas Aeroespatale-Matra, Dassault Aviation e Thonsom, adquiriu 20% do capital votante formalizando uma aliança estratégica. Atualmente, a Embraer é a terceira maior fabricante de aeronaves comerciais do mundo.

O objeto deste estudo, o projeto da família 170 é o mais complexo e sofisticado já desenvolvido pela Embraer. Neste sentido, não se deve perder de vista a lógica de gestão de produtos complexos (CoPS). Aspectos importantes do CoPS relacionados às características do produto, da produção, do processo inovativo, das estratégias competitivas, da coordenação industrial e do mercado estão presentes no projeto 170. Como exemplo pode-se destacar: o número elevado de atores, as interfaces complexas entre os componentes, a produção de unidades discretas através de produtos unitários, o foco no *design* e desenvolvimento do produto, as alianças simultâneas entre múltiplas firmas baseadas em projetos específicos e os pequenos números de transações.

Sob vários aspectos este programa é inovador: pela engenharia e gestão institucional das parcerias de risco; pelas ferramentas de desenvolvimento integrado de produto (DIP) e a nova filosofia de gestão do *co-design*; pelas tecnologias de ponta incorporadas no produto, como os sistemas de navegação *fly-by-wire*; e, pelas novas tecnologias de produção, cuja referência são as técnicas de *lean production*. No projeto 170 foi empregado o conceito de família, que oferece a vantagem de comunalidade entre os aviões e o regime de *co-design* para o desenvolvimento do projeto da nova aeronave com as parceiras de risco. Estas duas estratégias são tendências mundiais, estimuladas pela natureza tecnológica do produto, estrutura de mercado, custo de desenvolvimento e risco elevado, taxa de retorno de investimentos de longa maturação, exigindo dos parceiros de risco sólida capacidade financeira para o aporte de investimentos.

A Embraer teve 45% de participação nos projetos, sendo a responsável pela integração de todos os sistemas, estrutura e parte técnica final da montagem. O desenvolvimento da nova família de jatos regionais demandou investimentos da ordem de US\$ 850 milhões. A viabilização desses recursos exigiu a participação de empresas e instituições financeiras internacionais que, assumindo os riscos de mercado, dispunham de capacidade de investimento, com início de recuperação em 3 anos e retorno pleno em 10 anos, além de notória capacidade tecnológica e competitividade mercadológica.

Além disso, estas empresas participaram no desenvolvimento de engenharia de processo e ferramental das partes do avião. Esse perfil de empresas, aliado ao prazo acelerado de seleção dos parceiros do programa, necessário pela intensa pressão de mercado, determinou que a maioria das empresas parceiras fossem de origem de capital externo. A estratégia de seleção das empresas parceiras multinacionais foi guiada de forma a assegurar ao programa agregação de valor tecnológico, atendendo aos três requisitos de alto nível, capacitação técnica, fornecimento e integração de pacotes tecnológicos e estrutura financeira e de investimento. Na prática, os parceiros de riscos são fornecedores de primeira linha, sendo responsáveis por uma parcela significativa da P&D e pela agregação de um conjunto de subsistemas e componentes que vão compor um pacote tecnológico do projeto da aeronave a ser fornecido e integrado na fase final na linha de montagem na Embraer (Marques & Oliveira, 2006). Com a redução e concentração dos fornecedores externos e locais, foram criadas novas normas e parâmetros para a composição e integração de sua cadeia de fornecimento, implicando em uma nova estrutura

na relação de suprimento global e local. Este modelo de produção é muito próximo, conceitualmente, da filosofia do condomínio industrial e sistemista adotada pela indústria automobilística, o que converge, por sua vez, com a lógica imposta pelo paradigma BFC que prioriza fatores como elaboração e desenvolvimento do *design*, na engenharia e na própria manufatura (Murman, Walton & Rebentisch, 2000).

Quadro 6 – Parceiros de Risco do Projeto 170 (país e componente)

País	Fornecimento
Espanha	Empenagens e fuselagem traseira
Bélgica	Slat/Fuselagem Central II (Fabricação)
EUA	Interior
EUA	Sistema de Geração Elétrica/APU – Conte de Cauda/Sistema de Gerenciamento de Ar
EUA	Controle de Vôo, Sistema de combustível e Sistema Hidráulico
EUA	Aviônica
Alemanha	Trem de pouso
Japão	Asa (bordo de ataque fixo, bordo de fuga fixo, stub, pilone, superfícies de controle
França	Fuselagem Central I/ Fuselagem Central III / Portas
EUA	Motor/ <i>Nacelle</i>
França	Fornecimento de Painéis de Revestimento e Nervura de Asas
EUA	Produção de transparências/janelas

Fonte: Embraer.

O conjunto de parceiros de riscos a integrarem o programa 170 foi selecionado a partir da análise de 85 potenciais parceiros. Destes, 58 foram qualificados e 12 foram escolhidos.

Para a coordenação do programa 170 foi criada uma diretoria dedicada ao projeto. Uma das primeiras iniciativas desta diretoria foi organizar dois grupos centrais responsáveis por cada segmento físico e subsistemas do projeto. O primeiro grupo, denominado *Integrated Program Teams* (IPT), teve como atribuição assegurar a visão funcional e a qualidade do projeto dos subsistemas da aeronave. O segundo grupo, chamado *Design Build Teams* (DBT), ficou responsável por cada segmento físico da aeronave. Estes grupos tiveram como missão garantir a perfeita integração das partes do projeto em convergência com a filosofia da Embraer de desenvolvimento integrado de produto. Visando a integração e interação, constante entre os parceiros e usuários, também foram criados os *Advisory Boards* e *Steering Comittes* para incorporar as sugestões e impressões dos usuários e clientes na consecução do programa (Yu & Tromboni, 2001).

Início da seleção de informações para o design do programa 170

A atual estratégia de competição da Embraer consiste no delineamento de uma trajetória tecnológica direcionada à inovação de produto sincronizado ao conhecimento, atendimento e monitoramento constante às demandas dos clientes/usuários. A partir de 1998, foi criada uma área denominada de Inteligência de Mercado, com o objetivo de desenvolver estudos prospectivos sobre o setor e sobre o mercado. A metodologia destes estudos prospectivos passou a ser internalizada na cultura e estratégia competitiva da Embraer. O projeto da família Embraer 170 é desenvolvido a partir do conhecimento gerado pela área de Inteligência de Mercado e transformada em conceito de produto na fase do ante-projeto. A partir das visitas em cerca de 40 operadoras de transporte aeronáutico regional, foram identificadas informações precisas sobre os requisitos (alcance e capacidade de passageiros) e demanda das empresas para a definição do produto (Yu & Nascimento, 2001; Affonso & Campello, 1998).

Gestão de Projetos, Regime de Inovação e Organização das rotinas de P&D

Presenciou-se uma mudança no regime de inovação e desenvolvimento de engenharia de projeto em direção a um padrão de rotinas mais integradas e compartilhadas entre os parceiros. A competência essencial da Embraer é expressa na excelência, no design e na integração de sistemas de alta complexidade tecnológica (Bernardes & Oliveira, 2003). A empresa focalizou suas atividades na fase de agregação de valor, como uma integradora de sistemas, dominando as diversas especificidades e fases técnicas dos subsistemas, sem, no entanto, fabricá-los, mas com a capacidade de combiná-los e adaptá-los conforme as suas necessidades de projeto. Aqui é possível observar a essência da lógica da integração de sistemas complexos. Como destaca Davies (1998), a integradora possui um portfólio de ativos estratégicos. No entanto, ela deve ter claro qual destes ativos devem ser selecionados e aprofundar neles suas expertizes. Neste aspecto, a Embraer detém o ativo estratégico que permite à empresa exercer o poder de comando sobre a rede das parcerias de risco e sobre a sua cadeia produtiva global, o que acaba por fortalecer sua posição competitiva.

O regime de inovação é resultado de uma trajetória de evolução tecnológica e institucional natural, de contínuo aperfeiçoamento incremental (Johnson, 2003; Hobday, 2000, 2003). No caso da Embraer, as mudanças significativas iniciadas em 1994 antes da privatização da empresa a partir do programa ERJ-145, permitiram este processo. Entretanto, tal regime de inovação adquire uma dinâmica mais integrada organicamente e inter-institucionalmente a partir do programa 170, com um *modus operandi* fundado por uma lógica de funcionamento em redes, sendo mais interdependente e interativo em relação às empresas participantes do programa. A estratégia tecnológica pressupõe uma diretriz de autonomia tecnológica, mas focando nas tecnologias que trarão retorno econômico, convergindo com a própria lógica do CoPS e do modelo BFC.

No programa 170 foi aplicado o conceito de gestão que a empresa denomina de DIP (desenvolvimento integrado de produtos). Segundo Yu e Trombone (2001) “o DIP objetiva a redução de custos, melhoria de qualidade, compressão do tempo, diminuição de impactos no meio ambiente e otimização da logística. DIP é a estratégia de gerenciamento de um programa de desenvolvimento que deve sistematicamente utilizar times multidisciplinares que não só executam simultaneamente todos os processos necessários para o DPP (Desenvolvimento de Produtos e Processos), mas o faz de forma integrada”.

Sob a ótica operacional, o programa foi organizado em três fases: (i) fase 1 – *Initial Definitions*, (ii) fase 2 – *Joint Definitions* e (iii) fase 3 – *Detailed Design and Certification*.

Fase 1 – *Initial Definitions*.

A concepção, o detalhamento e a própria definição do design do avião foram feitos antes da definição dos parceiros de risco. Foi elaborado um plano de negócio abordando requisitos de mercado e detalhamento de produto, planejamento de custos, análise do ciclo de vida, investimento, análise do risco e retorno do investimento, além de um estudo específico de identificação do mercado com metodologia própria elaborada pela Embraer.

Fase 2 – *Joint Definitions*.

Esta fase foi caracterizada pela repartição do avião em diversos segmentos e pela divisão do trabalho entre as empresas, seguindo-se da definição conjunta dos parâmetros da aeronave entre os parceiros e a Embraer. A inovação neste projeto se deu pela internacionalização das rotinas de P&D, que se desenvolveram através da aplicação de uma filosofia que a empresa denominou de engenharia colaborativa conectada a sites globais, isto é, a configuração de uma rede de P&D entre as plantas e laboratórios dos diversos parceiros internacionais, centralizada e coordenada pela Embraer no Brasil. A construção institucional deste novo padrão de P&D se deu com a criação de times multidisciplinares descentralizados, um modelo de organização matricial organizado por times de inovação que cruza toda a empresa, suportado por ferramentas de design review para o desenvolvimento em conjunto de partes do avião com os parceiros. Estes procedimentos permitiram o desenvolvimento integrado do produto, uma vez que as tomadas de decisões eram realizadas por especialistas

que representavam as empresas parceiras e que, portanto, detinham autoridade para decidir. Neste programa foram alocados em regime full-time cerca de 600 engenheiros, sendo 300 especialistas da Embraer e 300 especialistas das demais parcerias multinacionais do Japão, da Espanha e dos EUA, entre outras, que trabalharam intensamente de forma co-localizada e in-house na sede da Embraer no Brasil.

O trabalho de engenharia e projeto foi conduzido pelo centro de computação avançada da Embraer que proporcionou um ambiente de projeto totalmente integrado. Com a implantação dos sistemas web e EDI – Electronic Data Interchange, conectados ao canal de satélite, foi possível ligar on-line a rede de firmas parceiras ao mock-up e o banco de dados do 170 que ficaram centralizados no parque de informática da Embraer. As modificações gerais no design efetuadas pelos parceiros e fornecedores são enviadas eletronicamente para a Embraer, onde são cheçadas e validadas para depois serem atualizadas no mock-up e no banco de dados. O novo sistema de transmissão de informações permite a configuração de uma arquitetura empresarial em rede de alta velocidade, no que tange as respostas, com redução dos custos transacionais, além de possibilitar um processo de trabalho em rede.

Foram ainda aplicados novos conceitos de Engenharia Baseados no Conhecimento (EBC). A Embraer introduziu um novo software e padrão organizacional que permitem que o conhecimento e aprendizado, gerado pela engenharia, seja codificado e transmitido com maior velocidade e precisão, liberando o trabalhador para a realização de atividades mais criativas, adensando as competências, as rotinas e o conteúdo de trabalho direcionado à inovação.

Fase 3 – Detailed Design and Certification

Corresponde aos trabalhos de finalização e definição final da aeronave e congelamento de sua configuração para certificação nos órgãos homologadores.

Conclusões

A complexidade na produção e integração de partes e sistemas é uma característica marcante da indústria Aeronáutica. As novas formas organizacionais, decorrentes da adoção de um novo paradigma para o setor (BFC) acabam por privilegiar o processo de *design* e sua gestão, um aspecto importante dos CoPS. Este processo implica em um maior distanciamento entre os segmentos militar e civil, a partir do momento em que se observa uma maior atenção – no segmento civil – pela questão de redução do ciclo de desenvolvimento do projeto. A complexidade também se materializa pelo número elevado de atores envolvidos no *design* e *co-design* do projeto e na produção de sistemas e subsistemas, o que torna a atividade de integração ainda mais estratégica. Neste sentido, o processo de comunicação eficiente e a capacidade de troca de experiências se tornam ativos determinantes para o sucesso de todo o projeto. A criação de ferramentas e a introdução de times integrados no desenvolvimento de projetos são fatores chave para a consolidação estratégica da firma em seu segmento. Este movimento acaba por reduzir o ciclo de desenvolvimento do produto, ao mesmo tempo em que é observado um prolongamento no ciclo de vida útil da aeronave civil. Esta capacidade de integração, desenvolvimento e gestão de *design*, em setores complexos como o aeronáutico, é fundamental na eficiência e na capacidade de se gerar, e gerenciar, inovações, a partir do momento em que os principais atores responsáveis pela inovação passam a ser os próprios fornecedores (Murman, Walton, Rebutisch; 2000).

Este processo não é particularizado por uma empresa somente, mas sim pelas maiores integradoras do setor, inclusive a Embraer. No estudo de caso Embraer 170, foram observadas algumas das inovações adotadas quando da elaboração do projeto. Neste aspecto, é possível observar uma eficiência da empresa em se adequar ao novo paradigma comum ao setor Aeronáutico – BFC. Ao mesmo tempo, podem ser detectadas novas formas organizacionais, como os IPT (*integrated product teams*). Outras características também devem ser destacadas, quais sejam, a criação de mecanismos de comunicabilidade entre os times de desenvolvimento, ou ainda, a padronização de processos e ferramentas de desenvolvimento de projetos.

O caso do Embraer 170 torna-se ainda mais interessante quando verificada a eficiência da empresa em buscar, e firmar, contratos de parceria junto a alguns fornecedores. Esta característica demonstra a elevada adequação ao novo modelo de desenvolvimento e integração.

Cadernos EBAPE.BR



Referências

- AFFONSO, L.C., & CAMPELLO, A.C.. "Gestão Integrada de Multi-Projetos em um Empresa Aeronáutica". Em: XX Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. São Paulo, SP, 1998.
- ANDERSEN, P.H.. The Embeddedness of Selfish Routines: How Routines are replicated in Business Networks. In: *Industry and Innovation*; volume 10, number 2, 159-177, 2003.
- BERNARDES, R., & OLIVEIRA, L. G.. Building up complex productive systems in developing countries: the Embraer experience. In: Cassiolato, J.E.; Lastres, H. M. M.; Maciel, M.L. (orgs.) *Systems of Innovation and Development: Evidence from Brazil*. London, UK: Edward Elgar Publishing Limited, 2003.
- BONACCORSI, A.; & GIURI, P.. "When shakeout doesn't occur. The evolution of the turboprop engine industry". In: *Research Policy*, Vol.29, n. 7-8, 2000.
- BROWNING, T.. "Exploring Integrative Mechanism with a View Design for Integration". In: *Advances in Concurrent Engineering – CE 97*, August.20-22, 1997.
- DAVIES, A.. "The Life cycle of a complex product system". In: *International Journal of Innovation Management* 1 (3), 1998.
- DOSI, G.. *Technical Change and Industrial Transformation – The Theory and an Application to the Semiconductor Industry*. London, UK: Ed. MacMillan, 1984.
- FREEMAN, C.. *Design, Innovation and Long Cycles in Economic Development*. London, UK: Edward Elgar Publishing Limited, 1986.
- GULATI, R. K., & EPPINGER, S. D.. "The Coupling of Product Architecture and Organizational Structure Decisions". In: MIT International Center for Research on the Management of Technology, Working Paper n. 151, 1996.
- HAMEL, G.. "Competition for competence and inter partner learning within international strategic alliance", *Strategic Management Journal*, 12: 83-103, 1990.
- HOBDAY, M.. "Special Issue: Innovation in Complex Products and Systems". In: *Research Policy*, Vol. 29, 2000.
- HOBDAY, M. ; PRENCIPE, A.; DAVIES, A. Introduction. In: PRENCIPE, A. ; DAVIES, A.; HOBDAY, M. (Eds.). *The Business of Systems Integration*. London, UK: Oxford University Press, 2003.
- HOBDAY, M.; DAVIES, A.. *The Business of Projects*. Cambridge, USA: Oxford University Press, 2005.
- LAZONICK, W.. "The theory of the innovative enterprise: organization of innovation in the learning economy". Paper presented at the DRUID Annual Conference, Rebuild, Denmark, 2000.
- HODGSON, G. M.. *Economics and Evolution – Bringing life back into economics*. Cambridge, USA: Ed. The University of Michigan Press, 1999.
- JOHNSON, S. B.. *Systems Integration and the Social Solution of Technical Problems in Complex Systems*. In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDAY, M. (Eds.). *The Business of Systems Integration*. London, UK: Oxford University Press, 2003.
- MALERBA, F.. *Innovation and the evolution of industries*. *J. Evol. Econ.*, 16, p.3-23, 2006.
- MARQUES, R., & OLIVEIRA L.G.. "Sectoral System of Innovation in Brazil: Reflections about the accumulation of technological capabilities experienced by SME suppliers to the aeronautic industry and the role of research institutions, national and foreign buyers". In: *Globelics, India*, 2006. Recuperado em 5 de Janeiro, 2007, de <http://www.globelicsindia2006.org/sessions.php/files/2007-16.pdf>.
- MURMAN, E. M.; WALTON, M.; REBENTISCH, E.. "Challenges in the Better, Faster, Cheaper era of Aeronautical Design, Engineering and Manufacturing". In: *The Aeronautical Journal*, 2000.
- NELSON, R.. "Why firms differ and how's does it matter?" In: *Strategic Management Journal*, 12: 61-74, 1991.

NELSON, R.; & WINTER, S.. An evolutionary theory of economic change. Cambridge, USA: Ed. Harvard University Press, 1982.

SUH, N. P.. The Principles of Design. Cambridge, USA: Oxford University Press, 1990.

UTTERBACK, J.. Dominando a Dinâmica da Inovação. RJ, RJ: Ed. Qualitymark, 1994.

Von HIPPEL, E.. "Sticky Information' and New Marketing Research Methods." In: Sloan, Working Paper #3753-95. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management, January, 1995.

WALKER, W.. "Entrapment in large technology systems: institutional commitment and power relations". In: Research Policy, vol. 29, n. 7-8, 2000.

WANG, Q.; & Von TUNZELMANN, N.. "Complexity and the functions of the firm: breadth and depth". In: Research Policy, Vol. 29, 2000.

YU, A., & NASCIMENTO, P. T.. "Sistemas de Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Embraer versus Natura". In: Working Paper, PGT/USP, 2001.

Cadernos EBAPE.BR