

## **CRIAÇÃO DE CAPACITAÇÕES EM INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS. O CASO DO PROGRAMA CBERS**

### **Milton Freitas Chagas Junior**

Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA  
Professor da Universidade Nove de Julho – PMDA/UNINOVE  
miltonfc@uninove.br

### **Arnoldo Souza Cabral**

Doutor em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA  
Professor do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA  
cabral@ita.br

### **RESUMO**

Um modelo de organização industrial baseado em integração de sistemas vem sendo crescentemente utilizado por firmas que lideram esforços bem sucedidos de inovação tecnológica. Estas firmas estabelecem organizações temporárias, baseadas em projetos, definem arquiteturas de sistemas e delegam parte das atividades - *design* e produção de subsistemas - a uma rede hierarquizada de organizações, e se responsabilizam pela integração final destes sistemas. Tendo a visão baseada em recursos como referencial teórico, este artigo analisa desafios para a produção de bens de capital intensivos em tecnologia – sistemas complexos – em países de industrialização recente. Utilizando um programa de cooperação tecnológica entre o Brasil e a China para a produção de satélites de sensoriamento remoto como estudo de caso, e tendo o projeto como unidade de análise, este artigo sustenta que em ambientes marcados por elevada complexidade e intensa mudança técnica as capacitações em integração de sistemas, em seus diversos níveis, constituem uma forma efetiva de *catching-up* tecnológico. A capacidade de gerenciar o ciclo de vida de sistemas complexos, concebidos com vistas ao atendimento de requisitos de *stakeholders* locais - em vez de adaptar sistemas concebidos para outros ambientes físico-sociais -, permite a introdução efetiva da mudança técnica no sistema econômico.

**Palavras-chave:** Inovação. Gestão de projetos. Integração de sistemas. Sistemas complexos.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas complexos (SC) têm sido objeto de muitos estudos recentes sob a perspectiva organizacional. O objetivo principal destes estudos tem sido identificar questões relacionadas com específicas capacitações tecnológicas e organizacionais que surgem quando são analisados os processos de criação de produtos sistêmicos, de longo ciclo de vida, alto valor agregado, intensivos em capital, *design* e tecnologia da informação, envolvendo redes interorganizacionais internacionais.

Estão inclusos nesta categoria de SC parte significativa da produção de bens de capital, tais como: edifícios inteligentes, sistemas militares, redes corporativas de informação, sistemas de comunicação móvel, aeronaves, simuladores de voo, sistemas de controle de tráfego aéreo, plataformas de petróleo, sistemas de energia, sistemas espaciais, entre outros.

De longa tradição na literatura sobre sistemas militares, há pouco mais de uma década autores da corrente evolucionária, vem procurando definir e tratar os processos de inovação em SC como uma categoria analítica distinta dos processos convencionais, como, por exemplo, Miller et al. (1995); Hobday (1998); Dosi et al. (2002); Pavitt (2003) e Prencipe et al. (2003) e Davies e Hobday (2005).

Muito embora grandes diferenças existam entre as indústrias dos SC, importantes características comuns podem ser notadas. Dentre elas, ressaltamos: (a) a inexistência de *design* dominante selecionado pelo mercado *ex-post*; (b) a grande quantidade de disciplinas tecnológicas que devem ser dominadas e integradas seguindo a lógica hierárquica do SC; (c) a necessidade de se estabelecer redes interorganizacionais, com base em um projeto, onde os agentes devem assumir acordos de participação *ex-ante*, e negociar questões técnicas ao longo do ciclo de vida do sistema; e (d) o grande envolvimento de clientes ao longo de todo o processo.

Em oposição à dicotomia entre mercados e hierarquias, as redes interorganizacionais emergiram como uma forma de organização das atividades econômicas, principalmente as de caráter inovador. Enquanto nos mercados o mecanismo de coordenação é o sistema de preços e nas hierarquias, a integração vertical, em redes, mecanismo de coordenação é a integração de sistemas (Prencipe et al. 2003).

Anteriormente confinada dentro da engenharia de sistemas a integração de sistemas se tornou uma atividade estratégica que envolve a gestão do negócio, não somente no nível técnico, mas também no organizacional. Para competir, as firmas devem criar e manter capacitações em integração de sistemas para gerenciar a integração de novos componentes e conhecimentos

tecnológicos, gerados interna ou externamente à firma. A questão da fronteira vertical das firmas torna-se relevante neste ponto, pois ao contrário do que a literatura sobre decisões de fazer ou comprar (*make or buy*) sugere, as firmas podem identificar, gerenciar e integrar mudanças técnicas, sem serem integradas verticalmente.

Nas indústrias de SC, intensivas em tecnologia, os mercados não se mostram como principal forma de organização das atividades econômicas. A elevada especificidade de ativos exigida, somada à necessidade de se avançar nas etapas de desenvolvimento do produto com informações incompletas, mudanças de requisitos de clientes e interdependências sistêmicas, sugerem que o sistema de preços não é o melhor mecanismo de coordenação destas atividades.

O objetivo deste trabalho é expandir a compreensão sobre as capacitações necessárias para as firmas integradoras de sistemas coordenarem suas redes, analisando as dificuldades de se dominar uma base tecnológica ampla em países de industrialização recente.

O trabalho é organizado da seguinte forma. Na seção 2 é apresentado o método da pesquisa. Na seção 3 é feita revisão bibliográfica sobre inovação em sistemas complexos. Em seguida, são analisados os níveis de integração de sistemas e os impactos da arquitetura nas capacitações em integração de sistemas. Na seção 4 são discutidos desafios do desenvolvimento endógeno de sistemas complexos em países de industrialização recente. Na seção 5 é feito estudo de caso do programa de cooperação tecnológica entre o Brasil e a China para a produção de satélites de sensoriamento remoto – *China Brazil Earth Resource Satellite* - CBERS. Na seção 6 é feita a análise do estudo de caso. Na seção 7 são apresentadas as conclusões.

## 2 MÉTODO

A pesquisa tem caráter exploratório uma vez que visa à expansão do entendimento de um problema geral, enquadrando-se especificamente na categoria de teorização apreciativa (Nelson e Winter, 2005). O método usado neste trabalho é o estudo de caso, adequado à análise de situações específicas, que podem ser representativas de diversas outras situações, e válido quando a expansão do entendimento sobre o tema é necessária. Desta forma, o constructo da pesquisa é definido por elementos teóricos e empíricos derivados do levantamento de campo.

A pesquisa teórica é constituída pela escolha de abordagens apropriadas ao objeto e objetivo da pesquisa. As abordagens apropriadas referem-se a um conjunto de disciplinas necessárias ao entendimento do estudo de caso. A primeira abordagem refere-se ao entendimento teórico das organizações: a visão baseada em recursos. Outras duas abordagens complementares

tiveram que ser progressivamente incorporadas à pesquisa teórica, para permitir um melhor entendimento da pesquisa de campo: gestão de projetos e engenharia de sistemas. A pesquisa de campo foi feita por meio de entrevistas com funcionários do INPE envolvidos com o Programa objeto do estudo de caso e com a análise de documentação técnica e gerencial referentes a este Programa.

Fontes primárias de dados incluem entrevistas com representantes envolvidos diretamente com os projetos objeto da pesquisa. Estes representantes incluem os arquitetos responsáveis pela arquitetura de sistemas dos projetos, representantes do departamento de contratos e compras de componentes críticos, representantes dos usuários finais, e responsáveis pela execução da montagem, integração e teste finais dos produtos destes projetos. No nível de definição teórica de políticas públicas, foi entrevistado um embaixador envolvido com a questão de acordos internacionais de cooperação tecnológica.

Um fornecedor de primeiro nível foi, também, entrevistado. Um total de 44 entrevistas foram feitas. Três entrevistados-chave foram usados para validar o constructo (Yin, 2003): o arquiteto chefe do programa, um gerente de contratos e um representante da montagem, integração e testes finais. Eles leram e comentaram o esboço do estudo de caso. Dois deles foram co-autores do artigo Chagas Junior et al (2006 a). Fontes secundárias de dados incluem revistas especializadas, relatórios e planejamentos estratégicos organizacionais, relatórios e planejamentos dos projetos objeto de análise e *designs* dos produtos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tradicionalmente, considera-se a inovação como radical e incremental. A inovação radical caracteriza-se por uma mudança qualitativa de disciplinas científica e tecnológica, proveniente de invenções de grande magnitude. Exemplos clássicos são o laser, a fusão atômica, a estrutura do DNA, o efeito transistor. Via de regra, estas mudanças qualitativas definem novos paradigmas tecnológicos (Dosi, 1988). Em ampla analogia com a definição de paradigma científico de Kuhn (1995), Dosi define paradigma tecnológico como padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados, derivados das ciências naturais, e em tecnologias materiais selecionadas.

O que Kuhn define como ciência normal, Dosi, mantendo a analogia, define como trajetória tecnológica. Isto é, o padrão da atividade normal de resolução de problemas, tendo como pano de fundo um paradigma tecnológico. A metáfora da pesquisa científica normal como

“resolução de quebra-cabeças” também pode ser aplicada à trajetória tecnológica. Desta maneira uma trajetória tecnológica é moldada por um conjunto de compromissos – “conceituais, teóricos, metodológicos e instrumentais” - dos pesquisadores de determinada especialidade, que definem as regras que permitirão o progresso técnico. Em ambos os casos, a evolução ocorre por meio da resolução de problemas. É o paradigma tecnológico que define as regras metodológicas ou prescrições sobre as direções de mudança técnica (trajetórias tecnológicas) que devem ser investigadas e direções que devem ser evitadas. Estas trajetórias tecnológicas são definidas por sequências de inovações incrementais, que caracterizam seu progresso técnico.

Henderson e Clark (1990) popularizaram outros dois tipos de inovação, em relação às tradicionalmente consideradas, radical e incremental: inovação arquitetônica e modular. Henderson & Clark, mostraram que a mudança na forma de interação entre as tecnologias de um produto traziam consequências drástica para as organizações estabelecidas. Em termos de manutenção de posições competitivas de uma organização, a inovação arquitetônica representa desafios mais sutis e preocupantes, uma vez que não há necessidade de mudanças em sua base de conhecimentos científicos e tecnológicos, como na inovação radical, mas apenas mudança na forma de interação entre tecnologias existentes.

As redes modulares de produção consideraram intensamente o tipo de inovação modular que pode ser desenvolvido por um conjunto de novos módulos integrados em determinada arquitetura. O crescente uso do conceito de modularidade, baseado na redução possível do acoplamento entre módulos e na concentração da coesão em um mesmo módulo, visa a permitir que módulos de uma arquitetura de produto possam ser desenvolvidos por organizações diferentes e finalmente integrados no produto final. A possibilidade de organizações extremamente flexíveis capazes de lançar diversos produtos inovadores em curtos intervalos de tempo, por meio da gestão da combinação exponencial de novas inovações modulares foi defendida por Sanches e Mahoney (1996).

Este conceito ficou conhecido como *Mixing and Matching*, passando a falsa impressão de que a inovação seria uma atividade que requer pouco esforço organizacional, e que o desacoplamento de funções de módulos de um produto, por meio da modularização, implica desacoplamento de rotinas entre as organizações produtoras destes módulos.

A noção de “*learning before doing*” de Pisano (1996) é análoga à de *Mixing and Matching*, partindo ambas de uma hipótese equivocada: a de que é possível prever com acurácia como a interação entre subsistemas e partes de um sistema irá ocorrer. Como será argumentado

a seguir, em sistemas complexos, que desempenham inúmeras funcionalidades simultaneamente, uma característica marcante, e de importância crescente, é o fenômeno das propriedades emergentes que só poderão ser efetivamente avaliados quando este sistema estiver em uso.

### 3.1 INOVAÇÃO EM SISTEMAS COMPLEXOS E EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM MASSA

Hobday (1998) propõe, por meio da contraposição de dois modelos ideais de inovação, uma forma muito original de se entender a inovação em bens de capital de elevada complexidade. Os modelos são o de produção em massa e o de sistemas complexos. Os modelos de inovação enfocam com frequência as indústrias de produção em massa e de produção contínua, tais como a automobilística, a farmacêutica, a eletrônica, a química e a petroquímica. Isto se explica pela visibilidade destas indústrias, pelo impacto que têm no dia-a-dia das pessoas e pelo expressivo volume de P&D nelas gastos.

Estes modelos fundamentaram grande parte das teorias evolucionárias sobre mudança técnica, além de influenciar diversas abordagens de administração. Por isso, uma versão extrema destes modelos é identificada como de produção em massa e é denominado de modelo convencional. Embora seja raramente notado, o modelo convencional tende a identificar claramente organizações e mercados. No modelo convencional, a unidade básica de agregação, para fins de análise competitiva, é a organização.

Produtos e tecnologias seguem ciclos de vida que vão da fase fluída à fase madura. Estes ciclos se estendem por longos períodos de evolução gradual. De acordo com Utterback (1996) o evento central do processo de inovação ocorre quando um projeto dominante (*dominant design*) se estabelece. Este projeto dominante galvaniza todo o mercado e define a direção das trajetórias tecnológicas futuras. Neste modelo, as barreiras à entrada variam, de acordo com a fase do ciclo de inovação. Tipicamente, as barreiras nas fases iniciais estão associadas a bases de conhecimento, enquanto nas fases finais está relacionada a capacitações que permitam a exploração de economias de escala.

Em contraposição ao modelo convencional, é proposto o modelo de sistemas complexos, com características de produto e produção, processos de inovação tecnológica, coordenação industrial, estratégias competitivas distintas.

As principais variáveis propostas por Hobday são mostradas na tabela 1.

**Tabela 1: Inovação e Organização da Indústria: Produtos e Sistemas Complexos (CoPS) X Bens de consumo de produção em massa.**

	<b>Sistemas Complexos (CoPs)</b>	<b>Produção em Massa</b>
Características dos Produtos	Interfaces Complexas, Multi-função Propriedades Emergentes	Interfaces Simples Poucas Funções
Característica Produção	Projeto/ Pequenos Lotes	Gds Lotes/Contínua
Processo de inovação	<i>Craft-based</i> Trajetória da inovação acordada <i>ex-ante</i>	Formalizada, Codificada Trajetória da inovação mediada pelo mercado
Coordenação Industrial	Aliança Multi-firmas Estabilidade de longo-prazo no nível de integração	Firma única <i>Design</i> Dominante <i>Shakeout</i> da Industria
Estratégias Competitivas	Gestão de alianças Multi-firmas com base em projetos Capacitações em Int. Sistemas	Foco em uma Firma Capacitação em Produção de alto volume

Fonte: Adaptado de Hobday 1998

O modelo de sistemas complexos – chamado por Hobday de CoPS – apresenta, pelo menos, cinco características relacionadas que o diferenciam drasticamente em relação ao modelo convencional.

A primeira característica refere-se ao produto. Ele é um sistema hierárquico, que desempenha inúmeras funções, sendo comum a ocorrência do fenômeno de propriedades emergentes não planejadas. A segunda característica refere-se à produção. Ela tem como base o projeto, ou é um sistema de produção de pequenos lotes, envolvendo mais de uma organização. Frequentemente, nota-se muitas organizações trabalhando cooperativamente. Outra característica refere-se ao processo de inovação, que é definido *ex-ante* pelas organizações, por meio de esforços cooperativos, e com a presença de usuários relatando suas necessidades. Desta forma, a coordenação da indústria se dá por meio de alianças temporárias entre organizações, com base em projetos. Finalmente, as estratégias competitivas estão relacionadas com a gestão de relacionamentos entre diversas organizações. Com base em projetos, estas organizações têm como compromisso principal o desempenho competitivo de seus produtos, conseguido por meio das capacitações em integração de sistemas.

A questão de inovação arquitetônica é particularmente relevante em indústrias em que não se estabelece um *design* dominante. À medida que se eleva a complexidade dos produtos, nota-se que as capacitações em integração de sistemas tornam-se progressivamente mais importantes para o desempenho competitivo das organizações.

### 3.2 NÍVEIS DE INTERAÇÃO DE SISTEMAS

Gholz (2003), em seu artigo sobre a indústria de defesa americana, define três níveis distintos de especialização em que as capacitações em integração de sistemas se tornam relevantes: componente, plataforma e arquitetura. No nível de componente de integração de sistemas a ênfase encontra-se no desenvolvimento de engenharia e na produção de componentes que deverão ser integrados em um subsistema. No nível de plataforma a ênfase é dada à gestão de sistemas produtivos e à montagem final e testes de sistemas completos, capazes de realizar missões. No nível mais alto, de arquitetura, a ênfase é dada aos estudos de *trade-off* e às interfaces de diversos sistemas com seus usuários finais. Este elevado nível de especialização entre organizações com características de integradores de sistemas é fortemente correlacionado com o tamanho do segmento de defesa da indústria aeroespacial dos Estados Unidos. O DoD dispõe de um volume colossal de recursos orçamentários para o desenvolvimento de tecnologias.

### 3.3 ARQUITETURA DE SISTEMA E O ESFORÇO INOVADOR

O impacto da arquitetura de um sistema nas rotinas das organizações fica muito bem representado por meio do estudo feito por Rechtin (2000). No início dos anos 1960, a jovem Agência de Projetos de Pesquisa Avançada – Advanced Research Projects Agency (ARPA) – do Departamento de Defesa – Department of Defense (DoD) – foi incumbida de desenvolver uma série de satélites para propósitos militares. Estes satélites eram de comunicação, navegação, previsão do tempo, sensoriamento remoto, exploração do espaço e inteligência e vigilância estratégica. Para a definição da arquitetura e construção foram contratadas um conjunto de importantes organizações da indústria aeroespacial americana: The Boeing Company, General Electric, Hughes Aircraft, McDonnell Douglas, Rockwell International e Thompson – Ramo – Wooldridge (TRW).

Todos estes satélites cumpriram suas missões. Mais do que isto, em aproximadamente uma década de operação, todas as companhias excederam às expectativas sobre o que os produtos por elas produzidos poderiam gerar. Um quarto de século mais tarde o governo americano resolveu substituir estes sistemas, considerando as novas tecnologias disponíveis. Após a análise das primeiras propostas foram recebidas, avaliadas e o vencedor anunciado, a organização que fez a primeira geração de satélites daquele tipo, perdeu o contrato para outra organização, que não estava envolvida com a primeira geração de satélites, o que foi uma grande surpresa.

Da mesma maneira, um segundo processo de seleção indicou como vencedora a proposta de uma organização que previa uma arquitetura de satélite diferente da arquitetura da primeira geração como melhor opção entre as propostas que participavam da concorrência. Novamente, a organização que havia feito a primeira geração deste satélite não foi a vencedora da concorrência. Aparentemente não existia qualquer conexão entre as duas surpresas.

Após a sexta derrota, em sequência, de organizações que haviam feito as primeiras gerações de satélites, tornou-se suficientemente óbvio que algum fato fundamental, mas não percebido, estava acontecendo de forma recorrente. Todas as aparentes razões foram elencadas: política, conflito de interesse, orçamentação inadequada, mau gerenciamento do processo de compra.

Os resultados em órbita confirmaram a adequação dos julgamentos dos processos de compra. As arquiteturas selecionadas eram melhores em diversas dimensões que aquelas apresentadas pelas primeiras gerações. Ficou evidente que todas as organizações usaram uma evolução de sua primeira geração de satélites como base para a proposição da segunda geração. As mudanças em termos de rotinas organizacionais, e da forma de integração entre estas rotinas, seriam tão drásticas com a proposição de uma nova arquitetura, que as pessoas destas organizações não deram curso às possibilidades criadas por arquiteturas diferentes. A tendência natural foi a de privilegiar as formas de integração entre rotinas então estabelecidas. A evolução do produto, mantendo a mesma arquitetura, de uma geração para outra, era a “trajetória natural” a ser seguida por estas organizações.

#### **4 DESAFIOS DO DESENVOLVIMENTO ENDÓGENO DE SISTEMAS COMPLEXOS**

Os sistemas complexos são caracterizados por uma base tecnológica extremamente ampla, isto é, por um número elevado de disciplinas científicas e tecnológicas que evoluem, com dinâmicas próprias, e em determinado momento, são integradas para a definição de um sistema que consiga satisfazer as necessidades de seus *stakeholders*.

A amplitude e profundidade do estoque de conhecimentos e habilidades, normalmente, variam de maneira significativa de organização para organização, de acordo com o ritmo e direção dos esforços cumulativos de P&D e da experiência passada adquirida nos esforços coletivos de definição, desenvolvimento e operação de sistemas complexos. Isto é, o estoque de conhecimento é formado por fluxos de aprendizagem derivados do ciclo de vida do sistema (Chagas Junior, 2009).

Como o conhecimento tecnológico é bem menos articulado que o científico, grande parte do avanço do conhecimento tecnológico decorre de experiências e habilidades de seus recursos, apresentando forte caráter idiossincrático (Rosenberg, 2006). Em organizações sediadas em países de industrialização recente, é significativa a quantidade de *gaps* tecnológicos que demandam grandes esforços de pesquisa e desenvolvimento, e, conseqüentemente, tempo e investimento, para serem fechados. É por meio do fechamento destes *gaps* tecnológicos que se cria a base cognitiva necessária para a definição de sistemas que atendam a necessidade de seus *stakeholders* e, ao mesmo tempo, não apresentem características de obsolescência tecnológica.

Tendo como fundamento capacitações funcionais – engenharia de sistemas – e capacitações em projetos – gestão de projetos e aprendizagem organizacional -, as capacitações em integração de sistemas permitem que uma organização busque um posicionamento estratégico favorável, em termos de captura de valor, dentro da cadeia de fornecimento de uma indústria, a cada geração de produto. (Hobday, Davies e Prencipe, 2005).

A presença do Estado como elemento como indutor do desenvolvimento tecnológico, por meio da garantia de verbas orçamentárias para investimentos de grande monta e amplos períodos de maturação é fundamental para o desenvolvimento destas indústrias, permitindo que a criação de valor econômico se dê de maneira adequada ao ambiente físico-social de uma sociedade. Por tanto, além do papel tradicional de apoiar a pesquisa acadêmica, o Estado deve criar instrumentos para apoiar a pesquisa industrial aplicada, criando as condições para que ocorra a conversão do estoque de conhecimentos da sociedade em bens e serviços visando ao seu desenvolvimento sócio-econômico. O tempo de maturação destes investimentos é contado em décadas, e o setor privado, isoladamente, irá encontrar muita dificuldade na manutenção da pesquisa. Além da probabilidade do esforço inovador não trazer resultados – a incerteza é proporcional ao grau de inovação –, existe o problema da apropriação dos benefícios trazidos pela inovação.

## **5 ESTUDO DE CASO**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

A criação de capacitações em integração de sistemas vem sendo analisada em contrapartida à crescente onda de terceirização das atividades produtivas nas organizações. No entanto, como exposto neste trabalho, as capacitações em integração de sistemas não representam apenas a contrapartida da terceirização das atividades produtivas, mas também as

capacitações necessárias para estabelecer parcerias estratégicas de cooperação entre organizações que permitam a associação de capacitações tecnológicas e organizacionais complementares (Chagas Junior, 2009). Embora a pesquisa tenha como foco a integração de sistemas do satélite, serão abordados outros dois níveis de integração de sistemas: subsistemas e sistema de sistemas, chamados respectivamente de componente e arquitetura por Ghols (2003).

## 5.2 HISTÓRICO DO PROGRAMA CBERS

Desde o restabelecimento das relações diplomáticas do Brasil com a China, em 1974, notava-se um interesse, crescente e recíproco, de aprofundamento dos relacionamentos de cooperação partindo de diversos segmentos das sociedades brasileira e chinesa.

Em 1982, foi firmado o Acordo Quadro entre a República Federativa do Brasil e a República Popular da China formalizando a intenção de cooperação científica e tecnológica entre os dois países. Em maio de 1984, durante visita oficial do presidente brasileiro à China, foi firmado o Termo de Ajuste Complementar ao Acordo Quadro, ratificando a intenção de cooperação e elegendo áreas prioritárias de cooperação, entre elas a espacial.

A aproximação entre os dois países de industrialização recente foi ocorrendo progressivamente lastreada pela expectativa de ganhos mútuos de uma possível cooperação.

A China está no restrito grupo de países que dominam todo o ciclo da tecnologia espacial, desde a fase de concepção até a operação, incluindo as facilidades da base de lançamento, o veículo lançador de satélites, os satélites propriamente ditos e as facilidades terrestres necessárias para a operação do sistema, como, por exemplo, as estações de rastreamento e controle. As demonstrações de domínio de todo ciclo fez com que o interesse brasileiro pela cooperação espacial aumentasse.

Por outro lado, a China saía de um longo período de isolamento e via no Brasil a possibilidade de ter acesso a uma matriz industrial diversificada e, em diversos setores, mais desenvolvida que a chinesa. Além disso, por meio de um acordo de cooperação com o Brasil via a possibilidade de ter acesso a componentes críticos, principalmente eletrônicos, produzidos pelos países desenvolvidos, recursos humanos treinados também nestes países e, acima de tudo, a capacitação adquirida por meio da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

Estas complementaridades foram fundamentais para o aumento do interesse e para que os dois países levassem adiante o plano de cooperação na área espacial.

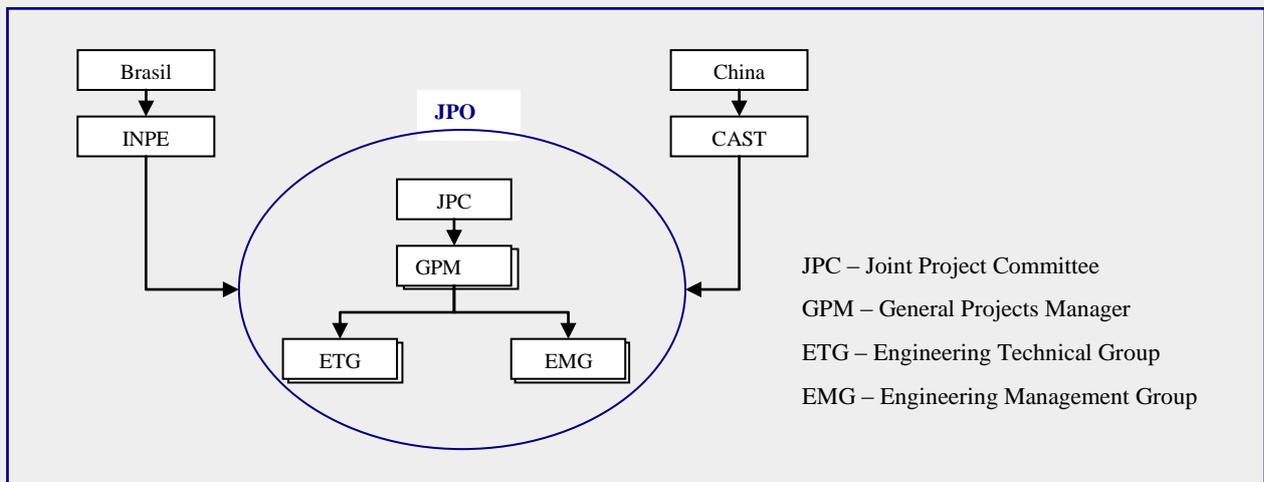
O custo total da produção de dois satélites foi estimado em US\$ 150 milhões, incluindo dois lançamentos por foguetes Longa Marcha a partir da base de Taiyuan. Os custos foram divididos da seguinte forma: 70% China e 30% Brasil.

O domínio da tecnologia espacial, além dos benefícios próprios gerados sobre um sistema econômico, é considerado estratégico em função de sua capacidade de arraste sobre outros setores indústrias. De maneira particular, os segmentos de defesa e aeronáutica apresentam ampla comunalidade de aplicações tecnológicas e os *spin-offs* se dão rapidamente, razão pela qual existe grande restrição à transferência de conhecimentos pelos países que dominam esta tecnologia.

Sob esta ótica, o CBERS se constitui em um programa de cooperação de caráter inovador entre dois países, que decidiram unir recursos financeiros e tecnológicos para o desenvolvimento de tecnologia de sensoriamento remoto. Um grande desafio enfrentado pelo programa era a diferença, em termos de cultura tecnológica e de experiência prática acumulada, entre as equipes brasileiras e chinesas. Estas diferenças foram detectadas desde o início dos entendimentos que culminaram no acordo. Para superar esta dificuldade, o acordo de cooperação impôs procedimentos de alto nível baseados em padrões internacionais.

### 5.2.1 Organização do programa

Para conduzir o desenvolvimento do programa foi estabelecida uma organização que abrigasse representantes, técnicos e gerenciais do INPE e da CAST que representassem as partes brasileira e chinesa. Esta organização denominada *Joint Project Organization (JPO)* é a responsável pelo desenvolvimento e produção dos satélites.



**Figura 1: Constituição da Joint Project Organization – JPO**

Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 1 acima mostra a constituição da JPO. Dentro da JPO, o JPC é o responsável final pelo sucesso do programa. É também responsável pela definição de suas políticas de caráter geral, pela aprovação de seu plano de gerenciamento e pela tradução das necessidades dos usuários em especificações de alto nível dos sistemas, sendo composto por representantes brasileiros e chineses.

Existe um GPM brasileiro e um chinês. Estes gerentes são os responsáveis gerais pela execução do programa. Da mesma forma, o ETG e o EMG são constituídos pelos corpos técnicos brasileiros e chineses. O ETG é o responsável técnico pelas atividades no nível de sistema incluindo a definição da missão, a definição da arquitetura do sistema e pelas atividades de montagem, integração e teste – *assembling, integration and tests* (AIT) – finais. Neste grupo, a engenharia de sistemas é claramente a disciplina dominante. O EMG é responsável pelas atividades de gerenciamento no nível de sistema, incluindo os controles de cronograma, custos, contratos de desenvolvimento de subsistemas com fornecedores e garantia do produto. Neste grupo, a gestão de projetos é claramente a disciplina dominante.

Reuniões técnicas das duas equipes são programadas regular e alternadamente no Brasil e na China para estabelecer especificações do sistema, requisitos de subsistemas, configurações de interfaces e elaborar planos de gerenciamento do programa e outros documentos.

Os técnicos do ETG definem a arquitetura do satélite e suas especificações. São responsáveis também pelas especificações abaixo do nível de sistema, que definem os desempenhos, interfaces e outros requisitos técnicos com grau suficiente de detalhe para permitir que se faça o *design* preliminar e detalhado e em seguida a produção de equipamentos e subsistemas para os modelos dos satélites.

O INPE efetua contratações das atividades de *design* e produção relativas aos equipamentos e subsistemas sob sua responsabilidade. Estas contratações se dão por meio de licitações. Nos editais das licitações constam as declarações detalhadas de trabalho (DDT), ou *statement of work* (SOW), elaboradas, a partir das especificações, pelos engenheiros que se responsabilizarão pelo acompanhamento técnico das fases dos contratos.

Estas fases são estabelecidas por meio de marcos contratuais que permitem ao corpo técnico do INPE acompanhar a progressiva materialização das entregas. Estas entregas são feitas formalmente aos técnicos que pertencem à JPO, que são os responsáveis pela aceitação destas entregas. Caso as entregas não sejam aceitas, são gerados os itens de ação, que são anotações de correções de diversas naturezas que a empresa contratada precisa atender antes do evento contratual ser considerado aceito.

Vale ressaltar que no modelo de cooperação estabelecido entre o Brasil e a China foram envolvidas capacitações técnicas e gerenciais complementares, sem o compromisso formal de transferência de tecnologia entre as partes.

### 5.3. CRIAÇÃO DE CAPACITAÇÕES EM INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

Os satélites CBERS são mais complexos que aqueles que haviam sido produzidos até então pelo INPE. Para se ter uma ideia desta diferença, pode-se considerar um fator multiplicativo de ordem 10 entre algumas variáveis do satélite, como massa e potência gerada, entre os satélites da MECB e os CBERS. Além disso, Os satélites SCD1 e SCD2 são “spinnados”, e não estabilizados em três eixos. A estabilização em três eixos requer o domínio de tecnologia de navegação inercial ainda em processo de desenvolvimento no Brasil. Este item será mais bem explorado na análise.

Portanto, os desafios técnicos e gerenciais enfrentados pelas equipes do INPE foram muito grandes, tanto no desenvolvimento do sistema como um todo, com a equipe da CAST, como nos subsistemas e equipamentos sob sua responsabilidade, possibilitando o aumento do nível de maturidade de sua equipe em programas desta magnitude.

Como resultado do sucesso dos dois primeiros satélites, CBERS 1&2, um segundo acordo foi firmado entre as partes para dar continuidade ao programa, prevendo o desenvolvimento e produção da segunda geração de satélites, os CBERS 3&4.

Posteriormente, verificou-se que haveria um período de tempo sem fornecimento de imagem entre o fim da vida útil do CBERS 2 e o início de operação do CBERS 3, razão pela qual os dois países decidiram desenvolver o satélite CBERS 2B. Este satélite está cobrindo o período de tempo entre a primeira e a segunda geração de satélites e foi integrado basicamente com equipamentos e subsistemas reservas dos satélites da primeira geração: CBERS 1&2.

#### 5.3.1 CBERS 1&2

Alguns aspectos, de relevância para a criação de capacitações em integração de sistemas, foram objetos de preocupação pelo lado brasileiro na fase de preparação do acordo. Entre estes aspectos, destacam-se as atividades de montagem, integração e testes (AIT) de um modelo de voo no Brasil e a operação dos satélites feitas pelo lado brasileiro. Como quem

dominava todo o ciclo era a parte chinesa, estes aspectos entraram no acordo como anseios da parte brasileira, sujeitos a resolução posterior. O lançamento ocorreu com atrasos em relação à programação original. Da parte brasileira, modificações importantes no Ministério da Ciência e Tecnologia, ao qual o INPE é subordinado, as turbulentas intervenções econômicas do plano Collor, incluído cortes orçamentários no setor espacial, e o processo falimentar da empresa ESCA, contratada para fornecer diversos equipamentos de subsistemas sob responsabilidade brasileira, foram importantes causadoras destes atrasos.

No caso da ESCA, a solução encontrada foi a assunção destes contratos pela FUNCATE – Fundação de Ciência de Aplicações e Tecnologia Espacial -, em caráter emergencial.

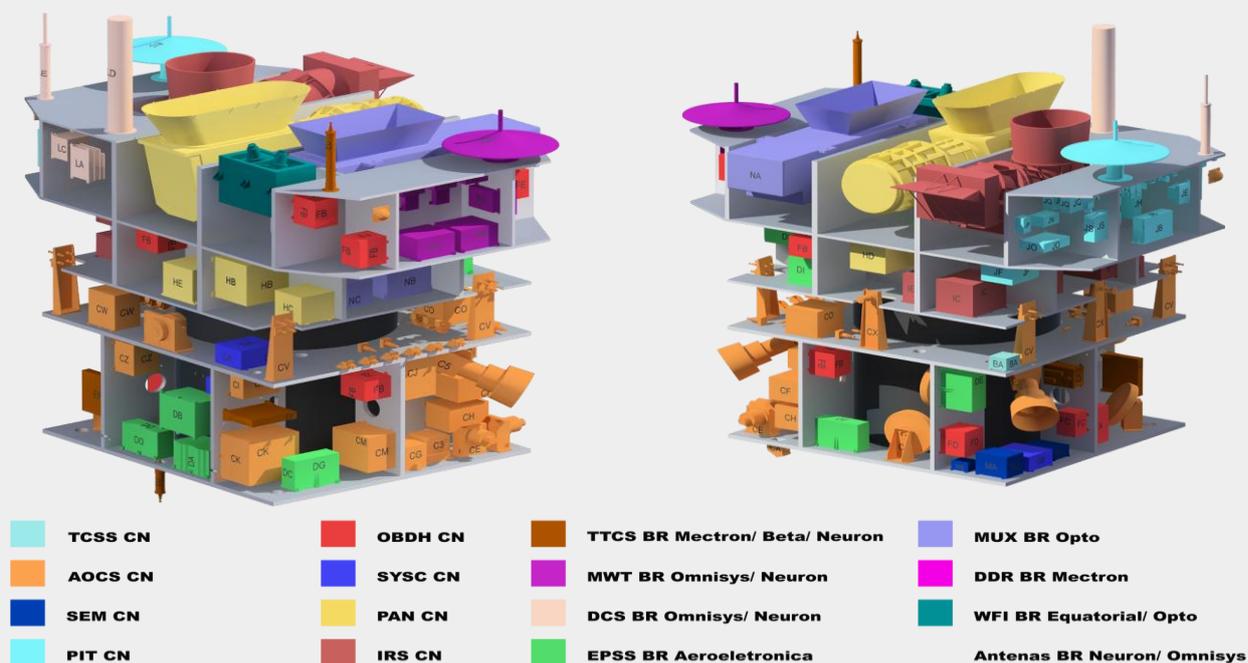
Para o CBERS 1&2, dos recursos empregados pela parte brasileira, 29% corresponderam à contratação de fornecedores nacionais de equipamentos da indústria espacial. Os 71% restantes, foram empregados da seguinte forma: 32% em contratações de serviços feitas no exterior, 20% em compras de insumos e equipamento para serem usados pelo próprio INPE e seus contratados, 11,8% em recursos humanos e despesas de outras áreas do INPE e 7% para viagens à China ao longo de 14 anos de trabalho (Furtado e Costa Filho, 2002).

### **5.3.2 CBERS 3&4**

A segunda geração de satélites CBERS ocorre com a participação brasileira passando de 30% para 50%, e obedecerá à subdivisão de subsistemas apresentada na tabela 3 abaixo.

O subsistema de controle de atitude e órbita (AOCS) foi de responsabilidade da CAST na primeira e está sendo também na segunda geração de satélites. A tecnologia de navegação inercial requer sensores, atuadores, computadores de bordo, sistema computacional embarcado com capacidade de processamento em tempo real integrados e testados.

Além disso, o subsistema deve ser robusto ao ponto de suportar as intensas vibrações, choques e esforços de lançamento e colocação do sistema em órbita. Deve apresentar alta disponibilidade e confiabilidade. Deve resistir à radiação, ao vácuo e às intensas variações de temperatura. Deve apresentar condições adequadas para a operação e manutenção remota, etc. Desta forma, o subsistema representa um *gap* tecnológico que coloca desafios de grande magnitude ao sistema de C&T brasileiro.



**Figura 2: Duas vistas do satélite aberto mostrando subsistemas e sua divisão de trabalho, CBERS 3&4**

Fonte: INPE

A figura 2 mostra a divisão do trabalho entre a CAST e o INPE. Nas duas primeiras colunas do lado esquerdo da legenda estão indicados os subsistemas desenvolvidos pela CAST. Nas duas colunas do lado direito estão indicados os subsistemas de responsabilidade do INPE com as respectivas empresas subcontratadas para realizar o *design* e produção destes subsistemas.

Para os satélites CBERS 3&4, a participação de fornecedores brasileiros da indústria espacial, por meio da contratação de serviços para os subsistemas que ficaram a cargo do Brasil, corresponderá a 52 % do total de recursos empregados pelo país. É importante lembrar que este aumento percentual de participação da indústria espacial brasileira se refere aos 50% do Brasil, enquanto que os 29% dos CBERS 1&2 se referem à participação de 30% da participação brasileira referente à primeira geração. Desta forma, utiliza-se o Programa para capacitar a indústria nacional, por meio da transferência de tecnologias avançadas. Além disso, diversos requisitos de usuários finais brasileiros foram considerados de maneira mais apropriada na segunda geração de satélites.

Em paralelo ao esforço de desenvolvimento da segunda geração de satélites, está ocorrendo a definição da terceira geração de satélites: CBERS 5&6, entre as equipes de arquitetos do INPE e da CAST.

## 6 ANÁLISE

(1) What makes science an effective part of the modern industrial system is the integration of research, applied science, and technology into a single system with a flow of ideas and information in both directions, from technology to applied science, applied science to research, research to applied science; (2) this integrated system is the result of a very large research and development effort and the involvement of the state in science; (3) it is extremely difficult for developing countries to develop such a system for themselves, owing to the small industrial base, the ties between domestic industry and international economy, the lack of domestic technical manpower, but above all the fragmentation of their research, development and technological efforts" (Stepan 1976, p. 170)

Nas inovações, em sistemas complexos, caracterizadas por elevado grau de interdependência sistêmica e domínio de uma base tecnológica ampla, composta por diversas disciplinas, que avançam em diferentes velocidades, um fator fundamental é a forma como a integração de equipes de especialistas ocorre. As organizações envolvidas com inovações deste tipo são submetidas a diferentes dinâmicas de adaptação que alteram, com muita frequência, suas estruturas organizacionais. Desta maneira, o comportamento destas organizações, que atribuem grande ênfase a flexibilidade, se aproxima do comportamento das estruturas orgânicas, para permitir sua adaptação às condições do ambiente, onde estão inseridas. Nestas organizações, o conhecimento especializado é extremamente reconhecido e valorizado. Como consequência, as tomadas de decisão são descentralizadas e, muitas vezes, não seguem procedimentos formalizados, mas sim o aconselhamento entre equipes de especialistas envolvidas com determinada questão.

Em função da alta frequência de alterações sofridas por estas organizações, Mintzberg (1994) a elas se refere como *Adhocracias* de uma sociedade. É nestas organizações que ocorre o verdadeiro florescimento da noção de estratégia emergente. As lideranças envolvidas tendem a privilegiar a criação de condições para a formação de estratégias que estejam alinhadas com os objetivos da organização, e não suas formulações e implementações. Isto não quer dizer que as estratégias sejam puramente emergentes, o que implicaria abdicação da necessidade de liderança, de definição e propósito de atingir objetivos estratégicos. O que se ressalta é a necessidade de fomento à criação de condições que permitam a aprendizagem contínua, por meio de esforços de pesquisa já em curso, e por meio de esforços de pesquisa especulativa que levam à variação organizacional, através de novas formas de integração de suas rotinas (March, 1991).

De acordo com as necessidades específicas de cada problema e por meio de ajustes mútuos entre especialistas, a estrutura que permite a coordenação de projetos, através de diferentes formas de integração de equipes multidisciplinares, é a matricial.

A estrutura organizacional do INPE é matricial, pois o elevado número de especializações funcionais, que devem ser integradas, com base em projetos, para a resolução de problemas específicos, que se alteram com elevada frequência, exige esta estrutura. A estrutura matricial do INPE é balanceada, e alguns projetos, de grande visibilidade e elevada importância estratégica, dispõem de gerentes com dedicação exclusiva a estes projetos.

No caso específico do programa CBERS, existe uma organização com base em projetos, composta por equipes do INPE e da CAST, a *Joint Project Organization* (JPO), como mostrado na figura 1. Os responsáveis finais pelo sucesso dos projetos são os membros do *Joint Project Committee* (JPC), que definem as missões e as políticas que devem ser seguidas nos projetos do programa. A execução destas cabe aos gerentes gerais dos projetos – General Project Manager (GPM). Existe um GPM pelo lado do INPE e um pelo lado da CAST. Hierarquicamente, abaixo destes gerentes estão as equipes técnicas e de gestão, os arquitetos, que traduzem as necessidades das missões em requisitos e propõem as soluções para atendê-los no nível do sistema. Com base na partição do sistema, faz-se a divisão do trabalho em termos de desenvolvimento de subsistemas, que deverão ser integrados, de acordo com a arquitetura inicialmente prevista. A segunda geração de satélites – CBERS 3&4 – manteve a mesma arquitetura da primeira geração – CBERS 1&2 e CBERS 2B.

Provavelmente, a terceira geração de satélites, – CBERS 5&6 – seguirá também esta arquitetura, de acordo com o visto no item 3.3. O acúmulo de conhecimento sobre a arquitetura CBERS aliado a projetos que visam o fechamento de *gaps* tecnológicos, criará as condições para uma delegação maior do esforço inovador para indústria, permitindo que seus recursos internos escassos se dediquem a projetos tecnologicamente mais arrojados.

Com relação aos projetos visando ao fechamento de *gaps* tecnológicos, vale citar o caso do projeto de Sistemas Inerciais de Aplicação Aeroespacial (SIA). Este projeto, liderado pelo CTA e o INPE, com participação de 60 % e 40 % respectivamente, visa ao desenvolvimento de tecnologia de navegação inercial no país e é financiado pela FINEP/MCT, por meio das Ações Transversais dos Fundos Setoriais. A tecnologia inercial apresenta severas restrições em termos de comercialização internacional em função de estar incluída no MTCR – *Missile Technology*

*Control Regime.* Este projeto procura construir a base cognitiva que permitirá a transferência desta tecnologia de navegação inercial para a indústria. A rede de organizações que participam do projeto envolve organizações de C&T, como o IPT, a UNICAMP, as universidades federais do Rio grande do sul e Santa Catarina e organizações da indústria como Optosensys, Embraer, Mectron, CENPES e CESAR. Esta tecnologia é dual, podendo ser usada em aplicações militares e civis. O domínio desta tecnologia permitirá a inserção competitiva em diferentes setores da indústria que a aplicam, como por exemplo: aeronaves, mísseis, veículos lançadores de satélites, submarinos, satélites, estabilizadores de plataformas de petróleo e instalação e monitoramento de estacas de leito oceânico.

Uma grande vantagem do INPE é a manutenção, dentro de sua estrutura organizacional, dos cursos de pós-graduação. Criados em 1968, estes cursos foram fundamentais para a formação de recursos humanos que não existiam no país. Estes recursos foram necessários para a criação de massa crítica, relacionada ao segmento espacial, que o Brasil não dispunha. Esta formação de mão de obra especializada não representa uma atividade fim da organização, mas uma atividade que visa a fornecer programas de treinamento formalizados, de longa duração, para a formação de especialistas em diversas áreas que a organização considera como necessárias. Estes pesquisadores especialistas, complementados por outros, de diferentes universidades e institutos de pesquisa tanto do Brasil como das economias centrais, são alocados nos esforços de pesquisa científica e tecnológica de departamentos funcionais e de projetos e programas, que visam a atender aos seus propósitos e missões.

Os esforços de pesquisa científica e tecnológica estão agrupados nas seguintes áreas: Ciências Espaciais e Atmosféricas, Engenharia e Tecnologia Espacial, Observação da Terra, Rastreamento e Controle de Satélites, Laboratório de Integração e Testes, Previsão do Tempo e Estudos Climáticos e os Laboratórios Associados, que, por sua vez, são compostos por Laboratórios de Sensores e Materiais, Computação e Matemática Aplicada, Plasma, Combustão e Propulsão. Algumas destas áreas tendem a estar mais próximas da pesquisa básica, como as Ciências Espaciais e Atmosféricas, que estudam fenômenos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera e no espaço. Outras áreas, como a Engenharia e Tecnologia Espacial e o Laboratório de Integração e Testes, realizam projetos com características próximas às de pesquisa aplicada. Outras ainda exigem a conciliação de projetos de pesquisas aliados a operações como a Previsão do Tempo e os Estudos Climáticos, a Observação da Terra e o Rastreamento e Controle de Satélites.

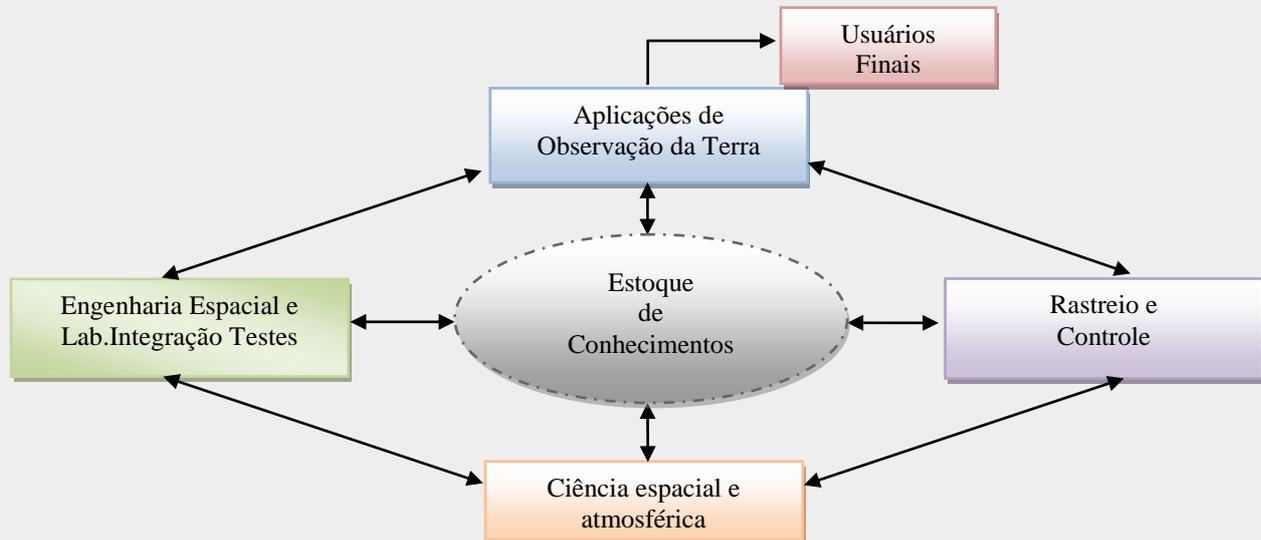
Uma importante missão do INPE tem sido a observação da terra por meio de programas de desenvolvimento tecnológico em sensoriamento remoto. A estrutura matricial propicia as condições para a integração de diversas especialidades nestes programas, envolvendo projetos e operações interdependentes que ocorrem paralela e sequencialmente. Desta maneira, diversos especialistas podem trabalhar conjuntamente, em equipes multidisciplinares estabelecidas de acordo com as necessidades dos projetos e operações relacionadas. A figura 3 representa as principais áreas de pesquisa, e a necessidade de interação entre elas, para produção do estoque de conhecimentos necessários à efetiva produção desta tecnologia até seus usuários finais.

O modelo de interação entre as principais áreas de pesquisa apresentado na figura 3 visa a representar a necessidade de criar um estoque de conhecimentos mínimo, que depende do nível de outros estoques de conhecimento, para que a tecnologia possa ser desenvolvida (Dierickx e Cool, 1989). Cada uma destas áreas é composta por diversas disciplinas científicas e tecnológicas. A exigência de massa crítica em todas as áreas mostradas na figura 3 representa um desafio importante para o domínio da tecnologia de sensoriamento remoto. Para a criação e evolução da tecnologia, estas áreas devem estabelecer conexões recíprocas permitindo seu balanceamento, desde sua criação, tornando o desafio ainda maior. Desta maneira, a unidade útil para a composição do estoque de conhecimento é extremamente reduzida, em função do caráter idiossincrático do desenvolvimento tecnológico. A compra de soluções prontas ou a imitação de soluções já propostas em outros contextos, muitas vezes, criam mais problemas de balanceamento com outras áreas que o desenvolvimento de solução autóctone, que já leva em consideração às especificidades das outras áreas.

Assim, a acumulação de estoque de conhecimento mínimo que permite a criação de sistemas complexos, exige o balanceamento entre massas críticas, ou estoques de conhecimentos, das diversas áreas tecnológicas que fundamentam estes sistemas. Estas diversas áreas podem requer esforços de pesquisa e respectivos tempos de maturação distintos. Desta maneira, um importante item a ser considerando na formulação de uma estratégia de desenvolvimento de tecnologia complexa é o volume de investimento em P&D com vistas à acumulação de massa crítica requerida pela tecnologia nas diferentes áreas que a fundamentam.

No caso do programa CEBRS, existe uma superposição de esforços para a criação de satélites de sensoriamento remoto, envolvendo, fundamentalmente, a área de engenharia espacial e os laboratórios de integração e testes. Existe uma divisão do trabalho entre subsistemas e

também um esforço conjunto entre as duas partes no desenvolvimento de subsistemas específicos, por meio do fornecimento cruzado de equipamentos, que representam grandes desafios tecnológicos para o Programa.



**Figura 3: Interação entre áreas de pesquisa: tecnologia de sensoriamento remoto**

Fonte: elaborado pelo autor

## 7 CONCLUSÕES

De maneira geral, à medida que as organizações competem em um mundo crescentemente interconectado, as capacitações em integração de sistemas se tornam mais importantes para que os processos de inovação tecnológica sejam bem sucedidos. Isto inclui o efetivo gerenciamento de relações com outras organizações. De maneira específica, em sistemas complexos, com crescente especialização de diferentes disciplinas científicas e tecnológicas, que fundamentam estes produtos, as capacitações em integração de sistemas são estratégicas, considerando que é por meio delas que se torna possível um posicionamento favorável na cadeia de valor de uma indústria, com vistas à criação de valor econômico.

O programa de cooperação estabelecido entre o Brasil e a China, para o desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto, vem permitindo que o INPE crie e exercite capacitações em integração de sistemas. Estas capacitações foram analisadas em três diferentes níveis:

- ◆ subsistemas, referente às divisões de trabalho com a CAST;
- ◆ sistema, referente a concepção, desenvolvimento e operação do satélite;

- ◆ sistema de sistemas, referente à configuração e integração de toda a infra-estrutura terrestre necessária para que os dados gerados no sensoriamento remoto pelos satélites sejam transformadas em imagens para os usuários.

O acordo original permitiu a aquisição de capacitações no nível de subsistemas. O termo complementar, de 1993, contribuiu significativamente para o desenvolvimento dos outros dois níveis.

As indústrias produtoras de bens de capital estabelecem ligações funcionais com outras indústrias usuárias, e ao incorporar o progresso tecnológico, transmite-o pelo sistema econômico. A interação usuário-produtor é fundamental para que as solicitações de inovação dos usuários sejam incorporadas aos bens de capital, e se transforme em maior produtividade de fatores de produção destas indústrias, assim como em produtos finais de melhor qualidade.

Outro fato significativo é o aumento do volume de contratação efetuado com os fornecedores brasileiros, passando de 29 % no CBERS 1&2 para 52% no CBERS 3&4. Este aumento torna-se mais significativo quando se considera que a participação do Brasil passou de 30% para 50%, da primeira para a segunda geração de satélites.

Vale também ressaltar que nos CBERS 3&4 a aquisição de componentes críticos dos países desenvolvidos para os subsistemas sob responsabilidade do Brasil foi feita pelo INPE, ao contrário dos CBERS 1&2 que era de responsabilidade dos fornecedores. O que indica que os fornecedores locais estão conseguindo agregar mais valor em suas prestações de serviço.

Este artigo sustenta que a aprendizagem organizacional se dá pela construção incremental de estruturas cognitivas que permitam o progressivo domínio das disciplinas tecnológicas que fundamentam qualquer sistema. Esta construção deve dar-se por meio de experimentos guiados que permitam conjugar o conhecimento teórico já acumulado na organização com a criação de conhecimento prático de caráter tecnológico.

O projeto SIA é um bom exemplo desta construção de estruturas cognitivas. Este projeto, para o fechamento de um *gap* tecnológico, mostra a necessidade de se manter fluxos de financiamentos públicos até que se atinja o domínio tecnológico para aplicações tangíveis, por meio de desenvolvimento de novos produtos.

O sucesso do programa demonstra a viabilidade de acordos desta natureza entre países de industrialização recente, visto que os países desenvolvidos, de maneira geral, se mostram avessos a acordos de cooperação nas indústrias intensivas em tecnologia, notadamente aquelas de bens de capital.

## REFERÊNCIAS

- Argyris, C. Reasoning, learning, and action: individual and organizational. San Francisco: Jossey-Bass 1982
- Brusoni, S.; Prencipe, A.; Pavitt, K. Knowledge specialization, organizational coupling and the boundaries of the firm: why do firms know more than they make? *Administrative Science Quarterly*, n. 46, p. 597-621, 2001.
- Chagas Junior, M.F. et al. *Criação de capacitações em integração de sistemas: o caso do Programa CBERS*. In: Simpósio De Gestão Da Inovação Tecnológica, Gramado, 2006a.
- Chagas Junior, M.F. et al. Systems integration capability building: the case of China-Brazil Earth Resource Satellite – CBERS – Program. In: Workshop on Systems Integration, Pescara, Itália 2006b.
- Chagas Junior, M.F. *Criação e Exercício de Capacitações em Integração de Sistemas - Explorando Interações entre Formas de Aprendizagem Tecnológica - O Caso do Programa CBERS*. Tese de doutorado em Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2009
- Chesbrough H., Towards a Dynamics of Modularity In: Prencipe, A.; Davies, A.; Hobday, M. (Eds) *The business of systems integration*. Oxford: Oxford University Press, 2003b.
- Davis A; Hobday, M. *The business of projects: managing innovation in complex products and systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- Demsetz, H. The Theory of the Firm Revisited, *The Journal of Law, Economics and Organization* 4, 141 – 161, 1988
- Dierickx, I.; Cool K. Asset stock accumulation and sustainability of competitive advantage. *Management Science*, v.35, n.12, p.1504-1510, 1989.
- Dosi, G. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, 26, n.3, p. 1120 – 1171, 1988
- DOSI, G. et al. *The economics of system integration: toward an evolutionary interpretation*. Pisa: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, 2002. (LEM Papers Series; 2002/16).
- Eisner, H. *Essentials of project and systems engineering management*. New York: John Wiley, 2002.
- Freeman, C.; Soete, L. *The economics of industrial innovation*. 3<sup>rd</sup>. ed. Cambridge: MIT Press, 1997.

- Forsberg, K. et al. Visualizing project management: models and frameworks for mastering complex systems. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley, 2005.
- Furtado, A.T. E Costa Filho, E.J. Avaliação dos Spin-offs dos Fornecedores Nacionais do Programa CBERS (China–Brazil Earth Resources Satellite). Anais do XXII Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica – PGT/USP. Salvador, Bahia, 2002
- Gholz, E. Systems Integration in the US Defence Industry Who does it and Why is it Important? In: PRENCIPE, A.; DAVIES, A.; HOBDDAY, M. (Eds). The business of systems integration. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Henderson, R.M.; Clark, K. B. Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, n.35, p. 9-30, 1990.
- Hobday M. Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research Policy*, n. 26, p. 689-710, 1998.
- Hobday, M., Davies, A. Prencipe, A. Systems integration: a core capability of the modern corporation. *Industrial and Corporate Change*, V. 14 N. 6 p. 1109-1143, 2005.
- Johnson, S.B. Three approaches to big technology: operations research, systems engineering and project management. *Technology and Culture*, v.38, n.4, p.891-919, 1997.
- Kim, L.; Nelson, R. R. Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências de economias de industrialização recente. Campinas: Editora Unicamp, 2005.
- Kuhn, T.S. A estrutura das revoluções científicas, 3 ed. São Paulo, Editora Perspectiva 1995
- March, J.G. Exploration and exploitation in organizational learning, *Organization Science*, 2/1, p. 71 – 87, 1991.
- Miller, R. Innovation in complex product systems industries: the case of flight simulation. *Industrial and Corporate Change*, v.4, n.2, p. 363-400, 1995.
- Mintzberg, H. Criando organizações eficazes – estruturas em cinco configurações São Paulo Editora Atlas 2<sup>a</sup> Ed., 2003
- Nelson, R.R.; Winter, S.G. Uma teoria evolucionária da mudança técnica. Campinas: Editora Unicamp, 2005.
- Pavitt, K. What are advances in knowledge doing to the large industrial firm in the “new economy?” Working Papers SPRU, n. 91, 2003.
- Penrose, E. A teoria do crescimento da firma. Campinas: Editora Unicamp, 2006.
- Pisano, G. The development Factory: Unlocking the potential of process innovation. Boston, MA, Harvard Business School Press, 1996

- Prahalad, C. K.; Bettis, R. A. The dominant logic: a new linkage between diversity and performance. *Strategic Management Journal*, v.7, n.6, p. 485 – 501, 1986.
- Prencipe, A.; Davies, A.; Hobday, M. (eds.). *The business of system integration*. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- Rechtin, E. *Systems architecting of organizations: why eagles can't swim*. Boca Raton: CRC Press, 2000
- Rosenberg, N. *Perspectives on technology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.
- Rosenberg, N. *Por dentro da caixa preta*. Campinas: Editora. Unicamp, 2006.
- Sanchez, R.; Mahoney, J. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organizational design. *Strategic Management Journal*, v.17, special issue, p.63-76. 1996.
- Stepan, N., *Beginnings of Brazilian Science - Oswaldo Cruz, Medical Research and Policy, 1890-1920* New York, Science History Publications, 1976.
- Teece, D.J., Pisano, G.; Shuen, A. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, v.18, n.7, p. 509-533, 1997.
- Utterback, J.M, *Dominando a dinâmica da inovação*, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro 1996
- Williamson, O. Strategy research: governance and competence perspectives. *Strategic Management Journal*, v.20, n.12, p.1087 -1108, 1999.
- Yin, R.K. *Case study research-design e methods*. 3<sup>rd</sup>.ed. Sage Publications, California Thousand Oaks: 2003

## **CREATION OF CAPACITATIONS IN SYSTEMS INTEGRATION: THE CASE OF THE CBERS PROGRAM**

### **SUMMARY**

A model of industrial organization based on systems integration has been increasingly used by companies that lead successful efforts of technological innovation. These companies establish temporary organizations, project-based, define system architectures and delegate part of their activities - design and production of subsystems – to a hierarchical network of organizations, and take responsibility for final integration of these systems. The article has the resource-based view as theoretical reference, this paper analyzes the challenges for the production of capital goods-intensive goods in technology - complex systems - in newly industrializing countries. Is used a

program of technological cooperation between Brazil and China for the production of remote sensing satellites as a case study, and taking the project as the unit of analysis, this paper support that in environments characterized by high complexity and intense technical change the capabilities in the training systems integration in various levels, are an effective way of technologically catching-up. The ability to manage the lifecycle of complex systems, designed in order to meet the requirements of local stakeholders - rather than adapting systems designed for other physical and social environments - allows the introduction of effective technical change in the economic system.

**Key-words:** Innovation. Project management. Systems integration. Complex systems.

---

Data do recebimento do artigo: 23/09/2009

Data do aceite de publicação: 18/04/2010