

ROBERTO LUIZ GALSKI

**CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DO INPE EM RASTREIO E CONTROLE DE
SATÉLITES:**

Diagnóstico da Situação Atual e Tendências de Curto e Médio Prazo.

Paulo N. Figueiredo

Saulo de Oliveira Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-graduação em Gestão Estratégica da Ciência e Tecnologia em Instituições de Pesquisa Públicas, Nível de Especialização, do Programa FGV in company requisito para obtenção do título de Especialista

TURMA INPE

São José dos Campos – SP

2010

O Trabalho de Conclusão de Curso

**CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DO INPE EM RASTREIO E CONTROLE DE
SATÉLITES:**

Diagnóstico da Situação Atual e Tendências de Curto e Médio Prazo.

Elaborado por Roberto Luiz Galski e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para obtenção do curso de Pós-graduação em Gestão Estratégica da Ciência e Tecnologia em Instituições de Pesquisa Públicas, Curso de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV in company.

Data da aprovação: _____ de _____ de _____

Paulo N. Figueiredo

Saulo de Oliveira Gomes

Dedicatória

À família.

Agradecimentos

Ao orientador, professor Saulo Gomes, por sua leitura dedicada do texto e sugestões valorosas que em muito contribuíram para a melhoria deste documento.

Aos professores pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

Aos colegas do curso pelo aprendizado resultante de nosso convívio ao longo das aulas e também pelos momentos de alegria e bom humor.

Aos colegas do setor de treinamento (INPE) pela dedicação demonstrada pelo bom andamento e sucesso do curso e pela atenção para com os participantes do curso.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta monografia.

Resumo

Parte fundamental das atribuições das agências espaciais se refere às atividades de rastreamento e controle de satélites em órbita. A manutenção e ampliação dessa capacidade em particular contribui para o bom desempenho das atividades da respectiva agência. Esta monografia apresenta uma descrição das capacidades tecnológicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE no que se refere ao rastreamento e ao controle de satélites artificiais e analisa a evolução temporal destas capacidades, examinando ao final quais são as tendências em termos do acúmulo destas capacidades. Para tanto, este estudo analisa o Centro de Rastreamento e Controle de Satélites do INPE em termos de sua estrutura organizacional, de sistemas físicos, computacionais e de pessoal. Em seguida, com o auxílio de uma métrica especialmente elaborada para este fim como parte do trabalho, faz uma análise relativamente detalhada da evolução temporal das capacidades tecnológicas e também das tendências da mesma. Ao final, as conclusões e sugestões decorrentes do estudo são reportadas.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA	2
CAPÍTULO 3 – BASE CONCEITUAL	3
3.1 – Inovação	3
3.2 – Sistemas de inovação	5
3.3 – Capacidade tecnológica	6
3.4 – Dimensões da capacidade tecnológica	6
3.5 – Fontes de acumulação de capacidade tecnológica	8
3.6 – Métrica utilizada para aferir capacidade tecnológica	9
CAPÍTULO 4 – O CENTRO DE RASTREIO E CONTROLE DE SATÉLITES DO INPE	12
4.1 – Visão Geral do CRC	12
4.2 – Principais Componentes do CRC	13
4.3 – As ETs	15
4.4 – O CCS	16
4.4.1 – O subsistema de controle em tempo real	17
4.4.2 – O subsistema de dinâmica de vôo	19
CAPÍTULO 5 – EVOLUÇÃO DAS CAPACIDADES TECNOLÓGICAS DO CRC	22
5.1 – Período de 1986 a 1995	23
5.2 – Período de 1995 a 1999	25
5.3 – Período de 1999 a 2002	26
5.4 – Período de 2002 até o presente	27
5.5 – Análise da capacidade tecnológica do CRC ao longo do tempo	29
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. Introdução

Existe uma percepção bastante difundida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE de que o instituto vem perdendo ou está na iminência de perder parte não desprezível de suas competências e capacidades tecnológicas, principalmente na área de engenharia e tecnologias espaciais. A área de rastreamento e controle de satélites, apesar de ter um caráter mais operacional, pode ser vista como sendo uma área para onde convergem e são empregadas várias das tecnologias desenvolvidas pela área de engenharia e tecnologia espacial. Sendo assim, é razoável antever que também a área de rastreamento e controle seja ou venha a ser afetada se houver perda de capacidade tecnológica ocorrida na engenharia.

O INPE, assim como qualquer outra instituição de porte similar no mundo voltada as atividades espaciais, tem como parte fundamental de suas atribuições a capacidade de rastreamento e controle de satélites em órbita. Portanto, qualquer limitação nessa capacidade em particular representa um entrave ao bom desempenho das atividades do instituto. Mais especificamente, o Plano Diretor 2007-2011 (INPE, 2007) estabelece em sua Ação Estratégica 4.6: “Ampliar competências na operação de sistemas espaciais, recepção, processamento, armazenamento e distribuição de seus dados”.

O objetivo desta monografia é apresentar um esboço histórico da capacidade tecnológica em rastreamento e controle de satélites que o INPE acumulou ao longo do tempo, em especial aquelas relacionadas às atividades desenvolvidas no Centro de Rastreamento e Controle de Satélites – CRC, chegando até o momento atual. Ao fazer um diagnóstico da situação atual e progressão da capacidade tecnológica do INPE no que tange ao rastreamento e controle de satélites foi possível também verificar qual é a tendência da mesma. A tendência detectada e a ser apresentada representa uma contribuição importante do trabalho, não apenas pela constatação do fato em si, mas também pelas informações adicionais valiosas sobre a forma como a variação está ocorrendo, facilitando a adoção de medidas visando o aprimoramento contínuo do CRC.

O texto do presente trabalho está organizado como segue: No capítulo 2, é apresentada a metodologia empregada na consecução do trabalho. No capítulo 3, é feita uma descrição da base conceitual. No Capítulo 4, é feita uma descrição do Centro de Rastreamento e Controle de Satélites – CRC. No Capítulo 5, as capacidades tecnológicas do CRC são apresentadas e discutidas. Finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões.

2. Metodologia

Em termos de metodologia, empregou-se na elaboração deste trabalho basicamente duas formas de acesso à informação: consultas bibliográficas e conversas informais.

As informações conceituais sobre Inovação e Capacidade Tecnológica, entre outros, foram obtidas via aprendizado adquirido ao longo do Curso de Pós-graduação em Gestão Estratégica da Ciência e da Tecnologia em Instituições de Pesquisa Públicas ministrado pela Fundação Getúlio Vargas nas dependências do INPE em São José dos Campos, SP, no período de 2008 à 2010, e leitura à bibliografia recomendada.

As informações relativas ao CRC foram obtidas mediante consulta às várias fontes de material bibliográfico existente a respeito de suas atividades, tais como: manuais, relatórios e demais textos técnicos. Complementarmente, informações adicionais obtidas por meio de contatos (conversas, e-mail) com colegas do próprio CRC e de outras áreas do INPE foram incorporadas, ajudando a tornar mais completas as informações apresentadas.

A identificação da capacidade tecnológica do CRC ao longo do tempo foi realizada considerando-se os períodos de 1986 a 1995, 1995 a 1999, 1999 a 2002, e 2002 até o presente (2010).

Ao final, as informações coletadas foram organizadas e analisadas de forma a gerar as conclusões e sugestões desta monografia.

3. Base Conceitual

A fim de uniformizar o entendimento proveniente da leitura desta monografia, uma vez que existe na literatura multiplicidade de definições por vezes com diferenças significativas para o mesmo conceito, faz-se nos próximos parágrafos uma descrição dos conceitos mais importantes na elaboração e interpretação deste trabalho, sua evolução e qual a definição aqui adotada.

3.1. Inovação

A definição de inovação utilizada nesta monografia é aquela originalmente apresentada por Joseph Schumpeter (1883-1950), e que define a inovação segundo uma perspectiva ampliada, diz respeito à implementação de idéias criativas dentro de uma organização visando torná-la mais rentável. A existência de inovação depende, portanto, da colocação em prática de idéias criativas que façam uma diferença genuína na vida da organização, como por exemplo, a implementação de uma nova rotina organizacional, de uma nova técnica de produção ou de prestação de um serviço. Desta forma, a principal medida do sucesso de uma inovação é o seu impacto ou retorno financeiro. Tal conceito cobre quatro casos: (i) a introdução de um novo bem ou serviço ou uma nova característica em um produto; (ii) a introdução de um novo método de produção que ainda não foi testado; (iii) a abertura de um novo mercado inédito para a organização; (iv) a conquista de uma nova fonte de matéria-prima ou produtos (Figueiredo, 2009).

Essa visão da inovação sempre associada à geração de benefícios econômicos permite diferenciá-la da invenção e da descoberta. A invenção é a criação de algo novo, que não existia e que pode ser uma idéia, um esboço ou modelo voltado para um dispositivo, produto, processo ou sistema novo ou aperfeiçoado, que pode ser patenteada, mas que não resulta em retorno econômico enquanto não for levada com sucesso ao mercado. A descoberta ocorre relativamente a algo que já existia, mas que se desconhecia. Não ocorre, portanto, a criação de algo novo.

Em organizações realmente inovadoras, a inovação decorre de um processo contínuo e não de episódios esporádicos e envolve um conjunto ou espectro de atividades as quais variam de cópia, imitação, experimentação, adaptação até atividades mais sofisticadas de engenharia de desenvolvimento e design à base das várias modalidades de pesquisa, conforme ilustrado na figura 2.

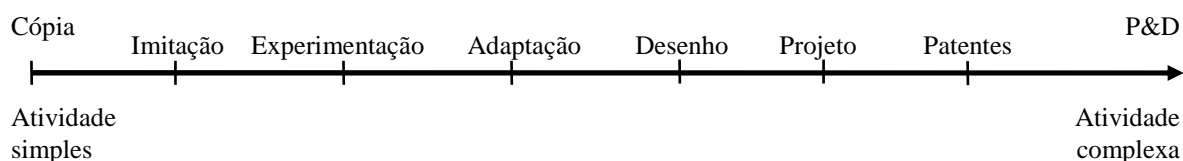


Figura 2 – Espectro de atividades inovadoras. (Fonte: Figueiredo, 2009)

As inovações são, portanto, o resultado de um processo chamado processo de inovação. Este processo, por sua vez, pode ser definido como sendo as atividades combinadas que conduzem a novos produtos e serviços ou a novos sistemas de produção e entrega. Essa perspectiva ampliada de inovação transcende a visão convencional confinada em atividades formais de P&D e é particularmente importante para examinar o grau de capacidade tecnológica inovadora no contexto das organizações em países em desenvolvimento. Desta forma compreende-se a acumulação de suas capacidades para realizar, de forma independente, diferentes graus de atividades inovadoras. A inovação passa a ser vista como um contínuo de atividades com crescentes graus de dificuldade e sofisticação. (Dosi, 1988; Lall, 1992; Bell & Pavitt, 1993, 1995; Ariffin, 2000; Figueiredo, 2001; 2006, 2009).

A partir deste conceito, o cerne da questão sobre a inovação nas organizações não é saber se a organização é ou não inovadora, mas sim, em que nível. Existem diferentes tipos ou níveis de inovação. As inovações incrementais envolvem a adaptação, o refinamento e a melhoria de produtos ou processos existentes. As inovações radicais envolvem categorias e produto e de serviço inteiramente novas ou sistemas de produção e de entrega inteiramente novos. As inovações arquitetônicas referem-se às reconfigurações do sistema de componentes constitutivos do produto (por exemplo: celulares menores e mais leves).

O processo de inovação, por sua vez, possui uma série de características ou propriedades, tais como:

(i) a incerteza é inerente ao processo de inovação: De cada dez projetos de P&D, oito falham, o mesmo ocorrendo com aproximadamente metade dos projetos de desenvolvimento de novos produtos;

(ii) o conhecimento científico desempenha papel cada vez mais preponderante: A ciência supre cada vez mais a tecnologia com descobertas específicas, bem como, oferece a utilização do método científico de investigação, suas técnicas e laboratórios e a certeza da importância da pesquisa na solução de problemas;

(iii) inovação em rede: É cada vez maior a importância dos arranjos organizacionais formais, onde as organizações estabelecem conjuntamente suas metas, interagindo em busca das inovações em contraponto à idéia dos inovadores individuais, onde uns poucos indivíduos isoladamente em cada organização são responsáveis pelas inovações;

(iv) a informalidade também compõe o processo de inovação: Este aspecto leva em conta que as pessoas dentro das organizações também podem “aprender fazendo” e “aprender usando”, ou seja, a inovação pode ocorrer durante o exercício de atividades de rotina, quando alguém, por exemplo, inventa uma solução nova para um problema velho;

(v) cumulatividade: A probabilidade de realizar determinados avanços tecnológicos depende do nível tecnológico já alcançado pela organização, isto é, depende da base de conhecimentos e competências já acumulados pela mesma.

3.2. Sistemas de inovação

Já na década de 1980, começou a difundir-se a noção de sistema nacional de inovação (Freeman, 1982; Lundvall, 1992). A inovação deixou progressivamente de ser vista como um ato isolado, passando a ser concebida como um processo não linear e interativo de múltiplas fontes. Processos de inovação são, pela sua própria natureza, arriscados, incertos e multidisciplinares, requerendo o estabelecimento de interações entre os vários agentes sistêmicos com o objetivo de otimizar a utilização dos recursos e minimizar os gargalos naturais (riscos e as incertezas) inerentes ao processo.

De acordo com Lastres et al. (2007), a noção de sistema de inovação (SI) tem em seu centro o subsistema industrial, o subsistema de ciência e tecnologia (C&T) e de educação e treinamento, mas envolve também a moldura legal e política, o subsistema financeiro e os padrões de investimento, assim como todas as demais esferas relacionadas ao contexto nacional e internacional, onde os conhecimentos são gerados, usados e difundidos.

Segundo Figueiredo (2009), sistema de inovação é definido como um conjunto de organizações que envolve empresas e várias organizações de suporte, tais como universidades, institutos de pesquisa, centros de formação e treinamento, escolas técnicas, empresas de consultoria, organizações de metrologia e patentárias, etc. Assim, as empresas são parte do sistema de inovação, que pode ser examinado sob uma ótica nacional, regional ou setorial.

3.3. Capacidade tecnológica

De acordo com Figueiredo (2004), o conceito ou definição de capacidade tecnológica apareceu na literatura e vem evoluindo, em termos de seu significado, já há algumas décadas. As primeiras definiram capacidade tecnológica como uma atividade inventiva ou esforço sistemático para alcançar novos conhecimentos em produção industrial. Num segundo instante, outros autores incluíram as aptidões e os conhecimentos incorporados nos trabalhadores, nas instalações e nos sistemas organizacionais como parte da capacidade tecnológica. Houve ainda uma tendência, por parte de alguns autores, de tentar limitar o conceito de capacidade tecnológica mantendo-o apenas como o conhecimento e habilidades existente em um grupo de indivíduos. Todavia, o conceito predominante atualmente é mais amplo e segundo o qual a capacidade tecnológica incorpora, de maneira cumulativa, os recursos necessários para gerar e gerir mudanças tecnológicas, incorporando os mesmos aos indivíduos (aptidões, conhecimentos e experiência) e aos sistemas organizacionais.

3.4. Dimensões da capacidade tecnológica

Para fins de elaboração desta monografia, a capacidade tecnológica de uma organização está armazenada, acumulada, em pelo menos quatro componentes, denominadas dimensões da capacidade tecnológica (Lall, 1992; Bell & Pavitt, 1993, 1995; Figueiredo, 2001, 2004, Gomes, 2010):

(a) Sistemas técnico-físicos – referem-se à maquinaria e equipamentos, sistemas baseados em tecnologia de informação, software em geral, plantas de manufatura;

(b) Conhecimento e qualificação das pessoas – referem-se ao conhecimento tácito, às experiências, habilidades de gerentes, engenheiros, técnicos e operadores que são adquiridos ao longo do tempo, mas também abrangem a sua qualificação formal. Esta dimensão tem sido geralmente denominada de “capital humano” da empresa ou país;

(c) Sistema organizacional – refere-se ao conhecimento acumulado nas rotinas organizacionais e gerenciais das empresas, nos procedimentos, nas instruções, na documentação, na implementação de técnicas de gestão (p. ex., *total quality management* (TQM), *material requirement planning* (MRP) e outras), nos processos e fluxos de produção de produtos e serviços e nos modos de executar as atividades nas organizações. A capacidade tecnológica é intrínseca ao contexto da firma, região ou país onde é desenvolvida. Assim sendo, a dimensão organizacional é, de fato, um componente da capacidade tecnológica;

(d) Produtos e serviços – referem-se à parte mais visível da capacidade tecnológica, refletindo conhecimento tácito das pessoas e da organização e os seus sistemas físicos e organizacionais; por exemplo, nas atividades de desenho, desenvolvimento, prototipagem, teste, produção e parte da comercialização de produtos e serviços, estão refletidos os outros três componentes da capacidade tecnológica.

A figura 1 a seguir ilustra as quatro dimensões que se traduzem na capacidade tecnológica de uma organização.

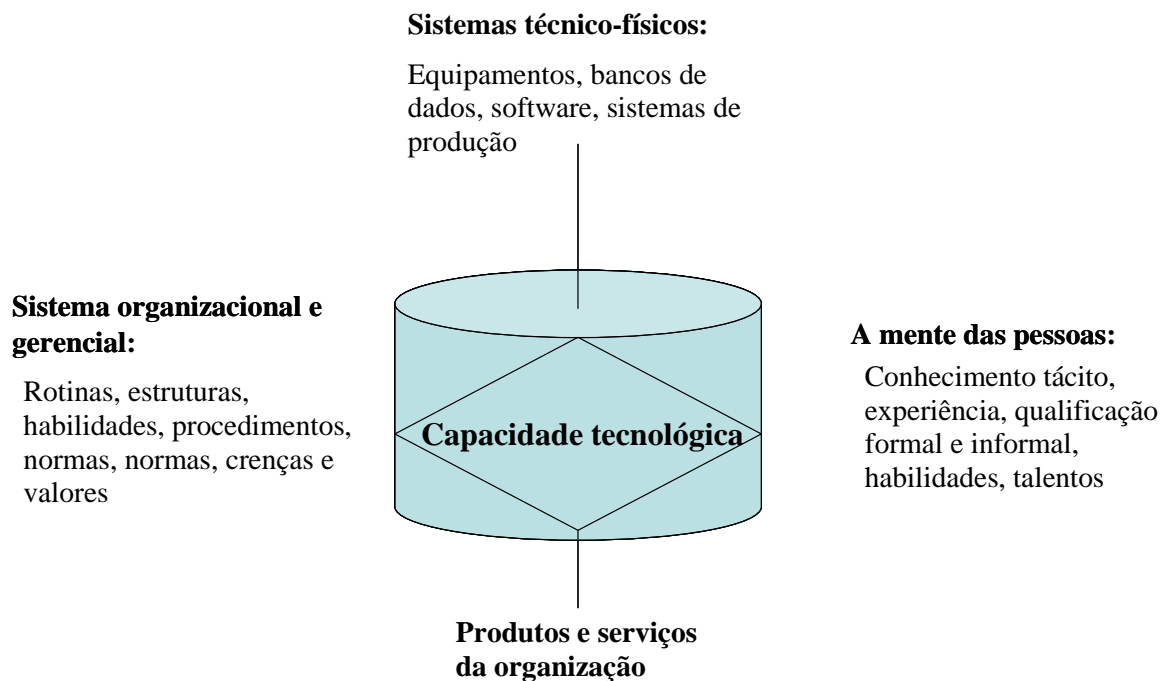


Figura 1 – As quatro dimensões da capacidade tecnológica. (Fonte: Figueiredo, 2009)

Segundo Figueiredo (2009), nos países com economias emergentes (ex.: Brasil, Rússia, China, África dos Sul, México e outros) a dimensão sistema organizacional e gerencial e a dimensão capital humano (a mente das pessoas) se revestem de importância maior do que as dimensões sistemas técnico-físicos e produtos e serviços e devem receber atenção especial dos dirigentes das organizações. A razão disto é que os sistemas técnico-físicos (máquinas, equipamentos, software) podem ser adquiridos com relativa facilidade no mercado internacional. O sistema organizacional, entretanto, por conta de sua especificidade, bem como os recursos humanos (capital humano) são de “aquisição” bem mais difícil. Em geral, eles precisam ser desenvolvidos dentro da organização. Ao mesmo tempo, eles formam a base que permitirá que tecnologias adquiridas externamente (local ou internacionalmente) sejam primeiramente assimiladas, e, futuramente, alteradas, aprimoradas e eventualmente, transformadas em novas tecnologias. A aquisição pura e simples de sistemas técnico-físicos

externos não garante a capacitação tecnológica, o domínio de uma tecnologia, se não houver, dentro da organização, uma base de recursos humanos com condições de estudá-la, entendê-la e, posteriormente, dominá-la a ponto de replicá-la ou mesmo aprimorá-la. E mesmo quando atenção adequada tenha sido dada ao desenvolvimento de capital humano dentro da organização, conforme ressaltado em Figueiredo (2004), é importante não descuidar da dimensão organizacional, pois é através dela que a organização criará mecanismos que permitirão passar ao máximo os conhecimentos tácitos presentes no capital humano para conhecimento codificado na forma de documentos, manuais, relatórios, etc. É por meio da dimensão organizacional que a organização criará também mecanismos para integrar de forma eficiente os vários elementos existentes nas demais dimensões da capacidade tecnológica. Em outras palavras, é preciso criar estruturas organizacionais que permitam a melhor interação possível do capital humano presente em setores distintos da organização, bem como o melhor uso possível dos recursos técnico-físicos dessa mesma organização. Esta informação é ainda mais relevante para uma organização como o INPE, em que o desenvolvimento e o uso de alta tecnologia é uma necessidade por força de sua área de atuação.

Basicamente, pode-se dizer que existem dois grandes tipos de capacidades tecnológicas: (i) as voltadas para o uso ou operação de tecnologias e de sistemas industriais existentes, ditas capacidades de produção, e (ii) as voltadas para a mudança de tecnologias e de sistemas industriais, ditas capacidades inovadoras e que podem variar entre níveis básico, intermediário e avançado. Em função de seu caráter tácito, a acumulação de capacidade inovadora não advém simplesmente como uma decorrência automática da experiência acumulada em fazer ou usar certas tecnologias ou sistemas, mas sim de esforços deliberados e continuados em constituir, sustentar e renovar tais capacidades.

3.5. Fontes de acumulação de capacidade tecnológica

A capacidade tecnológica pode ser vista como um estoque de recursos à base de conhecimento tecnológico. Esse estoque, por sua vez, é acumulado ao longo do tempo pela organização por meio de vários processos e mecanismos chamados, em seu conjunto, de aprendizagem tecnológica. A aprendizagem tecnológica envolve vários mecanismos que captam diversos tipos de conhecimento tecnológico a partir de fontes internas e externas à organização, a fim de transformá-los em capacidades tecnológicas.

Portanto, a aprendizagem tecnológica é o conjunto de mecanismos ou processos que permite a uma organização começar com o mais baixo nível de capacidade tecnológica e evoluir para níveis mais avançados. Uma vez que a fronteira tecnológica, representada pelas

organizações de mais alta capacidade tecnológica a nível internacional, está em continuo movimento ascendente, é imprescindível às organizações que querem alcançar a fronteira tecnológica possuir uma taxa de acumulação de capacidade tecnológica superior a aquela registrada pelas organizações que já estão na referida fronteira (Figueiredo, 2004, 2009). Este fato torna-se ainda mais relevante no contexto de organizações pertencentes a países com economias emergentes, como o Brasil, pois, em geral, as organizações dos países desenvolvidos já estão na fronteira tecnológica e preocupam-se apenas em manter esta liderança. Já as organizações de países emergentes estão, em geral, bem atrás da fronteira tecnológica e lutam para alcançá-la.

Existem aos menos três tipos de mecanismos de aprendizagem: (i) mecanismos intra-organizacionais de aprendizagem (alavancagem de conhecimento externo e geração e aplicação interna de saber tecnológico); (ii) mecanismos inter-organizacionais (fluxos de saber entre uma organização em particular e as demais organizações do sistema de inovação; (iii) mecanismos inter-empresariais (fluxos de saber entre subsidiárias de grandes corporações).

3.6. Métrica utilizada para aferir capacidade tecnológica

Um das formas bastante utilizadas para verificar o grau de inovação de uma organização são indicadores relativos à P&D e patentes. Exemplos de tais indicadores são: gastos em P&D e em educação, número de patentes registradas, investimentos em e percentual de pessoal alocado em P&D, percentual de cientistas e engenheiros, entre outros. No contexto de países emergentes, entretanto, tais indicadores perdem muito de sua efetividade. Estes indicadores não permitem identificar os diversos graus de inovação que as indústrias são capazes de realizar, sendo mais adequados a setores localizados em contextos de economias desenvolvidas ou de industrialização madura. Os indicadores recém comentados são ditos indicadores convencionais para avaliação da capacidade tecnológica.

A métrica a ser utilizada neste estudo baseia-se em um modelo no qual as capacidades tecnológicas de uma organização são categorizadas por funções (Dahlman et al. (1987), Lall (1987, 1992, 1994)) que representam o conjunto de atividades essenciais ou mais significativas em termos de inovação para o seu respectivo negócio ou contexto de atuação. O modelo torna explícito o fato de que a acumulação de capacidade tecnológica ocorre em níveis, variando dos mais simples para os mais complexos. Desta forma as atividades em cada função são estruturadas por esses níveis, conforme o grau de novidade ou complexidade que elas compreendem. À medida que a organização avança na acumulação de capacidade

tecnológica, torna-se cada vez mais capaz de realizar atividades mais inovadoras, tornando-se mais competitiva e se habilitando em algum momento a desenvolver tecnologias que revolucionem em termos de produtos e serviços no setor em que atua. Ao atuar neste nível, considera-se que alcançou a fronteira tecnológica internacional. Ao longo de sua trajetória de acumulação de capacidade inovadora ela se torna capaz de identificar seu potencial para a especialização eficiente em atividades tecnológicas, ampliando e intensificando tais atividades, bem como, buscando parcerias com outras organizações para complementar suas próprias capacidades.

O modelo permite a identificação e a medição da capacidade tecnológica baseado em atividades que a organização é capaz de executar ao longo de sua vida. O modelo permite distinguir capacidades rotineiras, ou seja, capacidades para usar e operar certa tecnologia, e capacidades inovadoras, ou seja, capacidades para desenvolver ou adaptar novos processos de produção, equipamentos, sistemas organizacionais, produtos, projetos de engenharia, gerando e gerindo, assim, a inovação tecnológica.

A principal razão pela qual se optou por usar uma métrica alternativa aos indicadores tradicionais para fins de elaboração desta monografia reside no fato da mesma ser suficientemente ampla para atender ao objetivo de examinar o processo de acumulação de capacidade tecnológica levando-se em conta tanto as dimensões técnicas quanto as dimensões organizacionais. Esta parece ser uma abordagem muito apropriada para um setor que desenvolve um conjunto de atividades altamente complexas como é o caso do CRC.

A Tabela 1 a seguir apresenta uma métrica elaborada pelo autor deste estudo e que busca capturar as funções mais importantes de um centro de rastreamento e controle de satélites e descrevendo para cada uma delas as atividades desenvolvidas nos diferentes níveis de suas respectivas capacidades tecnológicas. Conforme preconizado, a métrica torna explícito o fato de que a acumulação de capacidade tecnológica ocorre das categorias mais simples para as mais complexas, havendo dois níveis de capacidades de rotina e três níveis para as capacidades inovadoras. Como pode ser visto na Tabela 1, existem duas grandes funções tecnológicas, a saber, o rastreamento e o controle de satélites. No caso das ações de controle, existem dois grandes subsistemas que congregam pessoas e recursos de hardware e software. São as funções de controle de tempo real e a função de controle de dinâmica de vôo. Para cada das três funções tecnológicas e para cada um dos cinco níveis de capacidade tecnológica, a Tabela 1 apresenta as atividades executadas por um centro de controle que se encontre naquele nível.

Tabela 1 – Níveis de capacidade tecnológica de um centro de rastreo e controle de satélites.

Níveis de capacidades tecnológicas	Rastreo	Controle	
		Tempo real	Dinâmica de voo
Capacidades de rotina			
Básico	Uso de equipamentos e software de terceiros, usados como caixas-pretas sem customização. Ex.: Antenas, conversores, processadores de telemetria e telecomando.	Uso de software de terceiros, usados como caixas-pretas sem customização. Ex.: software para troca instantânea de mensagens entre operadores.	Uso de software de terceiros, usados como caixas-pretas sem customização. Ex.: software para filtrar dados brutos de medidas de distância estação-satélite
Avançado	Especificação e uso de equipamentos e software de terceiros, usados como caixas-pretas de forma customizada.	Especificação e uso de software de terceiros, usados como caixas-pretas de forma customizada.	Especificação e uso de software de terceiros, usados como caixas-pretas de forma customizada.
Capacidades Inovadoras			
Básico	Ampla capacidade de customização de equipamentos e software de terceiros, a ponto de gerar inovações incrementais por meio de pequenos aperfeiçoamentos. Ex.: Melhorias no software gerenciador do Sintetizador de frequências, gerando ganhos operacionais.	Ampla capacidade de customização de software de terceiros, a ponto de gerar inovações incrementais por meio de pequenos aperfeiçoamentos. Ex.: Software para decodificar e visualizar telemetrias.	Ampla capacidade de customização de software de terceiros, a ponto de gerar inovações incrementais por meio de pequenos aperfeiçoamentos. Ex.: Software para para determinação de órbita.
Intermediário	Desenvolvimento próprio de rotinas operacionais, software e equipamentos, totalmente adaptados às necessidades de rastreo. Ex.: Construção de Processador de Telemetria e Telecomando.	Desenvolvimento próprio de grande parte ou da totalidade do software necessário ao controle em tempo real. Ex.: Software para codificar e enviar telecomandos.	Desenvolvimento próprio de grande parte ou da totalidade do software necessário à predição do comportamento orbital do satélite. Ex.: software para propagação de atitude.
Avançado	Desenvolvimento de rotinas operacionais, equipamentos e software relativos à sua área de atuação competitivos em nível internacional. Ex.: Capacidade de apoio cruzado (<i>cross support</i>) em missões internacionais; Capacidade de rastreo em missões interplanetárias.	Desenvolvimento de software de tempo real competitivos internacionalmente. Participação ativa nas discussões para elaboração de novos padrões internacionais na sua área de atuação. Antecipação de demandas dos usuários. Ex.: software para controle automático de satélites.	Desenvolvimento de software de órbita e atitude de nível internacional. Participação ativa nos fóruns científicos internacionais com contribuições significativas à expansão do conhecimento da área. Ex.: determinação de órbita com precisão de centímetros.

4. O Centro de Rastreo e Controle de Satélites do INPE

Grande parte das informações contidas neste capítulo foram adaptadas de Orlando & Kuga (2007).

4.1. Visão Geral do CRC

O Centro de Rastreo e Controle de Satélites - CRC foi criado em 1988 tendo em vista a preparação para o lançamento do SCD1, primeiro satélite construído no Brasil e parte da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Dito de uma forma concisa, o CRC é um conjunto integrado de instalações, sistemas e pessoas dedicado à operação (controle) em órbita dos satélites desenvolvidos pelo INPE ou em cooperação com instituições estrangeiras, sendo responsável por todas as atividades relacionadas à operação: planejamento, gerenciamento e execução.

O principal produto derivado das atividades do CRC é aquele oriundo da carga útil do satélite por ele operado. Assim, no caso dos satélites SCD's (1,2), o produto são os dados ambientais coletados pelo transmissor/receptor da carga útil. Já para os satélites da família CBERS o produto são as imagens geradas pelas câmeras que fazem parte da sua carga útil. O principal serviço efetuado pelo CRC é a correta operação dos satélites sob sua responsabilidade, visando maximizar a vida útil dos satélites e a performance dos mesmos no cumprimento de suas missões.

Na estrutura organizacional formal do INPE, portanto, a execução de todas as atividades relacionadas com a operação de satélites artificiais é responsabilidade do CRC, que dispõe de um conjunto de sistemas de solo e de recursos humanos altamente qualificados para o cumprimento de sua missão final, que é garantir a utilização segura dos satélites propriamente ditos. A concepção do CRC iniciou-se com o advento da MECB, e envolveu a consultoria de especialistas de instituições espaciais estrangeiras, com destaque à Agência Espacial Européia (ESA – *European Space Agency*), cuja contribuição foi extremamente importante não apenas em termos do projeto e desenvolvimento de sistemas físicos, mas também da formação de recursos humanos qualificados. A participação de consultores estrangeiros foi fundamental, pois, até então, não tinha havido praticamente nenhuma experiência anterior no Brasil que pudesse ter gerado alguma competência técnica significativa no país na área espacial.

O lançamento do satélite SCD1 em 09 de fevereiro de 1993 marcou o início das atividades do CRC no controle de satélites. O SCD1 é um satélite de pequeno porte (~100kg)

e faz parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados - SBCD, que consiste de satélites em órbita baixa que retransmitem a um centro de missão os dados ambientais recebidos de um grande número de plataformas de coleta de dados espalhadas pelo território nacional. Atualmente, o SBCD é composto pelos satélites SCD1, SCD2, sendo que suas informações são distribuídas a diversas instituições no Brasil e no exterior.

Em 1999, foi lançado o satélite Sino-brasileiro de sensoriamento remoto CBERS 1. Com uma massa de aproximadamente 1.400kg e complexidade operacional significativamente maior do que os satélites do tipo SCD, o CBERS 1 representou um marco importante nas atividades do CRC. Com ele, o Brasil entrou para o pequeno grupo de países detentores de tecnologia de imageamento por satélite.

4.2. Principais Componentes do CRC

Atualmente, o CRC é composto por duas Estações Terrenas - ETs, onde estão localizadas as antenas e demais equipamentos responsáveis pela comunicação com os satélites controlados e um Centro de Controle de Satélites - CCS que além de ser a sede administrativa, é responsável pelo planejamento e execução de todas as atividades ligadas ao controle de satélites artificiais. O CCS localiza-se na cidade de São José dos Campos, SP. Quanto às ETs, uma delas está localizada na cidade de Cuiabá, estado de Mato Grosso, e a outra na cidade de Alcântara, no estado do Maranhão.

A figura 2 apresenta uma vista da sala de controle principal do CCS, de onde as atividades de controle de satélites são executadas.



Figura 2 - Vista parcial da sala de controle principal do CCS. (Fonte: Orlando & Kuga, 2007)

As figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, fotos da estação de rastreio de Cuiabá e da estação de rastreio de Alcântara.



Figura 3 - Estação de rastreio de Cuiabá (Fonte: Orlando & Kuga, 2007)



Figura 4 - Estação de rastreio de Alcântara (Fonte: Orlando & Kuga, 2007)

As unidades do CRC são interligadas por uma rede dedicada de comunicação de dados. A figura 5 apresenta uma ilustração da composição do CRC e suas funções.



Figura 5 - Composição e funções do CRC (Fonte: Orlando & Kuga, 2007)

No que diz respeito à recursos humanos, o capital humano mais importante do CRC é formado pelo conjunto de especialistas que integra a Equipe de Controle de Vôo (ECV) tais como: o engenheiro de sistemas do satélite, o engenheiro de sistemas de solo, o especialista de dinâmica orbital, os técnicos que executam as ações de controle do satélite e os técnicos que executam as ações de controle da estação. Todos têm formação específica e/ou treinamento prévios para desempenhar suas atividades. Durante a fase de Contingência, especialistas dos diversos subsistemas do satélite, oriundos de outros setores do INPE, são convocados para integrar a ECV.

4.3. As Estações Terrenas - ETs

As estações terrenas estabelecem a comunicação entre o sistema de controle existente em solo e os satélites, durante os períodos em que estes sobrevoam a região de visibilidade das antenas de rastreo das estações. Nos períodos de visibilidade de um dado satélite o sinal transmitido por ele é captado pela antena da estação, sendo estabelecido um enlace descendente de telecomunicação. Este sinal contém, de forma codificada, as informações de telemetria. Estas, por sua vez, revelam o estado atual de funcionamento do satélite, temperaturas em pontos relevantes, medidas dos sensores de atitude, etc. Depois de estabelecido o enlace descendente, a estação estabelece também um enlace ascendente, que é utilizado para envio de telecomandos e execução de medidas de rastreo (distância e

velocidade). O sinal do satélite recebido pelas estações de rastreamento é transmitido ao CCS com o menor retardo possível, através da rede dedicada de comunicação de dados. Já no CCS, as mensagens de telemetria presentes no sinal transmitido pelo satélite são decodificadas, exibidas em tempo real aos controladores de satélites e, também, armazenadas em arquivos históricos da missão. No sentido inverso, os telecomandos enviados pelo CCS são recebidos em tempo real pela estação que, por sua vez, os transmite ao satélite. Medidas de rastreamento (distância entre a estação e o satélite e desvio Doppler), necessárias ao processo de determinação de órbita – que consiste, basicamente, em determinar com grande precisão a posição e a velocidade – do satélite também são geradas durante os sucessivos períodos de contato estação satélite.

4.4. O Centro de Controle de Satélites - CCS

As principais funções de um Centro de Controle podem ser resumidas como: Controle de órbita e atitude, que inclui estimativas de órbita e de atitude, o cálculo de manobras, sua implementação e avaliação; Execução de procedimentos de rotina (tais como: configuração da carga útil, operação em eclipse e fora de visibilidade); Acompanhamento em tempo real, durante períodos de visibilidade estação-satélite, dos parâmetros do satélite; Reação rápida em caso de anomalias do satélite, aplicando procedimentos de recuperação de contingência previamente preparados. Por último, mas não menos importante o uso intenso de simuladores de satélite em terra para treino da equipe de controle na prática dos procedimentos de rotina e de contingência dos novos satélites antes dos mesmos entrarem em operação.

O CCS executa tarefas rotineiras tais como, monitorar e analisar a telemetria recebida, enviar telecomandos para configurar operacionalmente o satélite e sua carga útil, executar sessões de medidas de rastreamento, e executa também tarefas consideradas mais críticas, como execução de manobras de correção de órbita e manobras de correção da orientação do satélite no espaço (atitude).

O processo de determinação de órbita tem a função de manter atualizado um nível adequado de conhecimento em solo sobre a localização de cada satélite controlado. Através de programas computacionais de dinâmica de vôo são gerados no CCS, periodicamente, - a partir dos resultados do processo de determinação de órbita - arquivos de órbita predita (ou propagada) e de previsão das próximas passagens dos satélites sobre as estações, incluindo estimativas dos ângulos de apontamento das antenas das estações de rastreamento para direcioná-las ao satélite, de modo a capturar o seu sinal. Isso permite que as antenas sejam

adequadamente apontadas para a aquisição do sinal logo no início de cada passagem de satélite, garantindo o pronto estabelecimento da comunicação solo-satélite.

Além da determinação e propagação de órbita, também é feita periodicamente a determinação e propagação da atitude do satélite (orientação relativa a um sistema de referência). Para tanto, os dados dos sensores de atitude a bordo do satélite, obtidos via telemetria, são processados via programas computacionais específicos. O conhecimento de ambos, órbita e atitude, é premissa fundamental para o controle pleno de um satélite.

Além das atividades relativas à operação de rotina dos satélites, O CCS executa também as fases de preparação para o controle e suporte a lançamentos. Estas últimas envolvem, principalmente, a adequação da infra-estrutura de solo, a preparação de planos e procedimentos operacionais, o treinamento de pessoal e a realização de ensaios simulados das atividades de suporte ao lançamento e órbitas iniciais.

O software aplicativo para dar suporte às atividades operacionais do CCS foi desenvolvido integralmente no INPE. Basicamente, existem dois grandes sistemas de software aplicativos:

- O software aplicativo de tempo real, denominado Sistema de Controle de Satélites, conhecido pela sigla SICS;
- O software aplicativo de dinâmica orbital.

4.4.1. O subsistema de controle em tempo real (SICS)

O SICS é o maior dos sistemas de software do CCS. Tem suas principais funções executadas em tempo real, durante as sucessivas passagens de satélites sobre estações de rastreio, realizando as tarefas relacionadas à recepção e armazenamento dos dados dos satélites em arquivos históricos de missões, bem como as tarefas destinadas a gerar os telecomandos cujas atuações a bordo permitem o controle, a partir do solo, do estado operacional do satélite e de parâmetros dinâmicos ligados à sua órbita e atitude. As principais tarefas executadas em tempo real são as seguintes: recepção, monitoração e armazenamento de telemetria, codificação, envio e armazenamento de telecomandos, execução de medidas de rastreio, monitoração do estado dos equipamentos, comunicação por mensagens de texto entre o CCS e as estações terrenas.

O SICS armazena automaticamente todos os dados relacionados à missão, gerados por meio das atividades operacionais durante cada passagem, nos arquivos históricos de missão de

cada satélite controlado, desde sua injeção em órbita. Cada arquivo histórico cobre, portanto, o período integral da missão. Neles são armazenados pelo software aplicativo de tempo real todos os dados de telemetria recebidos, todos os telecomandos enviados, e todas as medidas de distância executadas durante todas as passagens do satélite sobre estações terrenas.

O desenvolvimento do SICS foi realizado seguindo os padrões de projeto de software da ESA, que foram adaptados para uso no INPE. O sistema foi decomposto em módulos, segundo as regras de projeto estruturado, cada módulo sendo distribuído a uma equipe de desenvolvimento. Os projetos dos módulos e da documentação envolvida desenvolveram-se de acordo com um rígido cronograma gerenciado por uma equipe de supervisão geral. Revisões formais de projeto, previstas no cronograma de desenvolvimento de cada módulo, permitiam a detecção e correção antecipada de erros e defeitos, verificação das interfaces, e incorporação de aperfeiçoamentos, tanto no projeto em si, quanto na documentação envolvida. O controle de versões era rigoroso, a fim de evitar a incorporação desordenada de alterações.

O gerenciamento do projeto como um todo era dotado de um nível de controle sobre o desenvolvimento de cada módulo que permitia direcionar o processo visando o cumprimento do cronograma e também controlar as interfaces entre os vários módulos. O fato dos módulos componentes serem desenvolvidos por equipes diferentes é um fator crítico para o sucesso de grandes projetos de desenvolvimento de software. No final, esses módulos devem ser integrados para funcionar de forma integrada formando um único sistema global. Para que a integração pudesse ser realizada adequadamente, sem a ocorrência de surpresas, era imprescindível que as interfaces entre os módulos fossem corretamente desenvolvidas e controladas, através de comunicação documentada durante todo o projeto.

O SICS foi inicialmente desenvolvido em linguagem de programação FORTRAN. Uma idéia da magnitude do projeto do SICS é fornecida pelo seu número de linhas de código: da ordem de cento e cinquenta mil. Para o desenvolvimento de um sistema de software deste porte, dentro dos prazos impostos pelo cronograma adotado para o projeto, constatou-se que as equipes de funcionários do INPE seriam insuficientes. Uma empresa privada foi contratada, via licitação, para o fornecimento de mão de obra qualificada adicional. Essa contratação mostrou-se muito relevante. Constituída de pessoal com excelente competência técnica e profissionalismo, a equipe contratada incorporou-se rapidamente ao desenvolvimento de software do INPE, oferecendo uma contribuição importante ao sucesso

do projeto. Alguns dos profissionais que participaram desse processo posteriormente passaram a integrar formalmente o quadro de funcionários regulares do INPE.

4.4.2. O subsistema de dinâmica de voo

O pacote de software aplicativo de dinâmica de voo (órbita e atitude) também foi desenvolvido originalmente em FORTRAN, em um sistema DEC VAX 11/780. Uma de suas características é não operar em tempo real, mas sim a partir de arquivos históricos de missão, que contém medidas de rastreamento e dados de telemetria gravados pelo SICS durante as sucessivas passagens de satélites sobre as estações terrenas. Esses arquivos históricos são específicos para cada satélite. Por exemplo, a telemetria dos satélites SCD1 e SCD2 contém, entre outros, os dados de seus sensores de atitude (dois sensores solares digitais e um magnetômetro de três eixos) e são periodicamente recuperados dos arquivos históricos e utilizados na determinação de atitude dos satélites, por meio do sistema de dinâmica de voo do CCS. As medidas de rastreamento são utilizadas no processo de determinação de órbita, através do qual o conhecimento da órbita do satélite é periodicamente atualizado. Os resultados deste processo servem de entrada (condição inicial) ao processo de propagação de órbita, que utiliza uma sofisticada modelagem da dinâmica do movimento orbital para gerar previsões da posição e velocidade do satélite em instantes futuros. As previsões são usadas no cálculo de dados de passagens futuras dos satélites controlados sobre as estações de rastreamento utilizadas no processo, incluindo estimativas dos valores dos ângulos segundo os quais a antena de rastreamento da estação deve ser direcionada, para captar o sinal emitido pelo satélite. As previsões de dados de apontamento de antena, calculados neste processo são suficientemente precisas para garantir a pronta aquisição do sinal do satélite por uma estação terrena, mesmo em passagens que só ocorrerão após períodos de mais de mês, passados desde a geração das previsões.

As funções básicas e o modo de operação do Sistema de Dinâmica de Voo do CCS são ilustrados na figura 6.

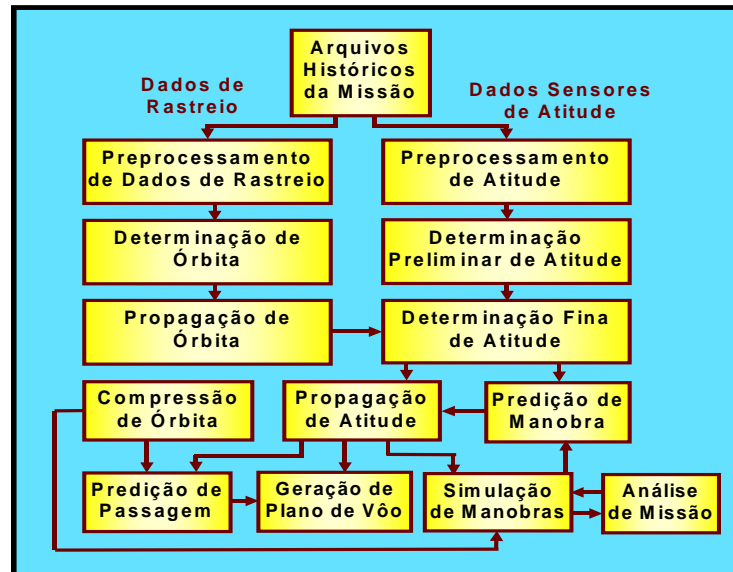


Figura 6. Sistema de dinâmica de vôo do CCS. (Fonte: Orlando & Kuga, 2007)

Como pode ser visto no fluxograma da figura 6, a determinação e propagação de órbita e a determinação e propagação de atitude são os “carros-chefes” dos processos executados pelo sistema de dinâmica de vôo. Para os satélites de coleta de dados (ex.: SCD1 e SCD2) ambos são executados uma vez por semana no CCS. Para os satélites de sensoriamento remoto (ex.: CBERS1, CBERS2, CBERS2B) somente o processo de determinação de órbita é executado em solo, três vezes por semana. O processo de determinação de atitude não é realizado em solo para satélites da família CBERS, pois eles são equipados por um sistema autônomo de controle de atitude, que o executa automaticamente a bordo. Os resultados do processo determinação de atitude a bordo são enviados ao solo como parte da telemetria.

Arquivos de dados que abrangem todo o período passado da missão e ainda um período futuro de três meses são mantidos, tanto para a órbita quanto a atitude propagadas. A cada três semanas, tais dados são utilizados para a geração de arquivos contendo a previsão das próximas passagens do satélite sobre cada uma das estações terrenas envolvidas no rastreamento. Os arquivos são usados para o apontamento das antenas das estações de rastreamento na direção do satélite, de modo que a comunicação entre o sistema de solo e o satélite possa ser estabelecido a cada passagem do satélite.

Os arquivos de previsão de passagem também alimentam o software que gera automaticamente o plano de operação em vôo de cada satélite. O plano de operação em vôo lista cronologicamente todas as ações de controle a serem executadas com o satélite em cada

passagem contida no arquivo de previsão de passagem, como por exemplo: telecomandos a serem enviados, telemetrias a serem monitoradas e medidas de rastreamento a serem executadas.

No início de suas atividades operacionais, em 1993 com o SCD-1, o CRC utilizava um engenheiro para a elaboração manual do Plano de Vôo, atividade que consumia dois dias inteiros para a elaboração de um Plano de Vôo de um período de uma semana. O desenvolvimento do software de geração automática de planos de operação em vôo, que ocorreu mais intensamente a partir de 1995, foi um avanço importante em termos das capacidades tecnológicas do CCS. Constituiu-se num passo importante em direção à automatização das atividades operacionais do CCS. Cabe ressaltar, porém, que os programas desenvolvidos para essa finalidade, e que se encontram atualmente em uso, foram desenvolvidos para atender à operação de um satélite específico. Para cada novo satélite que entre em operação deve ser desenvolvido um novo programa gerador de plano de vôo, específico para ele.

5. Evolução das Capacidades Tecnológicas do CRC

Do ponto de vista organizacional e gerencial o CRC mantém a mesma estrutura organizacional desde o início de suas atividades, sendo composto pelo Centro de Controle de Satélites (CCS) em São José dos Campos (SP), pela Estação Terrena (ET) de Cuiabá (MT), pela Estação Terrena (ET) de Alcântara (MA) bem como pela rede de comunicação dedicada que conecta os três locais. Opera 24 horas por dia, 365 dias por ano. As ações de controle são planejadas, coordenadas e executadas a partir do CCS, que se vale da rede de comunicação e das ET's para fazer chegar ao satélite suas ações. Operacionalmente, o CRC atende as fases de Pré-Lançamento, de Lançamento e Orbitas Iniciais, de Rotina e de Contingência. Conforme já visto, basicamente existem dois grandes sistemas de software utilizados para a execução destas tarefas: software de controle de tempo real e software de análise de órbita e atitude. Associado aos mesmos existe toda uma infra-estrutura de hardware, que não se restringe apenas a computadores, envolvendo também dispositivos eletrônicos e mecânicos (antenas, amplificadores, conversores de sinal, conversores de protocolo, moduladores, demoduladores, entre outros).

Para manter a excelência de suas atividades operacionais atuais e futuras com um mínimo de recursos humanos envolvidos, o CRC mantém um processo contínuo de pesquisa e desenvolvimento em atualização tecnológica de sistemas de controle de satélites, bem como em automação de suas operações. A existência de cursos de pós-graduação nas áreas de engenharia e tecnologias espaciais contribui de forma significativa no cumprimento deste objetivo.

Devido à complexidade dos sistemas que o compõem, existem diferenças significativas em termos dos níveis de capacidade tecnológica alcançados pelo CRC relativamente a cada um deles, bem como de suas evoluções ao longo do tempo.

Talvez a melhor forma de enxergar o CRC é vê-lo como um elemento da estrutura organizacional para onde convergem e são utilizados os recursos desenvolvidos por vários outros setores. O conceito da palavra recurso aqui é bem amplo, compreendendo o satélite e seus subsistemas e ainda toda a infra-estrutura de solo necessária ao controle do mesmo.

A seguir, faz-se uma descrição da evolução das capacidades tecnológicas do CRC por períodos de tempo.

5.1. Período de 1986 a 1995

O sistema de antenas (discos parabólicos com 11 metros de diâmetro) de ambas as estações foi adquirido em 1986, mas somente um ano após a aquisição, o Departamento de Estado Norte-Americano concordou, depois de um exaustivo processo de negociação, em conceder à empresa fabricante (Scientific Atlanta) a necessária licença de exportação.

O pessoal técnico que compôs as equipes de operação tanto da estação de Cuiabá quanto da de Alcântara foi contratado antecipadamente, para que houvesse tempo de serem submetidos a um período de treinamento, antes do início efetivo de suas atividades operacionais e, para isso, permaneceram no CCS, em São José dos Campos, até a inauguração das estações.

As estações de rastreamento do INPE iniciaram a operação em final de 1991, quando foram submetidas a um processo de validação e calibração. Esse processo contou com a cooperação do centro de operações de satélites da ESA, o ESOC, que disponibilizou ao INPE um de seus satélites para o rastreamento por Cuiabá e Alcântara: o Hipparcos, em órbita altamente elíptica, que foi o primeiro satélite a ter como missão principal medir a posição de estrelas. O processo de calibração consistiu do rastreamento do Hipparcos e geração de medidas de rastreamento (distância, no caso) pelas estações do CRC, durante um determinado período. As medidas geradas foram então enviadas ao ESOC, onde foram processadas pelo software de determinação de órbita desse centro. Paralelamente, medidas de rastreamento do Hipparcos geradas pelas estações de rastreamento da ESA, cobrindo o mesmo período que o das medidas do CRC, foram também processadas pelo mesmo software. A comparação dos resultados dos dois processos permitiu validar o equipamento de medida de distância das estações, já que os resultados obtidos com a utilização das medidas geradas pelo CRC ficaram bastante próximos daqueles obtidos com o uso das medidas correspondentes geradas pelas estações do próprio ESOC. Dados de calibração dos equipamentos de medida de distância de Cuiabá e Alcântara, que consistem de valores de atrasos de propagação do sinal eletromagnético nos equipamentos e guias de onda, também foram estimados nesse processo.

Anos mais tarde, o CRC desempenhou um papel inverso ao da cooperação com o ESOC em um processo de calibração de estações terrenas. O INPE usou um de seus satélites, o SCD1, para os processos de calibração da estação de rastreamento chinesa de Nanning e da estação argentina de Córdoba. O CRC participou ativamente dos trabalhos relativos a essas cooperações, tendo desempenhado um papel similar ao que o ESOC desempenhara com relação às calibrações de Cuiabá e de Alcântara.

Em termos de hardware computacional, o CRC iniciou suas atividades usando computadores da linha VAX da *Digital Equipment Corporation* (DEC). Eram eles: VAX 11/780 para desenvolvimento de software e VAX 8350 para operação no CCS e microVAX nas ET's. O sistema operacional era o VAX, da própria DEC. A arquitetura do sistema era uma configuração tipo “cluster”. A configuração tipo “cluster” dos processadores é um tipo de configuração na qual ambos operam conjuntamente, dividindo as tarefas de processamento de maneira tal que, para o usuário do sistema, tudo se passa como se houvesse apenas um processador trabalhando. Nas estações de rastreo alguns dos outros equipamentos e software foram projetados e construídos no próprio INPE como, por exemplo, o sistema de medidas de distância, o decodificador de telemetria, o conversor de protocolo para implementação do formato X-25, que encapsula o protocolo de comunicação de dados SDID da ESA, o software de controle da antena de rastreo. Outros foram comprados de fornecedores externos como o codificador de telecomandos, fabricado pela empresa alemã Dornier e o sistema de antena de rastreo, manufaturado pela empresa norte-americana Scientific Atlanta.

Devido ao fato de existir uma grande sobreposição entre as regiões de visibilidade das antenas de Cuiabá e Alcântara, na qual o satélite fica visível, ao mesmo tempo, por ambas as estações, foi definida uma prioridade de rastreo para elas. Por motivos de caráter técnico e devido à maior facilidade de acesso, foi estabelecido que Cuiabá seria a estação primária nas atividades de controle. Assim, nos casos em que um satélite se encontra na região de visibilidade comum às duas estações, ficou determinado que o rastreo deve ser executado prioritariamente por Cuiabá, com Alcântara operando apenas como estação redundante, para substituir Cuiabá em caso de falha desta.

Com o objetivo de criar um adequado nível de redundância, aumentado a confiabilidade do sistema de controle solo, foi criada nas estações de rastreo a capacidade de substituir o CCS durante contatos com satélites. Desse modo, uma das estações pode assumir a responsabilidade pelo controle de satélites no CRC em caso de ocorrência de algum tipo de situação imprevista que impeça temporariamente o CCS de atuar, ou mesmo por algum tipo de necessidade operacional. Para prover essa capacidade, no sistema computacional de cada uma das estações foi instalada uma cópia do SICS, o software aplicativo de tempo real do CCS. Com isto, sempre que, por algum motivo, o CCS se encontre impossibilitado de responder pelo controle de um ou mais satélites, a responsabilidade é temporariamente transferida para uma estação, normalmente a estação primária, Cuiabá. Um exemplo de tal situação é o caso de ocorrência de alguma falha técnica na rede de comunicação de dados que

impeça o CCS de estabelecer contacto com uma ou mais estações. Como as estações de rastreio são o elo de ligação entre o CCS e os satélites, o CCS teria impossibilidade de manter qualquer contacto com os veículos, através das estações afetadas pelo problema de comunicação, durante o período de tempo em que este persistir. Não poderia, dessa maneira, receber telemetria, enviar telecomandos, e comandar a execução de medidas de rastreio para alimentar o processo de determinação de órbita. A solução seria transferir integralmente o controle de satélites à estação primária até que a operação adequada da rede seja restabelecida. Em tal situação, os dados gerados nas sucessivas passagens de satélites são armazenados localmente na estação e, uma vez sanado o problema com a rede de comunicação de dados, são transmitidos ao CCS.

Essa capacidade das estações de rastreio de substituir o CCS permitiu reduzir pela metade o número de controladores de satélites em aproximadamente, através da transferência para a estação primária de todas as atividades de controle durante períodos de folgas, férias, ou mesmo ausências individuais de controladores do CCS.

5.2. Período de 1995 a 1999

A rápida atualização tecnológica experimentada pelos computadores, aliada à morosidade dos processos licitatórios governamentais, fazia com que, freqüentemente, ao final do processo de aquisição de um sistema, o modelo escolhido já estivesse obsoleto ou fora de linha. Este último fato fazia os custos de manutenção desses equipamentos tornarem-se ainda mais elevados. Além disso, o avanço tecnológico vertiginoso tornava as máquinas cada vez mais compactas e poderosas, em termos de capacidade de processamento e armazenamento de dados, mais econômicas em termos de consumo de energia elétrica e, ainda assim, mais baratas.

Tais fatos fizeram com que o custo de manutenção dos computadores do CRC ficasse proibitivo, a tal ponto que a renovação anual do contrato de manutenção era mais cara que o custo de aquisição de computadores novos, mais rápidos e eficientes. Por conta disso, optou-se, em meados de 1995, pela sua substituição por outro mais avançado tecnologicamente e menos custoso. Para evitar incompatibilidades foi escolhido um outro sistema produzido pelo mesmo fabricante do existente, a DEC. Assim, as velhas máquinas do CCS e das estações de rastreio foram substituídas por um novo sistema constituído, respectivamente, por um servidor DEC ALPHA-2100 e estações de trabalho DEC ALPHA-3000. Optou-se pelo sistema operacional Open-VMS, uma evolução do VMS utilizado no sistema anterior e,

portanto, conhecido, de modo a minimizar modificações de código no software aplicativo para adaptá-lo ao novo sistema.

Alguns pequenos aprimoramentos de hardware nas ETs também foram efetuados. Uma nova cadeia de rastreamento (*tracking*) foi instalada nos sistemas das antenas, pois, diferentemente do SCD1, o SCD2 tem duas polarizações de enlace descendente de comunicação (*downlink*) e a utilização de uma ou de outra depende da atitude do satélite. A partir de então, as ETs passaram a ter a capacidade de realizar o rastreamento de satélites que tenham duas polarizações diferentes. Um novo amplificador de potência de estado sólido (50w) foi instalado na ET de Cuiabá como equipamento principal, enquanto o equipamento anterior (HPA klystron) permaneceu como equipamento redundante.

A necessidade de efetuar a migração dos softwares aplicativos de tempo real (SICS) e de dinâmica de vôo do velho sistema computacional ao novo, sem interromper as atividades de controle do SCD1 constituiu-se em um desafio relevante para o acúmulo de mais uma capacidade tecnológica do CRC. O principal problema relacionou-se com a diferença do tamanho de palavra que era de 32 bits no sistema antigo, e de 64 bits no novo. Durante um período experimental de validação, o software de dinâmica de vôo foi executado paralelamente em ambos os sistemas, e os resultados eram comparados entre si. Em março de 1996, uma vez confirmado que o novo sistema apresentava um desempenho satisfatório, tanto em termos funcionais quanto de confiabilidade, o sistema antigo foi definitivamente desativado.

5.3. Período de 1999 a 2002

A partir de 1999, começou a transição para computadores tipo PC, concluída em 2002.

Com base na experiência anterior com os satélites SCD1 e SCD2, e levando em conta a grande evolução tecnológica dos computadores, foi decidido desenvolver um novo software aplicativo de tempo real para a operação do satélite CBERS-1 (lançado em 1999), usando a linguagem VISUAL C++, sob plataforma PC e sistema operacional Windows NT/2000 (Rozenfeld et al., 2002). Entretanto, o software de dinâmica de vôo a ser utilizado para o CBERS-1, seria o mesmo utilizado para os satélites de coletas de dados, nas plataformas ALPHA.

Uma vez que a cadeia de telecomando nas ETs não estava preparada para lidar com a telemetria do CBERS-1, decidiu-se por desenvolver no INPE um novo hardware dedicado às funções de telemetria e telecomando do CBERS-1. O novo hardware, instalado em plataforma

PC, comunicava-se com o software de tempo real via protocolo TCP/IP. Assim, tornou-se necessário instalar novos roteadores com protocolo TCP/IP para compor a rede de comunicação, pois na rede de comunicação baseada nas plataformas ALPHA ainda era o protocolo de rede X.25 que era utilizado

Posteriormente foi desenvolvida também para o SCD1 e o SCD2 uma nova versão em PC do software aplicativo de tempo real. Nesta transição, uma das maiores preocupações foi a de preservar os arquivos históricos dos satélites SCD1 e SCD2 armazenados em fitas do tipo DEC e com aproximadamente 10GB de dados. O trabalho foi feito em duas etapas. Primeiro, os arquivos armazenados em fita foram transferidos para o disco rígido dos computadores ALPHA. De lá, os arquivos foram transferidos para o disco rígido de computador tipo PC e armazenados em uma base de dados especialmente desenvolvida, tendo como base aquela usada para os satélites da família CBERS.

O software de dinâmica de vôo também foi adaptado para execução em PC e, com, isso as estações de trabalho ALPHA foram totalmente substituídas por PC's, tanto no CCS quanto nas estações de rastreamento. O software de dinâmica de vôo do SCD1 e SCD2 foi desenvolvido em FORTRAN77 e as interfaces de usuário usavam as rotinas da biblioteca *DEC Screen Manager library*. O software, a menos da interface de usuário, foi transferido para computador PC usando FORTRAN90. Para este propósito, o software de dinâmica de vôo foi transformado em biblioteca DLL (*Dynamic Link Library*). Uma nova interface de usuário foi desenvolvida usando Visual Basic.

Um aprimoramento adicional foi efetuado nas ETs. Em função do sistema de controle de solo ter que controlar 3 satélites com transmissores-receptores (*transponders*) de telemetria e telecomando diferentes e com diferentes tempos de varredura de frequência para estabelecimento do enlace de comunicação ascendente e curtos intervalos de tempo entre as passagens dos satélites, decidiu-se substituir o equipamento gerador de sinais sintetizados HP8662 por um sintetizador de frequência controlado por computador PC. A curva de varredura de frequências de *uplink* (enlace ascendente) de cada transmissor-receptor foi armazenada no PC, permitindo uma reconfiguração muito mais rápida de um satélite para outro.

5.4. Período de 2002 até o presente

Esforços foram feitos para desenvolver-se um equipamento de medida de desvio doppler de frequência (*range rate*) como uma alternativa ao equipamento de medida de

distância (*range*). O equipamento desenvolvido é baseado em computador PC e usa o TCP/IP como protocolo de comunicação.

Também nesse período, a Unidade de Controle da Antena (*Antenna Control Unit - ACU*) da ETs começou a apresentar problemas de obsolescência. O fabricante original tirou de linha algumas placas analógicas que compunham o sistema, ocasionando um problema de manutenção. Em função disso, foi decidido substituir a antiga ACU por um novo controlador digital do mesmo fabricante. O novo controlador é mais flexível em termos de controle remoto por um computador PC. Como um bônus desta flexibilidade, um novo software de gerenciamento da antena foi desenvolvido usando linguagem DELPHI.

Embora a nova arquitetura seja baseada em computadores tipo PC, o cuidado com o sistema de tolerância à falhas e com a disponibilidade do sistema ainda está presente. A tecnologia de cluster utilizada anteriormente foi substituída por um servidor de *back up*. Uma arquitetura tipo cliente-servidor substituiu a arquitetura centralizada dos computadores ALPHA. Em função da descontinuidade do suporte ao sistema operacional Windows NT, houve a necessidade de migrar para um novo sistema operacional. Por facilidades inerentes de migração, optou-se pelo sistema operacional Windows XP, que passou a ser o sistema operacional utilizado a partir de 2007.

No caso da rede de comunicação, agora usando apenas o protocolo TCP/IP, uma rede de comunicação privada isolada foi configurada, de forma a inviabilizar a invasão por *hackers*.

No campo do software de uso específico, pesquisas foram feitas no período de 2002 a 2004 no sentido de verificar a possibilidade de utilizar-se computação distribuída baseada em agentes, visando tornar o software de controle de tempo real mais robusto, com uma maior tolerância à falhas. A complexidade envolvida na implementação de um sistema do tipo, entretanto, revelou-se maior do que seria viável para sua aplicação prática.

Entretanto, como decorrência dos estudos efetuados, a partir de 2009, decidiu-se adquirir um conjunto de três máquinas tipo servidor baseado em plataforma PC e atuando em configuração cluster para rodar todos os software de tempo real que controlam os satélites do INPE. A idéia é substituir os computadores PC “de prateleira” usada atualmente, diminuindo os problemas ocasionados por falha de hardware e aumentando a confiabilidade e o grau de disponibilidade do sistema. A previsão é de concluir esta mudança até 2011.

Outra iniciativa importante em andamento de forma mais sistematizada a partir de 2004, incluindo trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado, foram os esforços para planejamento automático de operações de vôo baseado em agentes. Estes trabalhos de pesquisas estão sendo elaborados no INPE com a participação do CRC e envolvem a aplicação de metodologias de inteligência artificial no desenvolvimento de software para geração automática de planos de operação em vôo de satélites artificiais (Carniello et al., 2006). Os primeiros resultados se mostraram bastante promissores, tendo sido desenvolvido um software experimental, de caráter geral que, em teoria, pode ser aplicado a qualquer satélite por meio de arquivos de entrada específicos. Esta iniciativa visa diminuir a carga de trabalho das equipes do CRC, aumentando sua capacidade de controlar um número maior de satélites e ainda diminuindo custos operacionais.

Outro desenvolvimento nesse período foi a incorporação ao software de dinâmica de vôo da capacidade de realizar a propagação de constelações de satélite (Galski et al., 2005) e sua incorporação a rotinas de otimização, permitindo assim a análise e o projeto otimizado de futuras constelações de satélites.

5.5. Análise da capacidade tecnológica do CRC ao longo do tempo

O nível de capacidade tecnológica alcançado pelo CRC varia de acordo com a função tecnológica que se analise. Com relação à função de rastreo, por exemplo, o CRC iniciou suas atividades com capacidade inovadora de nível intermediário (vide Tabela 1). Este fato é corroborado pelos inúmeros equipamentos e software que foram projetados e construídos no próprio INPE à época, como já visto anteriormente. Relembrando, tem-se como exemplos, no período de 1986 a 1995, o sistema de medidas de distância, o decodificador de telemetria, o conversor de protocolo para implementação do formato X-25 e o software de controle da antena de rastreo. Analisando-se a evolução tecnológica apresentada por períodos de tempo neste capítulo, é possível perceber que o CRC/INPE conseguiu manter-se em um nível intermediário de capacidade inovadora. Entretanto, é possível perceber também uma diminuição no número de realizações que contemplam ou caracterizam tal nível. No período de 2002 até o presente, aparecem apenas dois exemplos, a saber, o desenvolvimento do equipamento de desvio de frequência e do software de gerenciamento da antena. Portanto, no que tange à função tecnológica rastreo de satélites, parece haver ao menos uma pequena tendência de diminuição da capacidade para essa função tecnológica.

Analisando agora a função controle de tempo real, também é possível verificar que o CRC possuía e ainda possui capacidade inovadora de nível intermediário. Tal afirmação é

corroborada pelo fato dos sistemas de software de controle de tempo real terem sido, desde o início, inteiramente desenvolvidos dentro do INPE, com participação do CRC, situação que se manteve desde então em todas as atualizações e novas versões. Tendo em vista o número crescente de iniciativas de pesquisa e desenvolvimento de novas versões mais avançadas do software de tempo real ao longo dos sucessivos períodos de tempo analisados, é razoável dizer que há uma clara tendência de aumento da capacidade para essa função tecnológica.

Para a função controle da dinâmica de vôo, a situação é parecida mas não idêntica à da função controle de tempo real. Os sistemas de software desta função também foram desenvolvidos no INPE desde o início e continuam sendo adaptados e aprimorados. Entretanto, para esta função, também é possível observar-se uma redução no número de realizações que se enquadram no nível inovador intermediário. Sendo assim, embora ainda mantenha uma capacidade de nível inovador intermediário, há uma leve tendência de declínio em médio prazo.

As Tabelas 2 e 3, a seguir, fazem um resumo das constatações contidas no texto dos parágrafos anteriores em termos das capacidades tecnológicas do CRC e de suas tendências.

Tabela 2 – Níveis de capacidade tecnológica do CRC por períodos de tempo

Período	Função Rastreio	Função Controle de Tempo Real	Função Controle da Dinâmica de Vôo
1986-1995	Intermediário Inovador	Intermediário Inovador	Intermediário Inovador
1995-1999			
1999-2002			
2002-presente			

Tabela 3 – Tendências de capacidade tecnológica do CRC por períodos de tempo

Período	Função Rastreio	Função Controle de Tempo Real	Função Controle da Dinâmica de Vôo
1986-1995	+2	+2	+2
1995-1999	+1	+1	+1
1999-2002	-1	+1	-1
2002-presente	-1	+2	-1

Para as tendências da Tabela 3, usou-se uma escala de cinco níveis de intensidade {-2,-1,0,+1,+2}. Nesta escala, os valores negativos significam tendência de declínio e valores positivos representam tendência positiva, enquanto o 0 (zero) representa estagnação, ausência de uma tendência definida. Independentemente do sinal, os valores numéricos da escala representam também sua intensidade relativa. Assim, 2 representa o dobro da intensidade de 1, seja para tendências positivas (+), seja para tendências de declínio (-) no acúmulo das

capacidades tecnológicas. A Tabela 3 foi preenchida baseando-se nas realizações reportadas em cada um dos períodos de tempo analisados.

A figura 7, a seguir, é uma representação gráfica dos dados contidos na Tabela 3 e permite visualizar mais facilmente as tendências para as capacidades tecnológicas do CRC.

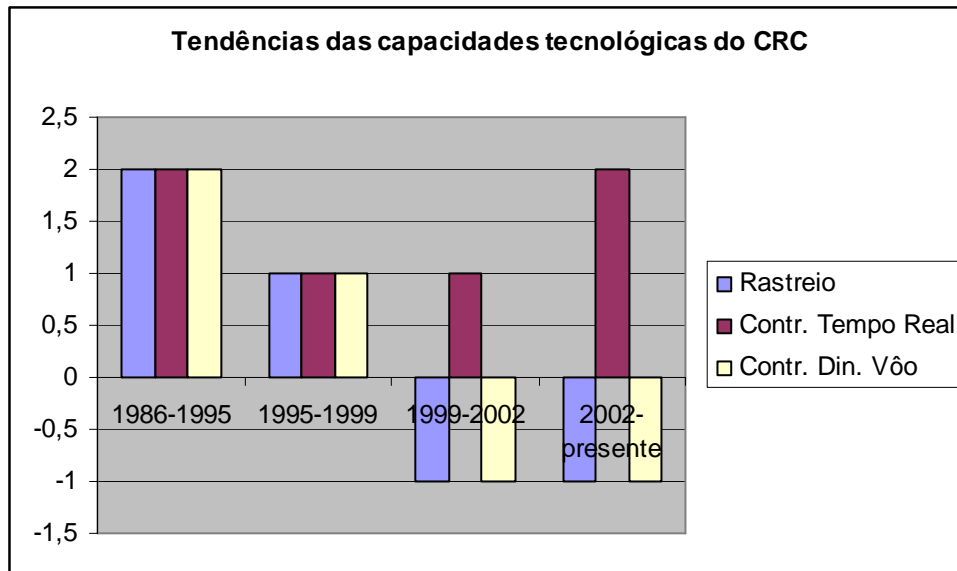


Figura 7. Evolução das tendências das capacidades tecnológicas do CRC/INPE.

Ao analisar retrospectivamente as mudanças ocorridas no CRC e no INPE é possível perceber que no início, mesmo antes do lançamento do primeiro satélite (1993), houve investimentos e esforços consideráveis para dotar o CRC com os recursos (equipamentos e softwares) necessários e, mais importante, com parcela considerável de desenvolvimento próprio do INPE, da ordem de 50%, segundo depoimento de colegas seniores consultados. Exemplos de tais desenvolvimentos no campo do hardware: PROCODE (Processador de Coleta de Dados), equipamentos de medidas de distância (*range*) e velocidade (*range rate*), PTT (processador de Telemetria e Telecomando). Exemplos no campo do software: todo o software de controle em tempo real (SICS) e todo o software de análise e previsão de órbita e atitude, ambos inicialmente desenvolvidos em linguagem Fortran para VMS. Todos estes exemplos citados já foram vistos com mais detalhes anteriormente. A idéia aqui não é rediscuti-los mas sim fazer uma constatação: o INPE, por conta da MECB, recebeu aporte considerável de recursos, tanto em moeda como em capital humano, destinados à concretização dos objetivos daquela missão. Os exemplos citados foram a materialização de parte significativa dos objetivos da MECB.

Entretanto, muitas vezes por motivos alheios à vontade daqueles diretamente envolvidos na execução das atividades tais como crises econômicas e mudanças de orientação

política, o ímpeto inicial foi gradualmente perdendo força ao longo do tempo e o que no início era uma taxa ou tendência claramente positiva de acumulação de capacidades tecnológicas das três funções analisadas transformou-se com o passar do tempo em uma taxa ou tendência de declínio, ainda que pequena, para duas das funções tecnológicas analisadas, a saber, a de rastreamento e a de controle da dinâmica de vôo.

O caso do equipamento PTT é sintomático e ilustra a situação no que tange à função de rastreamento. Antes dele (1993-2000), um equipamento importado (Mark II, alemão) era usado para telemando e outro para telemetria, sendo que este último era um misto de partes importadas (EUA) e partes desenvolvidas internamente. Nesse período, o PTT foi desenvolvido. Em 2000 passou a ser utilizado. Entretanto, já em 2002 o mesmo foi substituído por outro equipamento importado (Cortex, francês). Possivelmente, a utilização do PTT por tão pouco tempo decorreu de dois fatores: um tempo de desenvolvimento relativamente longo associado a uma rápida evolução tecnológica externa ao INPE. Dos dois fatores aventados, o primeiro é coerente com a tese de uma taxa ou tendência de declínio para a acumulação da capacidade nesta função tecnológica.

6. Conclusões e Sugestões

Esta monografia apresentou uma descrição do Centro de Rastreamento e Controle de Satélites do INPE e, com o auxílio de uma métrica especialmente elaborada para este fim como parte do trabalho, fez uma análise relativamente detalhada da evolução temporal de suas capacidades tecnológicas e também das tendências da mesma.

Fazendo uma reflexão estratégica sobre as constatações expostas no final do capítulo 4, decorrentes da aplicação da métrica elaborada para aferição das capacidades tecnológicas de centros de rastreamento e controle de satélite, em termos de suas implicações para o CRC no que tange à suas capacidades tecnológicas, é possível perceber, em linhas gerais, uma tendência, ainda que pequena, de declínio a médio prazo nas suas capacidades tecnológicas inovadoras. A exceção fica por conta da função tecnológica de controle de tempo real, atividade na qual parece haver massa crítica suficiente para evitar o declínio a curto e médio prazo. A situação, embora não seja a ideal, também não é crítica. Entretanto, ela adquire uma importância relativa maior ao lembrar-se que o CRC é um local de convergência dos recursos e, portanto, também das capacidades tecnológicas desenvolvidas em diversos setores do INPE, notadamente os setores que compõem a coordenação de engenharia e tecnologias espaciais (ETE), . Duas causas possíveis para a situação descrita são: (i) restrições orçamentárias sistemáticas e, (ii) restrições de contratação e reposição planejada de capital humano.

Salles e Bonacelli (2005) descrevem um cenário cada vez mais complexo e competitivo para as instituições de C,T&I do país, com aumento da percepção pública sobre a importância da C,T&I, ampliação de investimentos e aumento da competição por recursos com instituições privadas, entre outros. O acirramento da concorrência por recursos públicos entre as instituições é, segundo eles, uma tendência mundial dos governos e uma estratégia deliberada. Outra afirmação dos autores citados é a de que um dos aspectos fundamentais das atividades de C,T&I é seu caráter cada vez mais coletivo. Continuando, apontam que as Instituições Públicas de Pesquisa (IPP's) de todas as áreas no país enfrentam no período recente problemas comuns: restrição orçamentária, perda de pessoal especializado, necessidade de requalificação de quadros, e outros. As IPP's hoje em melhor situação são aquelas que, no passado recente, investiram em profissionalização de seus ambientes gerenciais (Embrapa, Fiocruz, IPT, entre outros).

À luz do exposto nos dois parágrafos anteriores, percebe-se que o INPE parece seguir o padrão das demais IPP's em termos das dificuldades enfrentadas e suas causas. Até onde se sabe, não há razão para que não siga também o padrão no que tange aos bons resultados auferidos pelas instituições citadas que já investiram em profissionalização da gestão de C,T&I. Essa é, portanto, uma primeira recomendação prática para o INPE.

A segunda recomendação é a de que o INPE use cada vez mais redes do conhecimento (Dantas e Bell, 2009) como forma de impulsionar suas atividades de C,T&I. Ao apontar o caráter cada vez mais coletivo das atividades de C,T&I, Salles e Bonacelli (2005) já davam uma pista sobre a importância de tais redes.

Fazendo uma breve comparação entre as capacidades do CRC e aquelas existentes nos países mais desenvolvidos, a fim de situar minimamente a condição atual do CRC, é possível dizer com relativa segurança que os centros de rastreamento e controle daqueles países encontram-se em um patamar superior. Alguns fatos que ajudam a corroborar esta tese são: - Um maior número de missões controladas; - Uma maior razão (Número de satélites / Número de controladores) significando maior eficiência e economia; - Ampla capacidade de apoio cruzado às missões de outros países e; - Um nível de automatização mais elevado nas operações de controle. As evidências mencionadas podem ser usadas pelo INPE ao mesmo tempo como objetivos e indicadores para a contínua melhoria das suas capacidades em rastreamento e controle de satélites.

Referências Bibliográficas

- ARIFFIN, N., The Internationalisation of Innovative Capabilities: the Malaysian electronics industry, Thesis SPRU, Brighton, University of Sussex, 2000.
- BELL, M.; PAVITT, K., “Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries”, *Industrial and Corporate Change*, v.2, n.2, p.157-211, 1993.
- BELL, M.; PAVITT, K., “The development of technological capabilities”. in Haque, I.U., *Trade, Technology and International Competitiveness*, Washington: The World Bank, p.69-101, 1995.
- CARNIELLO, Adriana.; CARNIELLO, Andrea. ; FERREIRA, M. G. V. ; SILVA, J. D. S. . A Multi-agent Based Ground-Operations Automation Architecture. In: 9th International Conference on Space Operations - 9th SpaceOps, 2006, 2006, Roma. Proceedings of the 9th International Conference on Space Operations. Reston, Virginia : American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2006., 2006.
- DAHLMAN, C.; ROSS-LARSON, B.; WESTPHAL, L. E., “Managing Technological Development: Lessons from the Newly Industrializing Countries”, in *World Development*, v.15, n.6, p.759–75, 1987.
- DANTAS, Eva & BELL, Martin, 2009. "Latecomer firms and the emergence and development of knowledge networks: The case of Petrobras in Brazil," *Research Policy*, Elsevier, vol. 38(5), pages 829-844, June.
- DOSI, G., “Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation”, *Journal of Economic Literature*, v.26, set., p.1.120-1.171, 1988.
- FIGUEIREDO, P.N., *Technological learning and competitive performance*, Cheltenham, UK & Northampton, EUA: Edward Elgar, 2001.
- FIGUEIREDO, P.N., “Aprendizagem tecnológica e inovação industrial em economias emergentes: uma breve contribuição para o desenho e implementação de estudos empíricos e estratégias no Brasil”, *Revista Brasileira de Inovação*, v.3,n.2, p. 323-362, 2004.
- FIGUEIREDO, P.N., “Introduction to the special issue on firm-level learning and technological capability building in industrialising economies”, *International Journal of Technology Management*, v.36, n.1-3, p.1-13, 2006.
- FIGUEIREDO, Paulo. N., “Gestão da Inovação: Conceitos, Métricas e Experiências de Empresas no Brasil”, LTC, 2009
- FREEMAN, C., *The Economics of Industrial Innovation*, 2.ed, Londres: Pinter, 1982.
- GALSKI, R. L., DE SOUSA, F.L.; RAMOS, F.M. Application of a New Evolutionary Algorithm to the Optimum Design of a Remote Sensing Satellite Constellation. **Proceedings** of the 5th International Conference on Inverse Problems in Engineering: Theory and Practice, Cambridge, Vol II, G01, UK, 11-15th July, 2005.
- GOMES, S. Apostila “Gestão por competências e gestão do conhecimento” do Curso de Pós-graduação em Gestão Estratégica da Ciência e da Tecnologia em Instituições de Pesquisa Públicas, ministrado pela Fundação Getúlio Vargas nas dependências do INPE em São José dos Campos, SP, 2008-2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, Plano Diretor 2007-2011, 2007. <<http://hdl.handle.net/123456789/130>>

- LALL, S., *Learning to Industrialise: the Acquisition of Technological Capability by India*, Londres: Macmillan, 1987.
- LALL, S., “Technological capabilities and industrialization”, *World Development*, v.20, n.2, p.165-86, 1992.
- LALL, S., “Technological Capabilities”, in Salomon, J. J. et al. (orgs.), *The Uncertain Quest: Science Technology and Development*, Tóquio: UN University Press, 1994.
- LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J.; MATOS, M.; SZAPIRO, M.; ZUCOLOTO, G.; KOELLER, P. *Estudo Comparativo dos Sistemas Nacionais de Inovação no Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (Brics)*. *RedeSist*, 23 de janeiro de 2007 (segunda versão). Disponível em <<http://brics.redesist.ie.ufrj.br/Projeto%20BRICS.pdf>>. Acesso em: jun. 2010.
- LUNDVALL, B.A., “User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation” in Lundvall, B.A., *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter, Londres e Nova York: ed. N.A., p.45-94, 1992.
- ORLANDO, V. ; KUGA, H. K. . *Rastreo e Controle de Satélites do INPE. A Conquista do Espaço - Do SPUtnik à Missão Centenário*. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007, v. 1, p. 177-207
- ROZENFELD, P.; ORLANDO, V.; FERREIRA, M. G. V. “Applying the 21st century technology to the 20th century mission control”, 7th International Symposium on Space Mission Operations and Ground Data System- SpaceOps 2002, Houston, Texas, USA, 9-12 October 2002.
- SALLES-FILHO, S.; Bonacelli, M. B. *Trajetórias e agendas para os institutos e centros de pesquisa no Brasil. Parcerias Estratégicas*, v. 20, p. 1485-1513, 2005