

Aplicação da Nanotecnologia em Projetos Espaciais no Âmbito do Comando da Aeronáutica

The application of nanotechnology in space projects in the Air Force Command

La aplicación de la Nanotecnología en proyectos espaciales en el ámbito del Comando de la Aeronáutica

Tenente Coronel Aviador Cláudio Olany Alencar de Oliveira

Mestre em Engenharia de Computação (ITA)
Assessor Militar de Defesa na Secretaria de Assuntos
Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR)
Brasília – DF
olany@codesys.com.br

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo identificar de que forma vem sendo implantada a nanotecnologia em projetos espaciais no âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), em comparação com o que vem sendo realizado por outras agências espaciais. Foi realizado um estudo da Teoria do Poder Espacial, com vistas a embasar o trabalho científico e validar a necessidade de inovação tecnológica nesse setor. Foi explicado o que é a nanotecnologia e como ela vem sendo aplicada em projetos espaciais nos Estados Unidos da América (EUA), União Europeia (UE) e Brasil. Por fim fez-se uma análise da estratégia de implantação da nanotecnologia em projetos espaciais adotada por estes países e os investimentos realizados. Ficou evidenciada a importância que a *NASA (National Aeronautics and Space Administration)* e a *ESA (European Space Agency)* atribuem à área de Ciência, Tecnologia e Inovação, em uma busca constante por novas tecnologias com o objetivo de manter a supremacia militar no mundo e agregar a conquista da supremacia espacial. Verificou-se que, priorizando o domínio de tecnologias sensíveis para a área de Defesa e Espaço, será possível o Brasil conquistar o *status* de nação tecnologicamente autossuficiente em projetos espaciais.

Palavras-chave: Nanotecnologia. MEMS/NEMS. Poder Espacial. Espaço.

Recebido / Received / Recebido
02/02/11

Aceito / Accepted / Acepto
23/03/11

ABSTRACT

This study aimed to identify how nanotechnology is being deployed in space projects within the Aeronautics Command (Brazilian Air Force), in comparison with what is being accomplished by other space agencies. It was conducted a study of the Space Power Theory, in order to support the scientific work and validate the need for technological innovation in this sector. It was explained what nanotechnology is and how it is being applied to space projects in the United States of America (USA), European Union (EU) and Brazil. Finally, it was analyzed the implementation strategy of nanotechnology in space projects adopted by these countries and investments. It was evident the importance that NASA (National Aeronautics and Space Administration) and ESA (European Space Agency) assign to the area of Science, Technology and Innovation in a constant search for new technologies in order to maintain military supremacy in the world and increase the conquest of space supremacy. It was concluded that prioritizing the control of sensitive technologies for the Defense and Space, will be possible for Brazil to gain status as a nation technologically self-sufficient in space projects.

Keywords: Nanotechnology. MEMS/NEMS. Space Power. Space.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo identificar de qué forma se pone la nanotecnología en proyectos espaciales en el ámbito del Comando de Aeronáutica (COMAER), en comparación con lo que han realizado hasta hoy otras agencias espaciales. Se realizó un estudio de la Teoría del Poder Espacial, con el objetivo de basar el trabajo científico y validar la necesidad de innovación tecnológica en este sector. Se explicó qué es la nanotecnología y como ella se aplica en proyectos espaciales en los Estados Unidos de América (EUA), Unión Europea (UE) y Brasil. Finalmente se hizo un análisis de la estrategia de implantación de la nanotecnología en proyectos espaciales que estos países adoptaron y las inversiones realizadas. Se evidenció la importancia que NASA (National Aeronautics and Space Administration) y ESA (European Space Agency) atribuyen al área de Ciencia, Tecnología e Innovación, en búsqueda constante por nuevas tecnologías con el objetivo de mantener la supremacía espacial. Se chequeó que, al priorizar el dominio de tecnologías sensibles al área de Defensa y Espacio, será posible que Brasil conquiste el status de nación tecnológicamente autosuficiente en proyectos espaciales.

Palabras-clave: Nanotecnología, MEMS/NEMS. Poder espacial. Espacio.

INTRODUÇÃO

A natureza competitiva do ser humano, sempre buscando novas descobertas e inovações, demonstra que, quanto mais evoluída tecnologicamente é uma nação, maior é a utilização dos mecanismos existentes para conquistar ou sustentar a sua soberania. Comprovando essa ideia, verifica-se que o mercado mundial de tecnologia cresce rapidamente e ainda, de maneira mais acelerada, evoluem as tecnologias utilizadas no setor espacial.

O século XX foi o período em que a inovação tecnológica evoluiu de maneira acelerada e de tal ordem que é possível descrever essa época como a “Era da Inovação”. O progresso impressionante que vem ocorrendo nas diversas áreas da Ciência e da Engenharia nas últimas décadas tem contribuído para o surgimento de ondas de inovação com um efeito multiplicador. Toda

inovação, naturalmente, perturba o *status quo* anterior. Essa afirmação é notadamente verdadeira quando se trata de tecnologia militar. O país que detém a capacidade de inovar em tecnologia gera um desequilíbrio entre nações. Tal fato, por sua vez, acaba por beneficiar uma nação em detrimento de outra: quem detém um artefato bélico inovador é capaz de dominar aqueles que não possuem. Logo, a inovação é um elemento do poder.

No mundo da tecnologia, somente inventar não é suficiente, é preciso inovar, passar da ideia à ação. O salto científico que ocorre com o surgimento de uma tecnologia de ruptura só é possível através de um processo de industrialização e sua posterior comercialização. Ao analisar-se o impacto que uma inovação, por exemplo, a arma aérea, causou nas estratégias militares, percebe-se como uma tecnologia inovadora, com um poder de ruptura, foi capaz de influenciar as doutrinas militares e renovar os conceitos antigos.

O efeito radical da aviação sobre a estratégia militar, sobre a doutrina operacional e emprego tático das forças foi amplamente atribuído às características do poder aéreo e às formas inovadoras com que essas características foram usadas para aplicar os princípios tradicionais da guerra.

Entretanto, apesar da consolidação da doutrina do Poder Aéreo ocorrida nas últimas décadas, poucos eventos na história têm sido mais significativos do que o alvorecer da Era Espacial. O lançamento do *Sputnik*, pela União Soviética, em 1957, se tornou a base para o surgimento da Teoria do Poder Espacial. Imediatamente, surgiram debates internacionais sobre o potencial das aplicações de um satélite inimigo em órbita sobre a Terra. Tais discussões foram o gérmen embrionário que deu origem à Teoria do Poder Espacial. (ESTADOS UNIDOS, 2009a).

Contudo, para a conquista do Poder Espacial, é necessário um investimento maciço e contínuo em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e em Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) na área de projetos espaciais. No Brasil, nas últimas décadas, apesar de esparsos investimentos do governo, as atividades de P&D no setor espacial vêm evoluindo, sempre buscando novas descobertas e inovações.

No âmbito do COMAER, os projetos relativos à atividade espacial desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), entidade subordinada ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), contribuem de maneira significativa para o desenvolvimento do Brasil. Através dos esforços de P&D em tecnologias e conhecimentos críticos, com vistas a atender às necessidades do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), da Agência Espacial Brasileira (AEB), o IAE tem conseguido superar os embargos internacionais no setor aeroespacial.

A construção de veículos lançadores, um ponto decisivo para a estratégia do PNAE, não apenas garante a necessária autonomia para acesso ao espaço, mas sustenta a soberania do país, além de propiciar a exploração comercial de serviços de lançamentos. O IAE tem investido em projetos de P&D, visando conquistar a autossuficiência na área de tecnologia espacial. E, com isso, ratificar o ingresso do Brasil no seleto grupo de países que possuem a capacidade de produzir sistemas espaciais e lançar seus artefatos em órbitas no espaço. (BRASIL, 2005).

Dessa forma, destaca-se a importância do assunto deste artigo: aplicação da nanotecnologia em projetos espaciais no âmbito do COMAER, uma vez que serão explorados assuntos relacionados à preparação e à aplicação do Poder Aeroespacial, com o interesse em

auxiliar no processo de implantação da nanotecnologia em projetos aeroespaciais no âmbito do COMAER.

Existem várias necessidades técnicas no setor espacial, que, uma vez superadas, terão um elevado valor estratégico, tais como: a redução da massa de veículos e artefatos espaciais e, conseqüentemente, o aumento da eficiência dos motores foguetes; o desenvolvimento de sensores inerciais (acelerômetros e girômetros) e outros equipamentos; a conquista da autossuficiência tecnológica nos setores espacial; e a necessidade de fomento e investimentos em tecnologias inovadoras (e.g., nanotecnologia).

Diante dessas considerações, o problema de pesquisa vislumbrado para este artigo é identificar de que forma vem sendo implantada a nanotecnologia em projetos espaciais no âmbito do COMAER, comparando-se os planejamentos estratégicos e investimentos adotados por outras agências espaciais.

Destarte, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar a implantação da nanotecnologia em projetos do setor espacial no âmbito do Comando da Aeronáutica. A fim de nortear a investigação do problema e obter subsídios para alcançar o objetivo proposto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

a) examinar a Teoria do Poder Espacial, com vistas a fundamentar a necessidade da inovação tecnológica no setor espacial;

b) identificar o cenário atual do setor espacial, nas agências espaciais de outros países (EUA/UE), com relação à nanotecnologia, investimentos realizados e sua estratégia de implantação;

c) identificar o cenário atual do setor espacial, no COMAER, com relação à Nanotecnologia, investimentos e sua estratégia de implantação; e

d) comparar a aplicação da nanotecnologia no COMAER com a de outros países, no que diz respeito ao setor espacial, à luz do referencial teórico adotado para esta pesquisa.

1 METODOLOGIA

Procurou-se abordar as peculiaridades da aplicação da nanotecnologia em projetos do setor espacial no mundo, em comparação com o que vem sendo realizado no Brasil. Destarte, o propósito deste trabalho científico foi proporcionar um maior conhecimento sobre os aspectos relacionados à implantação da nanotecnologia em projetos espaciais, o que é um fator estratégico para a soberania de um país que pode contribuir para a conquista da superioridade ou supremacia espacial.

Foram consultados livros e artigos científicos, bem como documentos que não receberam tratamento

científico, como documentos doutrinários do Comando da Aeronáutica, planos estratégicos do Ministério da Defesa, o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) da Agência Espacial Brasileira (AEB), *web sites* de Centros de Pesquisa, relatórios de estudos prospectivos de agências espaciais estrangeiras e documentos eletrônicos de caráter científico.

Realizou-se um estudo da emergente Teoria do Poder Espacial, com vistas ao embasamento do trabalho científico e a validação da necessidade de inovação tecnológica no setor espacial. Para a contextualização do trabalho na área tecnológica, procedeu-se a uma breve explicação sobre o que vem a ser a nanotecnologia e a nanociência e como elas estão sendo aplicadas em projetos espaciais nas principais agências.

Foi realizada uma análise do cenário atual da nanotecnologia no setor espacial das agências norte-americana (*NASA*) e europeia (*ESA/DLR*). Identificaram-se os componentes que já estão sendo empregados, os projetos e os investimentos. Na etapa seguinte, foi analisada a estratégia de implantação adotada por essas agências para aplicação da nanotecnologia em projetos espaciais.

Foi realizada uma análise do cenário atual do setor espacial brasileiro com relação à nanotecnologia, identificando-se os projetos existentes, as necessidades e as perspectivas futuras, através de documentos de projetos e artigos científicos gerados em seminários de nanotecnologia realizados no âmbito do COMAER (IEAv/IAE/DCTA).

Devido à necessidade de restringir-se o escopo desta pesquisa, as comparações limitaram-se à área de *MEMS/NEMS (Micro/Nanoelectromechanical Systems)*: sensores inerciais, acelerômetros e girômetros, e afins, cujos componentes encontram-se em processo de miniaturização. Além das tecnologias, foram comparadas as estratégias de inovação adotadas e os custos de investimentos.

2 TEORIA DO PODER ESPACIAL

A humanidade vem tentando solucionar os mistérios dos céus, desde o início dos tempos. Com o desenvolvimento dos primeiros foguetes, o homem deu os primeiros passos nessa jornada de descobrimento. Pioneiros, como Herman Oberth, Konstantin Tsiolkovsky, Robert Goddard começaram a tornar o sonho da exploração do espaço uma realidade, abrindo o caminho para o Dr. Von Braun e outros cientistas de renome. (JUSSEL, 1998).

Desde o lançamento do *Sputnik*, em 1957, a humanidade tem cumprido o ciclo quase completo na

exploração espacial. Apesar da década de 1960 ter sido o período da intensa corrida espacial entre a União Soviética e Estados Unidos, para se tornar o primeiro a chegar à Lua, hoje o mundo está novamente focado na tentativa de alcançar esse objetivo. Agora, muitos países estão trabalhando para visitar a lua em 2020 e na esperança de ver um ser humano pisar em Marte. (OBERG, 1999).

Alguns estudiosos e teóricos das doutrinas militares afirmam que a nação mais desenvolvida tecnologicamente está evoluindo na direção do estabelecimento de uma Força Espacial. Trata-se de uma visão futurística para o emprego da *United States Air Force* (USAF) no século XXI, na busca de estratégias para utilizar o Poder Espacial. (ESTADOS UNIDOS, 1996).

O termo Poder Espacial foi utilizado, pela primeira vez, em 1964, mas apareceu sem uma definição clara. Alguns esforços surgiram, posteriormente, na tentativa de definir-se o Poder Espacial. Em 1998, o Tenente-Coronel David Lupton, em sua publicação *On Space Warfare: A Space Power Doctrine*, apresentou a primeira definição formal. Ele sugeriu que, respeitadas as definições de Poder Terrestre, Naval e Aéreo apresentados por Mackinder, Mahan, Mitchell e outros, fossem incluídas três características: os elementos do poder nacional, propósitos militares e não militares, e sistemas duais, que são militares e civis. (LUPTON, 1998).

Com isso em mente, Lupton ofereceu a seguinte definição: “Poder Espacial é a capacidade de uma nação de explorar o ambiente espacial, em perseguição dos propósitos e objetivos nacionais, e inclui toda a capacidade astronáutica da nação.” (LUPTON, 1998, p.15. tradução nossa). Lupton (1998) acrescenta que uma nação com tais capacidades é também chamada de Potência Espacial.

Um segundo aspecto do Poder Espacial que os pensadores militares explicam é a sua importância bélica. Um método comum para esse propósito militar é o uso de analogias, especialmente aquelas relacionadas ao Poder Aéreo, Naval e Terrestre. Por exemplo, uma analogia da guerra terrestre usada para capturar a relevância do Poder Espacial é a Teoria dos Pontos Elevados. Essa teoria afirma que, comandando as colinas ou pontos elevados do terreno, os territórios circunvizinhos serão controlados, podendo-se conduzir a batalha em favor da vitória.

A versão da Teoria dos Pontos Elevados, aplicada ao espaço, envolve a Teoria das Forças Gravitacionais aplicadas à Terra e à Lua.

G. Harry Stine capturou a significância militar dessa Teoria em dois axiomas:

- a) controlar a Lua significa controlar a Terra; e

b) controlar os pontos de libração (Pontos Lagrangeanos) L-4 e L-5 significa controlar todo o sistema Terra-Lua (Figura1). (JUSSEL, 1998).

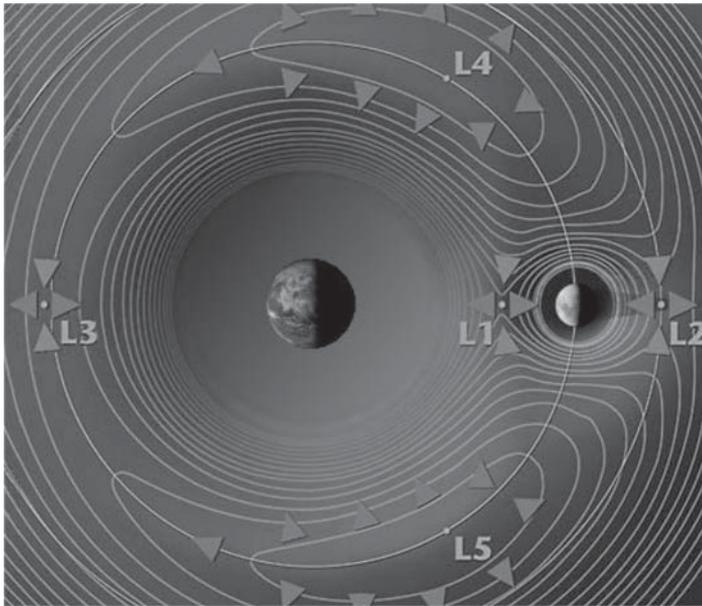


Figura 1: Pontos de Libração no sistema Terra-Lua.
Fonte: Jussel (1998, p. 11).

Diante disso, Stine definiu que um comando militar tem a habilidade de permitir ou negar o tráfego espacial, negar o uso militar ou comercial de áreas orbitais, lançar ataques com armas espaciais contra qualquer alvo na Terra, na Lua ou no espaço entre a Terra e a Lua, ou detectar e opor-se a qualquer ameaça originada de algum lugar no sistema Terra-Lua. (JUSSEL, 1998).

A respeito do Poder Espacial, Colin Gray afirmou que os Estados preparam-se e empreendem a guerra de acordo com suas naturezas distintas. Devido às forças distintas e limitações de cada elemento das Forças Armadas, o sucesso ou fracasso na deterrência, e na guerra em si, deve ser um esforço conjunto. (JUSSEL, 1998).

Segundo Dolman (2005), o resultado de uma futura guerra poderia ser plausivelmente decidido pelo Poder Espacial, porém os combates ainda serão realizados em grande parte na Terra. O Poder Espacial, de maneira similar ao Poder Aéreo e Naval, pode e deve aspirar a um papel fundamental, diferencial e estratégico na guerra.

O estado-da-arte do Poder Espacial dependerá das decisões dos Estados Unidos, com respeito ao desenvolvimento do seu Poder Espacial para guerras conjuntas e do potencial de outras Forças Armadas, que devem explorar as vantagens propiciadas pelos sistemas espaciais. Com esse objetivo, foi elaborada uma lista de tarefas na Teoria do Poder Espacial (OBERG, 1999).

Jussel (1998) afirma que a base fundamental dessa lista são as oito previsões de Janushkowsky e algumas ideias provenientes do *Spacecast 2020*, um relatório gerado por um

grupo de estudiosos, membros do Estado-Maior da Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) que, em 1993/1994, realizaram prospecções futuras com vistas a preparar-se a USAF para o papel que ela deveria assumir no Séc XXI. A lista de tarefas é descrita a seguir:

- a) desenvolver veículos transatmosféricos, implantando-se o transporte suborbital ou espacial;
- b) incrementar a presença do homem no espaço, em estações espaciais;
- c) padronizar as infraestruturas de lançamento de veículos espaciais para o uso dual, civil e militar;
- d) incrementar os acordos de cooperação internacionais e definir mecanismos para controlar o tráfego espacial;
- e) suprir as necessidades de aumento da capacidade de RH espacial, com a inclusão de uma equipe de profissionais que possam prestar serviços operacionais e de apoio ao Departamento de Defesa;
- f) controlar a utilização de armas no espaço, aplicação da força;
- g) propiciar um melhor suporte para o combatente aéreo, sob os aspectos de predomínio da informação, o conhecimento sobre a demanda e a consciência global; e
- h) buscar, continuamente, melhores tecnologias na área de veículos lançadores, redes de satélites, sensores, *links* de comunicação, fusão de dados, armas, propelentes e combustíveis, novos materiais e tecnologias de geração de energia, ou seja, deverá haver um elevado grau de investimento em novas tecnologias, sendo esta a tarefa mais importante.

Após uma análise da Lista de Tarefas citadas por Jussel (1998) e focando-se o último item (h), é possível inferir como os estudiosos e pensadores da Teoria do Poder Espacial atribuem um caráter estratégico e um papel primordial aos investimentos na área de C,T&I voltados para aplicações espaciais, obviamente, com vistas à conquista da supremacia espacial ou o domínio do espaço.

E a nanotecnologia, que se enquadra em “novos materiais” e em várias tecnologias espaciais que serão abordadas mais à frente, possui um grande potencial de contribuição para o domínio do espaço.

Entretanto, não se tem por objetivo discorrer, profundamente, sobre o Poder Espacial, mas apenas mostrar como as suas diretrizes propiciam um forte estímulo à inovação e ao desenvolvimento tecnológico, principalmente àqueles voltados para a área de Defesa.

3 NANOTECNOLOGIA E SUA APLICAÇÃO EM PROJETOS ESPACIAIS

Nas últimas décadas, diante do acelerado processo de evolução da tecnologia, o desafio de prever o seu progresso através de longos períodos é uma

difícil e imprecisa tarefa. Um desafio particular é a nanotecnologia, uma excitante fronteira científica e tecnológica relativamente inexplorada e que oferece novos *insights* e aplicações tecnológicas.

Antes de começar a discorrer acerca dos avanços realizados neste campo, é necessário esclarecer a diferença entre a nanociência e a nanotecnologia. Em primeiro lugar, nanociência está relacionada à pesquisa básica no estudo de nanoestruturas, enquanto a nanotecnologia é a implementação e aplicação de tais conhecimentos em projetos de P&D, com o objetivo de desenvolver novas tecnologias e produtos.

A atividade de P&D em nanotecnologia está voltada para a compreensão e a criação de melhores materiais, dispositivos e sistemas que exploram as propriedades da matéria nessa escala de comprimento.

A primeira divulgação dos conceitos encontrados em nanotecnologia ocorreu em *There's Plenty of Room at the Bottom*, tema de uma palestra proferida pelo físico Richard Feynman, em uma reunião da Sociedade Americana de Física, no *California Institute of Technology*, em dezembro de 1959. (FEYNMAN, 1959).

Em 1980, a ênfase semântica do termo em questão foi explorada, em profundidade, pelo Dr. K. Eric Drexler, que promoveu a difusão tecnológica dos dispositivos e fenômenos ocorridos à escala nanométrica em palestras e publicação de livros, tais como: *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* e *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, e assim o termo adquiriu seu sentido atual. (DREXLER, 1992).

Com a invenção do Microscópio de Varredura por Tunelamento (*Scanning Tunneling Microscope* - STM), foi possível a descoberta dos fulerenos, em 1985, sendo estes a terceira forma mais estável do Carbono, após o diamante e o grafite, e dos Nanotubos de Carbono (*Carbon Nanotubes* - CNT) (FOSTER, 2009). Entretanto, somente hoje, a comunidade científica evoluiu a base teórica da ciência da fabricação, a sofisticação de materiais e a capacidade de medição em escalas nanométricas.

Embora um metro seja definido pelo *International Standards Organization* como “o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de segundo”¹ e o nanometro (nm) é, por definição, um bilionésimo (10^{-9}) de um metro, isso não ajuda muito na explicação da nanoescala a não cientistas.

Como parâmetro de comparação, o espaço entre os átomos de Carbono em uma ligação C-C está na faixa de (0,12 - 0,15) nm. Um DNA dupla-hélice possui um diâmetro de cerca de 2 nm. Por outro lado, a menor forma de vida celular, as bactérias do gênero

Mycoplasma, possuem cerca de 200 nm de comprimento. (FOSTER, 2009).

Analisando-se essa escala em outro contexto, a dimensão comparativa de um nanometro com um metro é a mesma que a de uma bola de gude com o tamanho da Terra. Ou ainda, um nanometro é o quanto cresce a barba de um homem desde o momento que se levanta o barbeador até o momento em que ele chegar a sua face. (FOSTER, 2009).

3.1 MEMS

Segundo Foster (2009), Sistemas Microeletromecânicos (*MicroElectro Mechanical Systems* - MEMS) são a tecnologia do muito pequeno e se fundem na escala nanométrica em Sistemas *NanoElectroMechanical* (NEMS). MEMS são também denominados *micromachines*, no Japão, ou *Micro Systems Technology* (MST), na Europa.

MEMS são feitos de componentes entre (1 a 100) μm de tamanho, ou seja, (0,001 a 0,1) mm. Eles geralmente consistem de uma unidade central que processa os dados, o microprocessador e vários componentes que interagem com o exterior, como microsensores. (OSIANDER, 2006).

Segundo Foster (2009), as aplicações comerciais de MEMS, mais comuns hoje em dia, podem ser citadas:

- a) impressoras jato de tinta, que usam excitadores piezoelétricos para a ejeção da bolha térmica para depósito de tinta no papel;
- b) acelerômetros nos carros modernos para um grande número de fins, incluindo os sensores de impacto que ativam os *airbags*, em caso de colisão;
- c) acelerômetros em dispositivos eletrônicos de consumo, tais como: controladores de jogos (*Nintendo Wii*), *smartphones* (*iPhone* da Apple) e uma série de câmeras digitais;
- d) acelerômetros que são usados em discos rígidos de computadores pessoais, para estacionar a cabeça de leitura/gravação quando é detectada uma queda-livre, para evitar danos e/ou perda de dados;
- e) giroscópios MEMS usados em carros modernos para a detecção de guinada, por exemplo, para acionar o controle da estabilidade dinâmica e evitar uma capotagem; e
- f) bio-MEMS em aplicações médicas e de saúde relacionados a tecnologias de *lab-on-chip* para monitoramento cardíaco (biosensor) e controle hormonal (sensor químico).

Contudo, a era dos MEMS já está dando lugar aos “Sistemas Nanoeletromecânicos” ou NEMS.

¹ 17^a CGPM (1983, Resolução 1; CR 97 e Metrologia, 1984)

3.2 NEMS

O termo *Nanoelectromechanical Systems* ou NEMS é usado para descrever dispositivos que integram funcionalidades mecânicas e elétricas em escalas nanométricas. NEMS constituem a próxima etapa lógica de miniaturização dos dispositivos microeletromecânicos (MEMS).

O nome deriva das dimensões típicas dos dispositivos na escala nanométrica, resultando em reduções de massa, altas frequências mecânicas de ressonância, efeitos quânticos mecânicos em larga escala, tais como: Ponto Zero do Movimento e uma elevada relação superfície/volume, útil em sensores baseados em superfície, como sensores de toque.

As aplicações de NEMS incluem acelerômetros e detectores de substâncias químicas no ar. Devido à escala nanométrica dos NEMS, espera-se um impacto significativo em várias áreas da tecnologia e da ciência e, eventualmente, substituirão os MEMS.

Em 2000, o primeiro dispositivo NEMS, um *chip* VLSI (*Very Large Scale Integration*) NEMS foi demonstrado pela IBM. Sua premissa era um *array* termossensível que podia variar a temperatura de um substrato deformável com o objetivo de funcionar como um dispositivo de memória. Os processadores da linha Intel utilizam transistores nanométricos. Em 2007, o *International Technical Roadmap for Semiconductors* (ITRS) apresentou a memória MEMS como o dispositivo de pesquisa emergente (FOSTER, 2009).

Uma aplicação chave para os NEMS é o Microscópio de Força Atômica (*Atomic Force Microscope* - AFM). O aumento da sensibilidade adquirida com o uso de NEMS levou ao desenvolvimento de sensores menores e mais eficientes, capazes de detectar estresses, vibrações, forças em nível atômico e sinais químicos.

Na sequência, foi criado o Carbono Rápido (*Speedy Carbon*), que são finíssimas fitas de Grafeno e pode ser útil para as futuras gerações dos processadores de ultra-alta velocidade (escala de 100 nm). (FOSTER, 2009).

3.3 APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NO SETOR ESPACIAL

A intenção deste trabalho é descrever como a comunidade espacial pode explorar os grandes investimentos, da ordem de bilhões de dólares, realizados na indústria de MEMS comerciais ou industriais, para futuras aplicações espaciais.

Segundo Osiander (2006), as características de robustez mecânica serão vantagens distintas na sobrevivência à exposição a radiações solares, choques mecânicos e

vibrações durante um lançamento (*liftoff*), manobras orbitais e pousos lunares ou planetários. Contudo, espera-se que sejam realizadas modelagens, simulações, testes de solo e de voo, necessários para qualificar os dispositivos MEMS em aplicações espaciais, que exigem rigorosos requisitos de confiabilidade, tradicionalmente impostos a componentes usados em plataformas espaciais.

O projeto *Space Technology 5* (ST5), realizado sob o programa *New Millenium Program* (NMP), da NASA, tem o foco geral na validação da tecnologia avançada de microsatélites. O projeto NMP ST5 foi concebido para desenvolver três satélites miniaturizados, ilustrados na figura 2, que possuem aproximadamente 54 cm de diâmetro, 28 cm de altura e com massa menor que 25 kg. Como parte da missão ST5, esses três microsatélites executarão as mesmas funções de um satélite normal. (SHEA, 2009).

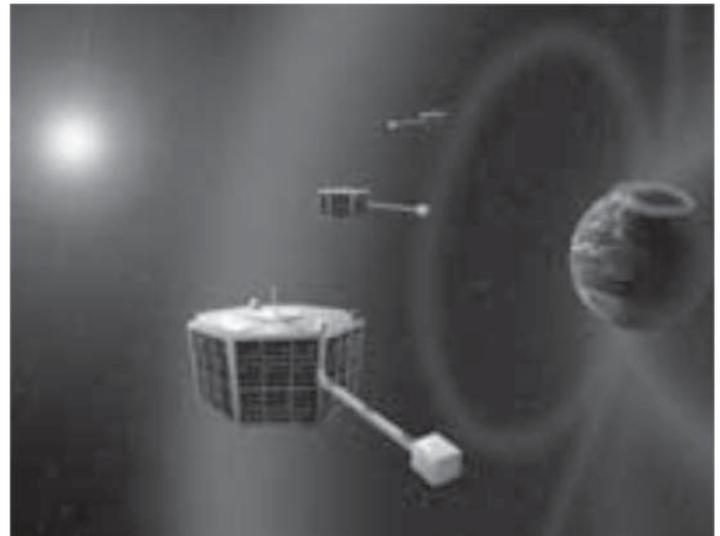


Figura 2: NMP ST5: Constelação de microsatélites.
Fonte: Osiander, (2006, p.17).

A tecnologia específica para validar o voo do ST5 é o MEMS *shutter* para o controle termal inteligente, concebido e testado no *Goddard Space Flight Center* (GSFC), da NASA, desenvolvido pelo *Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory* (JHU/APL) e fabricado no *Sandia National Lab* (OSIANDER, 2006).

O *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), da NASA, está desenvolvendo um microatuador inovador, com o propósito de posicionamento ultrapreciso de segmentos de espelhos do telescópio *Advanced Segmented Silicon Space Technology* (ASSiST). Esse projeto, em particular, é uma das várias aplicações da tecnologia de MEMS ou NEMS em missões espaciais, que estão sendo executadas na NASA/JPL (OSIANDER, 2006).

Outro projeto patrocinado pelo programa NMP, da NASA, é o NMP ST6, um sistema de determinação de atitude estelar inercial (*Inertial Stellar Compass* – ISC),

tecnologia de aviônicos espaciais, que combina sensores inerciais MEMS (giroscópios) com um sensor de *pixel* ativo de largo campo de visão (*Active Pixel Sensor – APS*) em uma compacta câmera estelar multifuncional (OSIANDER, 2006).

O desenvolvimento da tecnologia espacial ST6 está sendo realizado pelo *Charles Stark Draper Laboratory* (CSDL). A ISC é uma das várias tecnologias MEMS que vêm sendo desenvolvidas no CSDL. Em particular, estão pesquisando sensores e atuadores para guiagem, navegação e controle (*Guidance, Navigation, and Control – GN&C*), além de sistemas aviônicos espaciais, baseados em MEMS de baixa potência para aplicações espaciais (OSIANDER, 2006).

Ainda segundo Osiander (2006), ao longo dos últimos anos, várias atividades de P&D na área de micropropulsores a monopropelentes catalíticos têm sido conduzidas no GSFC (*Goddard Space Flight Center*) da NASA. Sistemas de propulsão baseados em MEMS têm sua aplicação potencial em missões espaciais que requeiram dispositivos de manobra micropropulsados, de forma a propiciar o posicionamento preciso de micro, nano ou picossatélites (figura 3).

Para Osiander (2006), a tecnologia atual de propulsão não consegue satisfazer os requisitos de empuxo mínimo (10 – 10000) μN ou de impulso (1 – 10000) μNs , aplicados a sistemas de massa (menor que 0,1 kg) e volumes limitados (menor que 1 cm^3), além de restrições de consumo de potência (menor que 1 W). Os micropopulsores baseados em MEMS, quando comparados a outras tecnologias, apresentam a vantagem combinada de vários parâmetros, tais como: alta densidade específica, baixo consumo de energia, volume reduzido, ampla variação de níveis de empuxo e simplicidade de integração.

Com o investimento em tecnologias inovadoras, como a nanotecnologia, para o desenvolvimento de microssatélites, micropropulsores, microssensores e microatuadores baseados em MEMS, microssistemas para controle, navegação e guiagem, além de sistemas aviônicos espaciais baseados em MEMS de baixa potência, e várias outras tecnologias, ocorrerá uma redução drástica na massa e volume dos veículos e artefatos espaciais e, por consequência, maior eficiência dos motores foguetes.

Segundo Osiander (2006), uma revisão do Inventário de Tecnologia da NASA mostrou que, no ano fiscal de 2003, havia um total de 111 tecnologias distintas baseadas em MEMS em andamento, o que significa um incremento de, aproximadamente, 40% em relação ao ano de 2002 e, quase 90% em relação a 2001. Além das tecnologias MEMS, citadas podem-se acrescentar: *stirling coolers*, *microswitches* de metal-líquido, sensores inerciais, switches RF e deslocadores de fases, microespelhos flexíveis, sensores de temperatura, pressão e fontes de energia.

O *status* de potência bélica e espacial não se obtém da noite para o dia. É resultado de várias décadas de pesquisa e de sólido planejamento estratégico para a área de tecnologia espacial.

4 ESTRATÉGIAS DE C,T&I ESPACIAIS NO MUNDO

A globalização das atividades espaciais governamentais, desenvolvidas por meio de mecanismos de cooperação internacional, representada pela Estação Espacial Internacional (*International Space Station – ISS*), empreendimento do qual o Brasil é integrante, marcou, na última década, o uso do espaço (BRASIL, 2005).

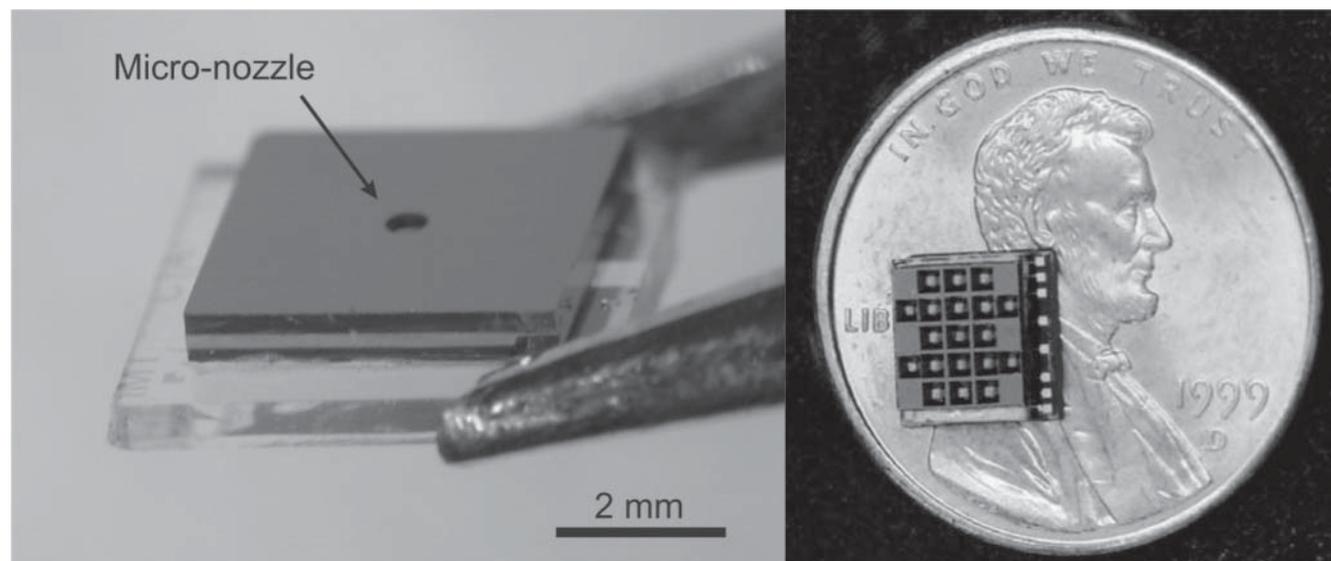


Figura 3: Array de Micropropulsores.
Fonte: Osiander, (2006, p.24).

Após uma breve análise internacional, configura-se um quadro bem nítido de retomada dos grandes projetos de exploração do espaço. Enquanto os Estados Unidos e a Europa realizam explorações robóticas do solo marciano e anunciam futuras missões a Marte e à Lua, a China avança em seu programa espacial tripulado e planeja uma futura exploração da Lua. Na mesma direção, Índia e Japão revelam, independentemente, o intento de realizar missões não tripuladas à Lua, enquanto a Rússia avança a hipótese de iniciar uma grande missão a Marte.

4.1 ESTRATÉGIAS DE C,T&I PARA DEFESA/ ESPAÇO NORTE-AMERICANAS

Em 1991, foi publicado o livro *Critical Technologies for National Defense*, com o resultado de um estudo desenvolvido no ano anterior no *US Air Force Institute of Technology* (AFIT). Esse estudo identificou, à época, as vinte áreas tecnológicas estratégicas para a defesa norte-americana. Essas áreas foram divididas em três grupos: Áreas Tecnológicas de Mais Alta Prioridade, Áreas Tecnológicas em Capacitação e Áreas Tecnológicas Emergentes (ESTADOS UNIDOS, 1991).

As tecnologias de mais alta prioridade identificadas nesse estudo foram as seguintes: Materiais Semicondutores e Circuitos de Microeletrônica (Nanotecnologia); Materiais Conjugados (Compostos/Compósitos); Dinâmica de Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics - CFD); Fusão de Dados; Sensores Passivos; Fotônica; Processamento de Sinais; e Produção de Softwares. Mais de uma década após o lançamento do Modelo AFIT, o *US Department of Defense* (DoD) divulgou novas listas - *Military Critical Technology Lists* (MCTL) -, sob um outro enfoque.

A Parte I da MCTL - Tecnologias de Sistemas de Armas - consiste no conjunto de 18 tecnologias, entre as quais é oportuno destacar as relacionadas à área de projetos aeroespaciais e de defesa: Tecnologia de Sistemas Espaciais; Tecnologia de Guiamento, Navegação e Controle de Veículos; Tecnologia de Sistemas Aeronáuticos; Tecnologia de Eletrônica; Tecnologia de Sensores e Lasers; e a Tecnologia de Materiais. (ESTADOS UNIDOS, 2009b).

Em janeiro de 2004, o Presidente Bush anunciou um novo direcionamento para a NASA após o término do programa *Space Transportation System* (STS), com a conclusão da Estação Espacial Internacional (*International Space Station* - ISS) em 2010. Pelas declarações do Presidente, a NASA retornará à Lua antes de 2020.

Segundo George (2001), com base na iniciativa denominada *Constellation Program*, a NASA espera retornar à Lua e estabelecer uma colônia permanente no caminho da missão tripulada para a exploração de Marte.

Além dos esforços do governo norte-americano em patrocinar e dar continuidade à exploração espacial, várias empresas privadas americanas visam tornar a viagem espacial uma realidade para todos.

Em 2004, houve uma iniciativa, o Ansari X Prize, para estimular o interesse de empresas privadas em viagens espaciais. O Ansari X Prize foi uma competição espacial na qual a X PRIZE *Foundation* ofereceu 10 milhões de dólares de prêmio para a primeira organização não-governamental a lançar uma nave espacial tripulada, reutilizável, capaz de transportar três pessoas a 100 km acima da superfície da Terra, duas vezes no período de duas semanas. (SPACESHIPONE, 2010).

O projetista aeroespacial Burt Rutan e o financiador Paul Allen ganharam o prêmio em 4 de outubro de 2004, quando a *SpaceShipOne* foi lançada a mais de 328.000 ft, pela segunda vez em menos de 10 dias. Desde então, vários outros prêmios têm sido oferecidos, incluindo um de US\$ 30 milhões para a primeira equipe a projetar uma sonda robótica, para pousar na Lua (SPACESHIPONE, 2010).

Para incentivar a inovação (C,T&I) nos projetos espaciais, foi criado o *New Millenium Program* (NMP), um projeto da NASA com foco na engenharia de validação de novas tecnologias para aplicações espaciais. Entretanto, após o cancelamento do financiamento desse programa pelo Congresso dos Estados Unidos, em 2000, as demonstrações de tecnologia foram fundidas e as missões do NMP foram renomeadas para *Space Technology* (ST series) (OSIANDER, 2006).

O governo norte-americano procura estimular as atividades de P&D em nanotecnologia aplicadas aos projetos espaciais da NASA. Os investimentos são os mais elevados do mundo. Em 2000, a *National Nanotechnology Initiative* (NNI) estabeleceu vínculos com 25 Agências Federais relacionadas a projetos em nanociência e nanotecnologia. No período de 2001 a 2009, foram investidos mais de US\$ 10 bilhões. Houve um acréscimo substancial dos investimentos públicos em nanotecnologia, de US\$ 464 milhões por ano em 2001, para, aproximadamente, US\$ 1,5 bilhões por ano em 2009 (UNIÃO EUROPEIA, 2010b).

Hoje, são investimentos anuais de bilhões de dólares na área de C,T&I, em uma busca constante por novas tecnologias, com o objetivo de manter a supremacia militar dos Estados Unidos no mundo e conquistar a supremacia espacial.

4.2 ESTRATÉGIAS DE C,T&I PARA DEFESA/ ESPAÇO EUROPEIAS

A Agência Espacial Europeia (ESA, na sigla em inglês) é um das agências líderes nos programas espaciais.

Em 2007, a ESA lançou seis foguetes Ariane 5, colocando vários satélites em órbitas espaciais. Atualmente, a NASA e a ESA estão trabalhando em um programa conjunto para trazerem amostras do solo marciano para a Terra pela primeira vez na história.

Entretanto, bem antes dessa profícua parceria entre a NASA e a ESA, que se consolidou com a criação da União Europeia, alguns países europeus já estavam investindo em projetos espaciais e em tecnologias inovadoras em busca da conquista do espaço. O Modelo *Western European Armaments Group* (WEAG) tem suas origens históricas iniciadas em 1976. Por intermédio dele, foi elaborada uma lista de Áreas Tecnológicas Estratégicas (BRASIL, 2003).

As Áreas Tecnológicas Estratégicas (*Common European Priority Areas* - CEPA) identificadas pelo Modelo WEAG são listadas a seguir: Tecnologia Espacial Militar e Satélite de Vigilância; Tecnologia Moderna de Radares; Microeletrônica; Tecnologia de Mísseis, Veículos Aéreos Não Tripulados e Robótica; Materiais Avançados e Estruturas; e Aviônica Modular, entre outras tecnologias (BRASIL, 2003).

Em 2003, a Divisão de Tecnologias Futuras (*Future Technology Division*), do VDI *Technology Center*, em nome da Agência Espacial Alemã (DLR) (*Space Flight Management, Division Technology for Space Systems and Robotics*), realizou uma análise tecnológica prospectiva na área da nanotecnologia aplicada em projetos espaciais, designado de Projeto ANTARES (*Analysis of Nanotechnology Applications in Space Developments and Systems*) (UNIÃO EUROPEIA, 2003).

O objetivo do projeto ANTARES foi identificar e avaliar os diferentes processos e produtos da nanotecnologia aplicados em projetos espaciais. Essa investigação teve por base a necessidade de ajustes nas áreas de pesquisas dos centros de competências em nanotecnologia da Alemanha, e nos requisitos para a tecnologia espacial, como estão mencionados no documento de requisitos *European Space Technology 1999* (ESTEC, 1999).

Essa análise foi vital para estimular as atividades de P&D em nanotecnologia aplicadas aos projetos espaciais da ESA. Além do envolvimento da comunidade espacial e da concretização de parcerias com as empresas de alta tecnologia da área de Defesa e espaço, houve um acréscimo substancial dos investimentos públicos em nanotecnologia. Hoje, a Agência Espacial Europeia possui um orçamento anual de aproximadamente \$4,8 bilhões, dos quais \$1 bilhão é investido em nanotecnologia (UNIÃO EUROPEIA, 2003).

Com vistas à obtenção de dados para a análise posterior, são exploradas, no próximo capítulo,

as estratégias de C,T&I espaciais no Brasil e os investimentos realizados em nanotecnologia aplicada aos projetos espaciais.

5 ESTRATÉGIAS DE C,T&I ESPACIAIS NO BRASIL

O Brasil tem competência, internacionalmente reconhecida, nas áreas das Ciências Espaciais, fato que agrega valor e credibilidade aos projetos de veículos espaciais e satélites de que dispomos, ampliando a capacidade de suprir a demanda crescente do mercado, que depende dos serviços de monitoramento por eles prestados.

Ademais, graças a essa mesma competência, tem sido possível a formação de parcerias internacionais de grande valor estratégico, que inserem o País de maneira soberana no cenário econômico e político mundial.

Entretanto, na área de Ciência e Tecnologia (C&T) aplicada a projetos aeroespaciais, o Brasil tem enfrentado embargos impostos por nações do primeiro mundo que, por meio de barreiras técnicas ou comerciais, procuram dificultar o desenvolvimento científico-tecnológico, assim evitando quaisquer progressos que propiciem a concorrência do país.

Orientados por essa visão, o Ministério da Defesa (MD) e o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) têm trabalhado em conjunto, no sentido de definirem as Diretrizes de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) para a Defesa Nacional, norteadoras da integração das atividades de C,T&I das Forças Armadas com o Sistema Nacional de C,T&I.

5.1 ESTRATÉGIAS DE C,T&I NO BRASIL

Em 2001, a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, considerando um quadro de transformações mundiais, apresentou seus resultados na forma de uma proposta estratégica para o período de 2002 a 2012, o chamado Livro Branco (BRASIL, 2007b).

Marco na história da política de C,T&I do Brasil, essa obra é uma agenda de consensos que sintetiza uma estratégia para a inovação e formula uma política de C,T&I, definindo objetivos que devem ser perseguidos e identificando as diretrizes estratégicas para o seu alcance (BRASIL, 2007b, p.15).

No Brasil, as atividades de C,T&I são, em grande parte, financiadas pelo Governo e realizadas nas Universidades e Centros de Pesquisa, ao contrário do que acontece em países mais desenvolvidos, como os Estados Unidos, Coreia do Sul, Alemanha, Japão etc., onde a pesquisa realizada na iniciativa privada é preponderante (BRASIL, 2007a).

As razões para este cenário são muitas, mas as principais são: poucas empresas privadas brasileiras são competitivas ou ricas o suficiente para terem seus próprios recursos para P&D e inovação, onde geralmente se desenvolvem produtos, através da terceirização de outras empresas, geralmente estrangeiras; a alta tecnologia do setor privado no Brasil é dominada por grandes empresas multinacionais, que, geralmente, têm seus centros de C,T&I no exterior, e, com poucas exceções, não investem em suas filiais brasileiras. No entanto, existe uma tendência significativa em inverter este cenário (BRASIL, 2007a).

Na última década, o MCT vem realizando um conjunto de ações com vistas a impulsionar e integrar as políticas de C,T&I no Brasil. A consolidação desse sistema preconiza sua estruturação junto ao setor empresarial, estados e municípios, tendo em vista as áreas estratégicas para o desenvolvimento do País e a revitalização e consolidação da cooperação internacional. O início da recomposição real do orçamento de C&T teve início em 2003, com a particularidade importante de aumentar os investimentos, procurando ampliar a atividade de C&T em todo o país.

Cabe destacar o lançamento do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), fruto de empréstimo do Banco Mundial, que teve o mérito de priorizar áreas estratégicas, como a Biotecnologia, a Engenharia Química, Novos Materiais, Instrumentação, Tecnologia Mineral, Ciências Ambientais, entre outras. Esse programa fez um investimento global de cerca de US\$ 830 milhões ao longo de doze anos. (SOUZA, 2009).

No final da década de 90, houve ainda o Programa de Núcleos de Excelência e, logo a seguir, os institutos do Milênio, que também contaram com recursos internacionais. A soma de recursos disponibilizados para fomento no ano de 2008 atingiu um valor global da ordem de R\$ 6 bilhões (SOUZA, 2009). No período de 2000 a 2008, foram investidos, aproximadamente, R\$ 235 milhões em C&T.

A pesquisa em nanotecnologia no Brasil é coordenada em Redes de Pesquisas temáticas, por meio das quais cientistas e empresas de diferentes regiões colaboram entre si. Desde 2005, toda a pesquisa em nanotecnologia está incorporada ao Plano Nacional de Nanotecnologia. Além da pesquisa básica em nanociências, a pesquisa em nanotecnologia no Brasil está focada em alguns domínios de aplicação industrial. Estes incluem os setores aeroespacial, agroindustrial, cosméticos e saúde, energia, ambiente e têxtil (BRASIL, 2006a).

Em relação à P&D em nanotecnologia voltada para a indústria aeroespacial, o Instituto de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) está

envolvido na pesquisa de Nanotubos de Carbono. A União Europeia e o governo brasileiro estão promovendo ativamente uma cooperação para pesquisa no nível acadêmico, incluindo o domínio das nanotecnologias (MALTA, 2003).

Quanto aos investimentos em nanotecnologia, desde 2001, as políticas nacionais brasileiras têm estimulado a pesquisa nessa área, com investimentos governamentais na ordem de R\$ 170 milhões, em projetos entre 2001 e 2006 (MALTA, 2003).

Entretanto, no Brasil, a questão Tecnologia é tratada junto à questão Ciência de maneira desintegrada das políticas econômica e industrial, o que é inconcebível para um país que deseja modernizar-se e caminhar junto aos países do primeiro mundo.

5.2 ESTRATÉGIAS DE C,T&I PARA ESPAÇO NO BRASIL

Nos últimos 40 anos, o Brasil não acompanhou o ritmo de desenvolvimento da matriz de C&T mundial, que se tornou mais densa e complexa. Contudo, mesmo que tardiamente, o país despertou para essa realidade e constatou a necessidade estratégica de investimento maciço em C&T, com o objetivo de induzir a inovação científica e tecnológica no país.

Dentro desse cenário, a Agência Espacial Brasileira (AEB) elaborou o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), com o objetivo de capacitar o país no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias espaciais.

Os esforços empregados pelo PNAE no desenvolvimento de foguetes de sondagem e de veículos lançadores e no domínio das tecnologias associadas visam assegurar a capacidade de acesso ao espaço, um fator imprescindível para viabilizar as missões orbitais e suborbitais, que possibilitem o suporte inicial à conquista do Poder Espacial.

Segundo o PNAE (BRASIL, 2005), a construção de veículos lançadores, um ponto decisivo para a estratégia do Programa Espacial brasileiro, não apenas garante a necessária autonomia para acesso ao espaço, mas sustenta a soberania do país, além de propiciar a exploração comercial de serviços de lançamentos.

O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), entidade subordinada ao DCTA/COMAER, tem investido em projetos de P&D, visando conquistar a autossuficiência na área de tecnologia espacial e, com isso, ratificar o ingresso do Brasil no seleto grupo de países que possuem a capacidade de produzir sistemas espaciais e lançar seus artefatos em órbitas no espaço.

Ao longo dos últimos anos, o Programa Espacial brasileiro vem acumulando carências decorrentes

de orçamentos anuais contingenciados, que criaram barreiras não só para a recomposição e manutenção de equipes técnicas, como também para a reposição do material necessário à sustentação dos seus projetos. Esse fato ficou muito evidente com a fatalidade ocorrida durante a terceira campanha de lançamento do Veículo Lançador de Satélites, VLS 1-03, em 2003.

Tal situação levou a Agência Espacial Brasileira (AEB) a propor uma série de medidas de revitalização do Programa Espacial que têm sido implementadas com o apoio do governo, consciente da importância estratégica do Programa para o Brasil. Consideraram-se urgentes e prioritárias, na área de plataformas espaciais, as tecnologias de controle de atitude, sensores e atuadores espaciais, além de nanotecnologias, que permitirão reduções drásticas de massa e consumo dos equipamentos de satélite (BRASIL, 2005).

Pelo seu caráter crítico, na área de veículos espaciais, o PNAE considera indispensável, também, a aquisição das tecnologias de guiamento e controle, de sistemas inerciais, de sistemas computacionais embarcados, propulsão líquida e de materiais e processos (BRASIL, 2005).

5.3 ESTRATÉGIAS DE C,T&I PARA DEFESA NO BRASIL

Inicialmente, como consequência direta das diretrizes estabelecidas pelo PNAE, o Ministério da Defesa (MD) constatou a necessidade de investimento em C,T&I, tendo sido definidas as ações estratégicas. Uma delas é o estabelecimento de intercâmbios científico-tecnológicos das instituições militares de P&D com instituições no Brasil e no exterior que possam permitir o acesso do País às tecnologias de interesse da Defesa Nacional.

Uma ação estratégica definida pelo MD foi o modelo escolhido para o Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação para Defesa (SisCTID) tomando-se, como referência, o documento Ciência, Tecnologia e Inovação - Proposta de Diretrizes Estratégicas para a Defesa Nacional. O MD definiu Áreas Estratégicas de Demanda da Defesa Nacional, entre as quais destacam-se algumas de interesse militar: Sistemas de Armas; Energia; Espacial; Materiais; Tecnologia de Informação; Telecomunicações; e Micro e Nanotecnologias. (BRASIL, 2003).

Essas Áreas Estratégicas foram dispostas em um espaço delimitado por três eixos capazes de criar vetores interagentes e coordenados, denominados de Tecnologias de Interesse da Defesa Nacional (TIDN): o Eixo da Defesa relacionado às expressões Política e Militar do Poder Nacional; o Eixo da Ciência e Tecnologia que se relaciona à expressão Científica e Tecnológica do

Poder Nacional; e o Eixo da Indústria, que contempla as capacidades inovadoras e está relacionado às expressões Econômicas e Psicossociais do Poder Nacional.

Entre as TIDN definidas pelo MD tem-se a Microeletrônica, que deve propiciar o desenvolvimento de componentes e circuitos dedicados a sistemas nacionais de defesa, com baixa dependência externa, evoluindo-se daí para aplicações em nanotecnologia.

Essa área de P&D trata da concepção, desenvolvimento, teste, produção e utilização de componentes e circuitos microeletrônicos. As principais tecnologias envolvidas são a produção de materiais semicondutores em escala de micrometros, processos de preparação e fabricação de *wafers*, encapsulamento, montagem e teste de componentes, ferramentas de projeto de circuitos complexos de microeletrônica auxiliada por computador (*Computer-Aided Design - CAD*) e robustez de circuitos perante interferências e radiações (BRASIL, 2003).

Uma tecnologia sensível e estratégica, também elencada nas TIDN, é a tecnologia espacial. Relacionada à área de Sistemas Espaciais, ela visa propiciar ao Brasil a capacidade de sondar o seu espaço aéreo em qualquer altitude, com quaisquer tipos de sensores, e de colocar em órbita terrestre satélites de quaisquer aplicações de interesse da Defesa Nacional, sendo capaz de ajudar o País na conquista do Poder Espacial.

Essa área estratégica trata do conjunto de tecnologias requeridas para o domínio do conhecimento, da capacidade de concepção, desenvolvimento, qualificação, produção, operação e acompanhamento de foguetes de sondagem, veículos lançadores de satélites, satélites e outros sistemas espaciais para aplicações de interesse da Defesa Nacional. Trata-se de área bastante verticalizada, com forte interação com muitas outras Áreas Estratégicas (BRASIL, 2003).

Outra área estratégica é a Navegação Automática de Precisão, que visa permitir à Defesa Nacional a capacidade de ter veículos ou artefatos aéreos navegando precisamente segundo trajetórias pré-definidas, de maneira controlada ou autônoma. Tem forte interação com as áreas de Nanotecnologia, Inteligência de Máquinas, Robótica e Computação (BRASIL, 2003).

5.4 ESTRATÉGIAS DE C,T&I ESPACIAIS NO ÂMBITO DO COMAER

No âmbito do Comando da Aeronáutica, os projetos relativos à atividade espacial desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) contribuem de maneira significativa para o desenvolvimento do Brasil. Com base nos esforços de P&D de tecnologias e competências críticas, para atender às necessidades do PNAE e das

ações estratégicas definidas pelo Ministério da Defesa (MD), o IAE tem conseguido superar os embargos internacionais no setor espacial.

Alinhado às diretrizes do MD, o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) apresentou seu Plano Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento, com enfoque na sustentabilidade organizacional e concebido para um horizonte temporal de onze anos, de 2008 a 2018 (BRASIL, 2007b).

Em relação à alocação de recursos financeiros para as atividades de P&D, observa-se uma oscilação, no volume e na frequência com que os mesmos são disponibilizados, como consequência das conjunturas política e econômica. Isso acarreta interrupções e atrasos não programados, gerando dificuldade para o cumprimento do que foi planejado e para a busca de caminhos alternativos na execução das tarefas.

No âmbito do COMAER, os assuntos de C,T&I permeiam diferentes documentos. Mas é sob a forma de diretrizes que as diferentes políticas definem os parâmetros para as ações e contemplam a relação com o ambiente externo. Essas diretrizes são a essência das ações de C,T&I no âmbito do DCTA, visto que o COMAER é membro ativo do Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais (SINDAE).

Conforme o PNAE, cabem ao DCTA a coordenação e a execução do Sistema de Transporte Espacial, as ações de implantação, operação e manutenção da infraestrutura associada e a coordenação e execução das atividades de P&D das tecnologias relacionadas.

Os resultados que o DCTA deve atingir no horizonte temporal de 2008 a 2018 estão expressos em cinco objetivos. Porém, o objetivo estratégico, “domínio de tecnologias aeroespaciais que atendam às necessidades da defesa nacional” é o mais relevante para este trabalho científico (BRASIL, 2005).

Pelo fato de a área de Defesa de um país estar intimamente ligada ao emprego do Poder Aeroespacial, é de suma importância pensar que o domínio de tecnologias voltadas para esse campo é um fator que assegura a dissuasão contra intenções agressivas à Nação. Entre as áreas de conhecimento consideradas de alta prioridade, destacam-se os Sistemas Espaciais, os Sensores Ativos e Passivos, a Microeletrônica e a Nanotecnologia de Interesse da Defesa Aeroespacial, o que denota a relevância deste trabalho científico.

5.5 ATIVIDADES E PROJETOS EM NANOTECNOLOGIA NO COMAER

Nos anos de 2006 e 2007, foram realizados *Workshops* técnico-científicos, no Instituto de Estudos Avançados

(IEAv), organização de pesquisa pertencente ao DCTA. O objetivo dos eventos foi mobilizar as comunidades científicas e empresariais, nas áreas de conhecimento nanotecnológico e aeroespacial, como parte das ações estratégicas do *Roadmap* de Nanotecnologia para o Setor Aeroespacial (BRASIL, 2006b).

O evento Nano Aeroespacial 2006 consistiu em palestras de especialistas do setor aeroespacial, de cientistas ligados às Redes de Nanotecnologia nacionais e representantes da indústria e agentes financiadores. No Nano Aeroespacial 2007, houve ainda a realização de debate sobre o tema “Micro e Nanotecnologia e a Inovação e Competitividade do Setor Aeroespacial”, com grande participação de membros dos setores acadêmico, industrial, financeiro e regulatório (BRASIL, 2007c).

Parceiras internacionais nessa conferência foram a *Canews Organization* e a *American Society of Mechanical Engineers*. A *Canews* é uma organização sem fins lucrativos, com sede no Canadá, que busca o desenvolvimento de cooperação internacional que leve à aplicação de micro e nanotecnologias no setor aeroespacial. O DCTA assinou carta de intenções com a *Canews*, que criou um grupo de trabalho para o desenvolvimento de cooperação com vistas à implementação de projetos técnicos internacionais e de programas educativos (BRASIL, 2007c).

Foram propostas várias ações, entre elas o aprofundamento dos contatos e articulação dos componentes da cadeia produtiva do setor aeroespacial; a inclusão de ações orçamentárias específicas no COMAER e no MCT (este via Ministério da Defesa e Coordenadoria de Micro e Nanotecnologias/Novas Tecnologias); a realização de um curso educacional voltado aos pesquisadores das redes de nanotecnologia do MCT e Institutos do Milênio, sobre como aplicar os resultados de pesquisa no setor aeroespacial; e o desenvolvimento de sensores em projetos de cooperação internacional (BRASIL, 2007c).

Na área de nanotecnologia, a rigor, existem dois projetos em andamento no âmbito do COMAER. Um deles é o desenvolvimento de sensores infravermelhos nanoestruturados. Outro projeto é o que trata da ablação de metais a *laser*, que produz partículas nanométricas em suspensão. Em miniaturização, existem vários outros trabalhos: grades de Bragg em fibras ópticas, fibras fotônicas, óptica integrada, cerâmicas magnéticas e MEMS/NEMS.

Na área de MEMS, existe o projeto AcelerAD que se destina a produzir acelerômetros MEMS. Estão sendo discutidas as viabilidades de projetos para produção de giroscópios a MEMS, mas esse deverá constituir-se em outro projeto ainda a ser aprovado. Existem iniciativas

privadas de projetos de colaboração para produção de MEMS no Brasil, porém ainda em fase de negociação.

6 ANÁLISE

A capacidade de determinar a escala das atividades inovadoras, as características das empresas inovadoras e os fatores internos e sistêmicos que podem influenciar a inovação é um pré-requisito para o desenvolvimento e a análise de políticas que visem incentivar a inovação tecnológica.

No tocante à pesquisa em C&T com o foco na indústria de Defesa, que sempre desempenhou um papel ativo na sustentação do desenvolvimento brasileiro, principalmente nos anos 80, vive-se hoje um período caracterizado pela redução da taxa de produtividade, devido à queda pronunciada das encomendas militares e do volume das exportações (BRASIL, 2003).

Tais fatos, que têm levado à falência e à obsolescência o parque industrial nacional ligado à fabricação de materiais de emprego militar, geram reflexos bastante negativos, principalmente sobre as pequenas e médias empresas, justamente as que mais investem, proporcionalmente, nos esforços de desenvolvimento bélico (BRASIL, 2003).

Inicialmente, em relação ao aspecto tecnológico, analisando-se as atividades de C,T&I na área da nanotecnologia, realizadas nos Estados Unidos e na União Europeia, verifica-se que elas se encontram em estágios bem mais avançados do que no Brasil. Não só no aspecto de P&D, mas na sua aplicação em projetos espaciais.

São vários os projetos patrocinados pela NASA/ESA, com centenas de patentes, muitos já em fase de testes, aguardando somente a avaliação de desempenho em voos espaciais, enquanto, no Brasil, os projetos, além de serem em número reduzido, ainda se encontram em fases iniciais, sem previsão de testes em voos orbitais ou suborbitais.

No Brasil, um gargalo para o desenvolvimento da nanotecnologia para o setor aeroespacial é que a pesquisa implementada nesse setor ocorre somente em três institutos: o Instituto de Estudos Avançados (IEAv), pertencente ao DCTA/COMAER; o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão vinculado ao MCT, e o Instituto de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), que está envolvido na pesquisa de Nanotubos de Carbono (MALTA, 2003). As demais pesquisas em nanotecnologia estão espalhadas nas redes multidisciplinares em outros institutos de pesquisa, porém não aplicadas em projetos espaciais.

Em relação às estratégias de desenvolvimento da nanotecnologia e sua implantação em projetos espaciais, o Brasil vem seguindo os mesmos passos adotados pela NASA e pela ESA, embora em dimensões e velocidades

menores, devido à diferença no aporte de recursos e investimentos, discutida mais adiante.

Grupos de cientistas e pesquisadores reuniram-se a fim de traçarem estudos prospectivos, com vistas à elaboração de planos estratégicos para a capacitação do País em nanotecnologia. Foram definidos objetivos e ações em P&D na área espacial, tendo em vista o atendimento às diretrizes estratégicas definidas no PNAE, entre as quais se encontra o fomento de pesquisas destinadas ao desenvolvimento e à aplicação de tecnologias de caráter estratégico para os sistemas espaciais de interesse nacional.

Entretanto, no Brasil, é notória a defasagem temporal na implantação dessas diretrizes estratégicas no setor espacial em comparação aos países mais desenvolvidos, o que é uma consequência direta da defasagem tecnológica existente no que tange aos projetos espaciais.

Em relação aos investimentos realizados, o Brasil, atendendo à sua necessidade de investir em vários setores da sociedade, aloca seus recursos financeiros por um processo de negociação, em que a área de C,T&I concorre com as demais prioridades nacionais e, por isso, enfrenta dificuldades em obter os seus recursos orçamentários.

O Brasil, nos últimos anos, vem realizando investimentos ainda muito reduzidos na área de C,T&I, se comparados aos bilionários investimentos aplicados pelos norte-americanos e pelos países da União Europeia que dominam a tecnologia espacial, uma diferença mais ainda acentuada se comparados os investimentos em relação à nanotecnologia (INVERNIZZI, 2007).

A análise que se pode realizar sobre os dados levantados, comparados os investimentos dos Estados Unidos (NASA), da União Europeia (ESA) e do Brasil (AEB/MCT e DCTA/COMAER), denota a importância que a NASA e a ESA atribuem à inovação tecnológica. São investimentos anuais de bilhões de dólares na área de C,T&I, numa busca constante por novas tecnologias, com o objetivo de manter-se a supremacia militar no mundo e agregar-se a conquista da supremacia espacial.

A despeito das divergências nos aportes em investimentos, os Estados Unidos e a União Europeia realizaram estudos e planejamentos estratégicos para a implantação da nanotecnologia no setor espacial e efetivaram parcerias público-privadas com empresas de alta tecnologia, que são em número muito maior, com mais recursos, mais desenvolvidas e bem mais avançadas que as existentes no Brasil.

Também é relevante, para esta análise, o fato de que os Estados Unidos e a União Europeia encontram-se

nesse processo de elevados investimentos em C,T&I já há várias décadas, motivados pela corrida espacial e pelo desenvolvimento armamentista. Com a globalização dos mercados, o desenvolvimento de produtos também passou a exigir investimentos e inovações constantes para atender ao mercado de forma competitiva.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O avanço da tecnologia, que se reflete no desenvolvimento econômico, assume, atualmente, um papel estratégico e insubstituível no progresso e no posicionamento mundial das nações. A importância da área de C,T&I pode ser observada no papel que o domínio aeroespacial assume na ampliação da geopolítica das nações internacionalmente mais influentes.

Entretanto, os países que se encontram em estágios mais avançados no domínio das tecnologias críticas, voltadas para a área de Defesa e espaço, diante do potencial crescimento do Brasil, ampliaram as restrições comerciais e de acesso às tecnologias de Defesa e de uso aeroespacial, mediante mecanismos internacionais de controle de exportação e de transferência de tecnologias sensíveis.

Procurou-se analisar como vem sendo aplicada a nanotecnologia em projetos do setor espacial no mundo, em comparação ao que vem sendo realizado no Brasil, com foco no âmbito do COMAER.

Como desdobramento desta análise, ressalta-se que este trabalho proporcionou um maior conhecimento sobre os aspectos relacionados à implantação da nanotecnologia em projetos espaciais, o que pode contribuir para a conquista da superioridade ou supremacia espacial, um fator estratégico para a soberania de um país.

Quanto às estratégias de implantação da nanotecnologia no setor espacial, embora o Brasil esteja trilhando os mesmos caminhos dos EUA e da UE, há uma grande defasagem temporal daquele em relação a estes, o que é uma consequência direta da defasagem em relação aos projetos espaciais.

Além disso, a NASA e a ESA efetivaram parcerias público-privadas com empresas de alta tecnologia, que possuem muito mais recursos, são mais desenvolvidas e, tecnologicamente, bem mais avançadas que as existentes no Brasil.

No Brasil, na última década, os investimentos em C,T&I para aplicações espaciais foram quase insignificantes em comparação aos bilionários investimentos aplicados pelos EUA e pelos países da UE que dominam a tecnologia espacial, pois que,

em dez anos, foram investidos 9,5% do investimento anual nos EUA (\$1,5 bi/ano) e 6,3% (\$1 bi/ano) do investimento na UE.

É evidente a importância que a NASA e a ESA atribuem à inovação tecnológica. São investimentos anuais de bilhões de dólares na área de C,T&I, em uma busca constante por novas tecnologias, em favor da corrida espacial e pelo desenvolvimento armamentista, com o objetivo de manter-se a supremacia militar no mundo e agregar-se a conquista da supremacia espacial.

Contudo, essa defasagem é inconcebível para um país que deseja dominar tecnologias sensíveis para a área de defesa e espaço, conquistar o *status* de nação tecnologicamente autossuficiente e crescer de maneira sustentável, acompanhando os outros países do BRIC.

É importante ressaltar que a defasagem do Brasil, tanto na estratégia, quanto em investimentos em C,T&I, vai de encontro ao previsto por Janushkowsky, citado na fundamentação teórica deste trabalho, por meio da qual ele afirma que, para a conquista do poder espacial, deve haver uma busca contínua por melhores tecnologias espaciais (JUSSEL, 1998).

Mesmo o Brasil tendo competência internacionalmente reconhecida na área espacial, se o país almeja a conquista do seu lugar entre os países que dominam tecnologias críticas primordiais à defesa dos seus interesses nacionais, é vital que, além de serem definidas estratégias para a área de C,T&I, elas sejam perseguidas e implementadas na prática, a despeito de quaisquer dificuldades, visto tratar-se de uma questão de soberania nacional.

Para que essas estratégias possam ser implementadas com a eficácia e a eficiência almejadas, é imprescindível, entre outros fatores, o aporte contínuo de recursos financeiros oriundos dos principais agentes: governo e setor empresarial.

Além disso, ao investir-se mais em P&D e em C,T&I para defesa e espaço, os projetos, no âmbito do COMAER, serão beneficiados com as tecnologias inovadoras, como a nanotecnologia. O desenvolvimento e a implantação de microsistemas baseados em MEMS, nos projetos espaciais, poderão propiciar uma redução drástica na massa e no volume dos veículos e artefatos espaciais, o que, por consequência, poderá resultar em maior eficiência dos motores foguetes, além da independência tecnológica.

Como trabalhos futuros, para uma análise mais profunda do cenário nacional em C,T&I, sugere-se a aplicação da Família Frascati, de manuais, ou ainda do Manual de Bogotá, que é mais adequado à realidade econômica do Brasil (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 1997).

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Agência Espacial Brasileira. **PNAE: Programa Nacional de Atividades Espaciais 2005-2014**. Brasília, 2005.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Ciência Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional: Plano de Ação 2007-2010**. 2007a. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0203/203406.pdf>. Acesso em: 03 maio 2010.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Nanotecnologia investimentos, resultados e demandas**. [S. l.], 2006a. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19536.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. **Plano Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento 2008-2018: DCA 80-2**. Brasília, DF, 2007b.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Estudos Avançados. **Relatório do 2º Workshop em Nanotecnologia Aeroespacial**. São José dos Campos, 2006b.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Estudos Avançados. **Relatório do 3º Workshop em Nanotecnologia Aeroespacial**. São José dos Campos, 2007c.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Ciência, Tecnologia e Inovação de Interesse da Defesa Nacional: concepção estratégica**. Brasília, 2003. 56p.
- DOLMAN, E. C. **Astropolitik: classical geopolitics in the space age**. Florida: Taylor&Francis, 2005.
- DREXLER, K. E. **Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation**. New York: Wiley, 1992.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Air Command and Staff College. **AU-18 Space Primer**. Alabama: Air University Press, 2009a.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Air Force Institute of Technology. **Critical Technologies for National Defense**. Washington D.C.: AIAA Education Series, 1991.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Department of Defense. **Military Critical Technology List: MCTL**. Parts I and III. 2009b. Disponível em <<http://www.dtic.mil/mctl/>>. Acesso em: 15 abr. 2010.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. United States Air Force. **Global Engagement: A Vision for the 21st Century Air Force**. 1996. Disponível em: <<http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/global/global.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2010.
- ESTEC. **WTEC report**. In: ESTEC, European Space Technology Center of the European Space Agency (ESA). 1999. Disponível em: <http://www.wtec.org/loyola/satcom2/b_09.htm>. Acesso em: 10 jun. 2010.
- FEYNMAN, R. P. **There's plenty of room at the bottom**. In: Annual Meeting of the American Physical Society, 1959. Disponível em: <<http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>>. Acesso em: 08 abr. 2010.
- FOSTER, L. E. **Nanotechnology: science, innovation, and opportunity**. New Jersey: Prentice Hall, 2009.
- GEORGE, T. **Overview of MEMS/NEMS Technology Development for Space Applications at NASA/JPL: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology**. Pasadena, 2001. Disponível em: <<http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/7152/1/03-0780.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2010.
- INVERNIZZI, N. **Brazilian scientists embrace nanotechnologies**. 2007. Disponível em: <<http://estudiosdeldesarrollo.net/relans/documentos/Visions-Brazil.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2010.
- JUSSEL, J.J. **Space Power Theory: a rising star**. 1998. 70 f. Research Report (Graduation) - Air Command and Staff College, Air University, Maxwell AFB, Alabama, 1998.
- MALTA, O. L., **Nanotechnology research and training requirements for sustainable development in the countries of younger industrialization**. In: EURONANOFORUM 2003. European Commission, Brussels, 2003. Disponível em: <<http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/euronanoforum.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- OBBERG, J. E. **Space Power Theory**. [S. l.]: US Air Force Academy, 1999. 172p.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Manual de Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**. 3.ed. [S.l.]: OECD/Eurostat, 1997.
- OSIANDER, R. et al. **MEMS and microstructures in aerospace applications**. Florida, USA: CRC Press, 2006.
- LUPTON, D.E. **On Space Warfare: A Space Power Doctrine**. Alabama: Air University Press, 1998.
- SHEA, H.R. **MEMS for pico- to micro-satellites**. In: EURONANOFORUM 2009 - European Commission, Prague Congress Centre, Czech Republic, 2009. Disponível em: <<http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/euronanoforum.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2010.
- SOUZA, W. Ciência e tecnologia no Brasil: a evolução do financiamento. **Jornal Monitor Mercantil Digital**, Rio

de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.monitormercantil.com.br/mostranoticia.php?id=57569>>. Acesso em: 28 jun. 2010.

SPACESHIPONE. In: Wikipedia. Disponível em:<<http://pt.wikipedia.org/wiki/SpaceShipOne>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

UNIÃO EUROPEIA. German Aerospace Center (DLR). **Applications of Nanotechnology in Space Developments and Systems**. Düsseldorf, Germany: VDI Technology

Center, Future Technologies Division. 2003. Disponível em: <<http://media.nanotech-now.com/pdf/space-nanotechnology-VDI.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2010.

UNIÃO EUROPEIA. **Public Funding of Nanotechnology: Economic Report**. Observatory Nano. 2010. Disponível em:<http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/ObservatoryNano_Nanotechnologies_EconomicReport_2010.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2010.