



Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto – Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

**Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial
Ano 1, Número 1**

Reservado

Atividade – Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto – Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial
Ano 1, Número 1

CUBESATS

Reservado



Brasília, DF
Dezembro, 2017

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Diretor Executivo no exercício da Presidência
Marcio de Miranda Santos

Diretores
Antonio Carlos Filgueira Galvão
Gerson Gomes

Relatório Anual 2017. Projeto – Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE. In: Atividade – Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017.

75 p. : il.

1. Tecnologias espaciais. 2. Relatório anual. I. CUBESATS . II. CGEE.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
SCS Quadra 9 – Torre C – 4º andar – salas 401 a 405
Edifício Parque Cidade Corporate
70308-200 - Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgEE.org.br>

Este relatório é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 13º Termo Aditivo, Atividade: Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação / Projeto: Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE – 56.02.80.01/MCTIC/2016.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos neste relatório poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Atividade – Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto – Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial Ano 1, Número 1 - CUBESATS

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Equipe técnica do CGEE

Thyrso Villela Neto (Coordenador)

Alessandra de Moura Brandão

César Augusto Costa

Apoio administrativo

Ivone Alves de Oliveira Lopes

Sumário

Sumário.....	6
Apresentação.....	8
<i>Cubesats</i> : uma breve introdução	9
Aplicações	14
Física espacial e aeronomia.....	14
Astronomia e Astrofísica	15
Biologia 16	
Observação da Terra e clima.....	16
Meio ambiente	17
Agricultura.....	17
Recursos minerais e hídricos.....	18
Cartografia (georreferenciamento).....	18
Defesa.....	18
Controle de fronteiras.....	19
Atividades de inteligência (IMINT – <i>Imagery intelligence</i>).....	19
Educação e treinamento rápido de recursos humanos	19
Desenvolvimento tecnológico.....	20
Telecomunicações	20
Benefícios.....	21
Normalização	22
Lançamento, órbitas e vida útil	23
Serviço de lançamento e acessórios.....	25
Estações de solo para recebimento de sinais.....	27
Operações em solo	28
<i>Cubesats</i> em números	29
<i>Cubesats</i> : informações técnico-científicas	31
<i>Cubesats</i> : veículos lançadores.....	37
<i>Cubesats</i> : notícias	43
<i>Cubesats</i> : empresas	46
<i>Cubesats</i> : cooperação internacional.....	48
<i>Cubesats</i> : situação brasileira	50

Alguns desenvolvimentos nacionais na área de <i>cubesats</i>	54
<i>Cubesats</i> : recursos humanos disponíveis no País.....	58
Recomendações.....	60
Conclusões.....	66
Dicionário de siglas e acrônimos	70
Referências	74

Apresentação

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) desenvolveu um projeto denominado Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) com o propósito de acompanhar o desenvolvimento e a evolução de tecnologias espaciais no mundo. O OTE tem como objetivo identificar tendências e oportunidades tecnológicas nesse setor e gerar informações sobre tecnologias consideradas críticas para o Programa Espacial Brasileiro (PEB). As informações obtidas pelo OTE são compiladas em relatórios periódicos enviados ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e podem apoiar os tomadores de decisão no âmbito do Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (SINDAE), coordenado pela Agência Espacial Brasileira (AEB). Além disso, o OTE sugere ações que possam auxiliar processos de gestão tecnológica e de estabelecimento de estratégias de domínio tecnológico para o setor espacial brasileiro.

Resumidamente, o OTE aplica o conceito de inteligência tecnológica para programar as suas observações e usa metodologias próprias ou adaptadas para auxiliar o processo de análise dessas observações, de forma a transformá-las em informações que possam ser úteis para os gestores tecnológicos do setor espacial brasileiro. Nesse contexto, o OTE detectou um aumento expressivo nos últimos anos do uso de pequenos satélites, conhecidos como *cubesats*, para atender demandas por aplicações espaciais em vários países, em especial as relacionadas ao sensoriamento remoto da Terra. Em função disso, o tema *cubesats* foi escolhido para ser o primeiro a ser tratado na série “Documentos Estratégicos para o Setor Espacial”, produzida pelo CGEE.

No presente documento é apresentada parte do trabalho conduzido pelo OTE em 2017, quando foram coletadas e analisadas informações sobre esse novo paradigma no setor espacial. Naturalmente, em função da grande quantidade de informações coletadas, este documento não tem como propósito ser completo em relação às informações sobre *cubesats*, ou seja, apresentar todos os dados obtidos. Eles se encontram nas bases de dados do CGEE e estão disponíveis para qualquer consulta que se fizer necessária.

Por outro lado, deseja-se fornecer uma visão geral sobre as características e capacidades dos sistemas baseados em *cubesats* e sobre o que eles representam para o desenvolvimento do setor espacial brasileiro, em termos científicos, tecnológicos e de formação de recursos humanos.

Cubesats: uma breve introdução

O termo *cubesat* é um acrônimo formado pela palavra *cube* (cubo, em inglês) e acrescida das três primeiras letras da palavra satélite. É usado para designar um satélite de pequeno porte em forma de um cubo, cuja aresta mede 10 centímetros e que obedece ao padrão *cubesat* descrito por uma especificação de domínio público (CAL POLY, 2014). Uma unidade *cubesat* (1U) tem um volume de um litro, confinado em um módulo com massa de até 1,3 quilogramas. Essas unidades podem ser combinadas para desenvolver satélites com maior capacidade (3U ou 6U, por exemplo).

Os altos custos das missões espaciais, acentuados principalmente pelos custos de seus lançamentos, desencadearam uma corrida por melhorias na confiabilidade dos satélites. Porém, o aumento da confiabilidade está intimamente associado a maiores custos, pois exige que os sistemas sejam testados para que suportem da melhor forma possível o ambiente espacial, o que gera um sistema realimentado: o aumento do custo gera demanda por mais confiabilidade, que implica maior elevação de custos.

O conceito de *cubesats* desafia essa espiral crescente de custo, ao adotar uma filosofia de aceitação de alguns riscos e se utilizar da miniaturização de componentes, com uso maciço de eletrônica comercial, ou seja, sem qualificação para uso no espaço. A perda de confiabilidade é superada pela possibilidade de se construir rapidamente diversos satélites, cujo custo de lançamento é pequeno em virtude das pequenas dimensões dos sistemas e da possibilidade de serem lançados como carga secundária ou com vários satélites em um único foguete.

Concebidos inicialmente para servir de projetos a alunos de graduação em engenharia, de forma a propiciar que eles pudessem participar, durante o curso, de atividades envolvidas no planejamento, execução e operação de uma missão espacial real, os *cubesats* migraram rapidamente da academia para as empresas. De certa forma, além de representarem uma inovação interessante na área espacial, eles também representam uma inovação no modelo de negócios a eles associados, uma vez que as maiores iniciativas estão fora do âmbito dos governos e suas respectivas agências espaciais. Apenas recentemente é que, percebendo a importância dessas plataformas, algumas agências espaciais resolveram implantar ações relacionadas aos *cubesats*. Recentemente, o número de *cubesats* lançados por ano superou o número de satélites convencionais.

Os *cubesats* foram idealizados por Jordi Puig-Suari (California Polytechnic State University) e Bob Twiggs (Stanford University) em 1999 (e.g. Twiggs, 2008), com o intuito de fornecer a alunos de graduação e de pós-graduação a oportunidade de

participar do desenho, construção, testes e operação de uma espaçonave com características similares aos primeiros satélites lançados.

As principais características dos *cubesats* são:

- Satélites compostos por unidades padronizadas cúbicas de 1U (100 x 100 x 100 mm), formando composições de 2U, 3U, etc.
- Uso de sistemas de ejeção em órbita, denominados de P-POD (*Poly Picosatellite Orbital Deployer*), capazes de liberar diversos satélites pela mesma interface. Existem P-POD comerciais destinados a satélites 1U, 2U, 3U e 6U.
- Uso de componentes eletrônicos comerciais (COTS) nos subsistemas de bordo, não necessariamente qualificados para uso espacial.

Na Figura 1 são mostradas as dimensões de um *cubesat* e suas configurações usuais.

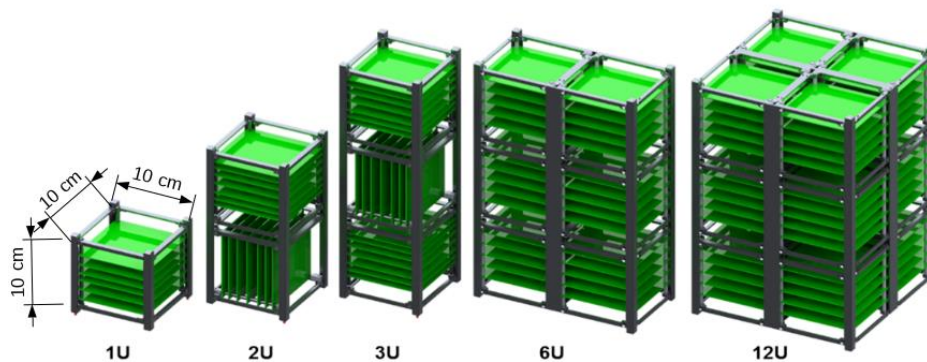


Fig. 1: Algumas configurações de *cubesats*. Crédito: adaptado de Radius Space.

Na Figura 2 é mostrada uma unidade de *cubesat* (1U) real com alguns de seus componentes já integrados.



Fig. 2: *Cubesat* 1U. Crédito: OTE.

Cubesats fazem parte da categoria dos nanossatélites, dentro da classe conhecida como satélites de pequeno porte, com massa de até 10 kg. Na Figura 3 é mostrada, para efeito de comparação, a classificação de alguns satélites conforme sua massa.

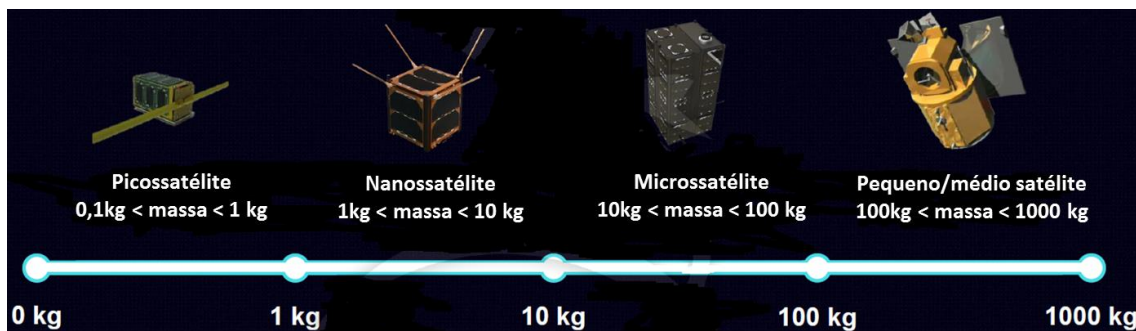


Fig. 3: Algumas categorias de satélites de acordo com sua massa.

Além dessas características físicas que limitam os volumes disponíveis para as cargas úteis, deve ser levada em consideração a disponibilidade de energia elétrica, que dificilmente ultrapassa algumas dezenas de watts, dado o tamanho limitado dos painéis solares, mesmo considerando a possibilidade de extensão desses painéis após o lançamento. Em alguns casos são usadas baterias recarregáveis e em outros, como nos casos de missões de curta duração, são usadas baterias simples. Em geral, os tipos mais comuns de baterias usados em *cubesats* são os de Li-ion e Li-polymer.

Diferentes instituições ao redor do mundo estão envolvidas no desenvolvimento e utilização de satélites de pequeno porte, incluindo os *cubesats*. Universidades continuam sendo um grande motor desse desenvolvimento, mas, atualmente, empresas como Planet Labs e OneWeb já estão alterando essa situação e

revolucionando o mercado de satélites com o oferecimento de serviços em áreas tradicionalmente dominadas por grandes companhias comerciais. Demandas por aplicações espaciais, como sensoriamento remoto da Terra, telecomunicações, ciência de um modo geral e defesa, podem hoje ser atendidas por alternativas interessantes às formas tradicionais com a possibilidade de utilização de satélites mais baratos e de curto tempo de desenvolvimento.

Os *cubesats* deixaram de ser uma tecnologia com fins meramente educacionais e acadêmicos para se tornar atrativa para uso por organizações comerciais e militares. Esses números e fatos indicam que os *cubesats* se tornaram uma forte tendência no setor espacial que, além do mais, traz consigo um considerável potencial inovador e disruptivo, pois, em função dos baixos custos de desenvolvimento e de lançamento desses satélites, diversas aplicações espaciais passaram a ser acessíveis a países e instituições que não tinham acesso ao espaço. Uma compilação acerca do estado da arte de várias tecnologias relacionadas a esse tipo de artefato pode ser encontrada em NASA (2015).

Cubesats são utilizados para realizar pequenos experimentos no espaço, coletar dados ambientais, obter imagens da Terra, além de diversas outras aplicações. Embora eles ainda careçam da confiabilidade atingida com satélites de grande porte, o baixo custo de produção e lançamento dos *cubesats* oferece oportunidades de testar em órbita novos sistemas e novas tecnologias, ou mesmo testar um novo modelo de um equipamento já existente. Alguns *cubesats* capturam imagens da Terra para uso comercial e há também aqueles devotados a atividades de defesa e de ciência de um modo geral. Seu baixo custo de desenvolvimento, lançamento e operação tem atraído interesse de diversas nações que desejam ingressar na área espacial, incluindo o Brasil.

As diferentes aplicações para as quais os *cubesats* foram dedicados, as instituições e países envolvidos nos seus desenvolvimentos, o número de objetos lançados e a produção técnico-científica, incluindo patentes, mostram que o interesse nesse tipo de artefato tem aumentado de forma significativa nos últimos anos e que essa tendência tem se consolidado nos EUA e transbordado para outros países (e.g. SWARTWOUT 2013).

Os *cubesats* são também o expoente de uma tendência recente de miniaturização dos satélites. Em muitas ocasiões, o progresso tecnológico permitiu reduções significativas no volume dos mais variados equipamentos, tais como relógios, computadores e componentes eletrônicos em geral. Mas, só recentemente, com o advento do padrão *cubesat*, é que essa tendência começou a ser também observada em equipamentos espaciais.

Por exemplo, tomando como base de comparação o ano de 2005, verifica-se que em 2015, após uma década de atividades, o número de *cubesats* colocados em operação experimentou um aumento que variou de 1 novo *cubesat* em operação a cada 4 meses para 1 novo *cubesat* em operação a cada 3 dias. Nesse mesmo período, o número de publicações técnico-científicas, de acordo com a base de dados Scopus, aumentou de 32 para 234 e o número de depósitos de patentes, de acordo com a base EPO (*European Patent Office*), passou de 1 para 33.

Os *cubesats*, por obedecerem a uma nova lógica de desenvolvimento, na qual a confiabilidade e, conseqüentemente, os custos de construção e de testes podem ser diminuídos sem comprometer as missões para as quais são projetados, permitem que os tempos de desenvolvimento dessas missões sejam igualmente reduzidos e que os projetos sejam conduzidos por equipes pequenas e com custos baixos, se comparados às missões tradicionais de satélites.

Na Tabela 1 é apresentada a comparação entre a metodologia tradicional e a aplicada aos satélites de pequeno porte. Comparando-se os dados apresentados nesta tabela é fácil perceber que os *cubesats* aparecem como uma excelente opção quando se deseja um retorno rápido a baixo custo, apesar dos riscos associados.

Tabela 1 – Comparação das metodologias utilizadas no projeto de satélites

Satélites tradicionais	<i>Lean satellites</i>
Metodologias bem estabelecidas de desenvolvimento (e.g. ECSS)	Metodologias inovadoras de desenvolvimento
Aversão ao risco	Tolerância ao risco
Requisitos rigorosos de confiabilidade	Requisitos flexíveis de confiabilidade
Uso de equipamentos qualificados para a atividade espacial	Uso extensivo de componentes COTS (<i>commercial off-the-shelf</i>)
Série extensa de testes	Otimização de testes
Maiores custos, prazos e equipes	Menores custos, prazos e equipes

Os *cubesats* estão sendo desenvolvidos por meio de uma arquitetura aberta para os subsistemas mais comuns, o que favorece o conceito de “containerização” e facilita o uso de módulos, tanto para o desenvolvimento de missões quanto para o lançamento dos satélites ao espaço. Essa padronização das funcionalidades por módulos simplifica a metodologia de testes, fornece flexibilidade de lançamento e tem atraído a atenção dos mais variados *stakeholders*, em diversos nichos de aplicações e de mercado. Outra característica atraente para a adoção de *cubesats* é o emprego de componentes comerciais de uso rotineiro conhecidos como *commercial off-the-shelf* (Cots), que

contribuem para a diminuição do custo e do tempo de desenvolvimento de missões espaciais.

Aplicações

Os *cubesats* vêm sendo utilizados para diferentes aplicações espaciais, que vão desde o treinamento de estudantes e profissionais da área espacial, passando por obtenção de dados científicos até missões puramente comerciais. Várias aplicações científicas podem se beneficiar do uso de *cubesats*, como aeronomia, geofísica espacial e astronomia (NAS 2016). Há também aplicações direcionadas ao sensoriamento remoto da Terra (e.g. SELVA; KREJCI, 2012). *Cubesats* podem ser utilizados para promover o desenvolvimento do setor espacial brasileiro de várias formas (VILLELA *et alii.* 2016).

Física espacial e aeronomia

Em física solar e física espacial, o estudo de fenômenos que ocorrem na superfície do Sol tem apresentado um avanço importante nas últimas décadas. Hoje, se sabe muito do que ocorre no Sol e como esses fenômenos podem afetar a Terra. Um exemplo é a ejeção de massa coronal, que é basicamente um jato de partículas carregadas que atinge a Terra e que pode ter enormes consequências econômicas, podendo danificar, algumas vezes de forma irreversível, satélites, redes elétricas, sistemas eletrônicos e de telecomunicações. A utilização de *cubesats* no limite da atmosfera terrestre, na ionosfera ou na magnetosfera, pode medir processos no plasma e fornecer detalhes sobre a evolução espacial e temporal das interações Sol-Terra. Este tipo de interação é comumente chamado de clima espacial. No Brasil já existem alguns projetos para o monitoramento do clima espacial. Uma proposta do Marshall Space Flight Center em parceria com o ITA, o INPE e as universidades americanas de Utah, do Alabama (em Huntsville) e do Texas (em Dallas) com o propósito de desenvolver um satélite de pequeno porte, foi selecionada dentre mais de 70 propostas. O projeto visa o lançamento de um *cubesat* 6U para o monitoramento da ionosfera terrestre. O objetivo principal é estudar a ionização de camadas entre 50 km e 100 km de altitude da atmosfera causada pela interação dos componentes dessas camadas com a radiação solar, e a consequente formação de bolhas de plasma que podem interferir em transmissão de rádio e recepção de sinais de GPS, por exemplo.

Cubesats apresentam uma oportunidade interessante para realizar monitoramento *in situ* do ambiente espacial (o que inclui a termosfera, ionosfera e magnetosfera), de forma rápida e com baixos custos. Em suma, são grandes as possibilidades de uso de *cubesats* para estudos em pesquisas atmosféricas (e.g. NSF 2016).

Astronomia e Astrofísica

Em astronomia e astrofísica, o estudo de exoplanetas pode ser beneficiado pela utilização de *cubesats*. A busca por planetas fora do Sistema Solar tem evoluído muito na última década, com várias missões utilizando grandes satélites para observar o céu em busca desses corpos celestes como, por exemplo, o telescópio Kepler, que já confirmou mais de 2.300 exoplanetas, 30 deles menores que duas Terras e na zona habitável. Porém, estas observações são feitas em curtos períodos e detectam somente os planetas mais próximos à estrela. Um *cubesat* dedicado poderia apontar para uma dada região do espaço e observar (*stop and stare*) uma estrela por um longo tempo na procura por exoplanetas em trânsito entre o satélite e a estrela.

Uma rede de *cubesats* distribuída em torno da Terra poderia explorar o espaço local, bem como toda a Galáxia e fontes extragalácticas com diferentes instrumentos. Esses experimentos que podem ser realizados nas mais variadas bandas espectrais, o que ampliaria nosso conhecimento sobre o Universo, em uma era onde a astronomia multimessageira¹ desponta.

Os *cubesats* também podem ser utilizados como naves-filhas sendo lançadas de espaçonaves maiores para investigar *in situ* a atmosfera e a superfície de planetas, asteroides e cometas, expandindo as capacidades do escopo da nave-mãe complementando a exploração. Uma constelação de *cubesats* pode fornecer informações sobre o campo magnético ou partículas, em diversas localidades de magnetosferas planetárias, indicando, por exemplo, a existência de oceanos profundos sob a superfície de gelo dos planetas e luas.

Várias questões científicas que dizem respeito à astrofísica podem ser estudadas por meio de instrumentos embarcados em *cubesats*, como, por exemplo, as relacionadas à astronomia de raios X (investigação do ruído de fundo difuso, imagens de fontes com instrumentos de máscara codificada), cosmologia, etc.

¹ Astronomia multimessageira é o termo utilizado para descrever a observação de um mesmo fenômeno astronômico em várias bandas do espectro eletromagnético, partículas e, atualmente, inclui ondas gravitacionais.

Biologia

Os *cubesats* podem ser uma plataforma excelente para investigar os efeitos biológicos relacionados à permanência de organismos vivos no espaço por longos períodos. *Cubesats* contendo amostras e instrumentos de monitoramento poderiam ser lançados ao espaço profundo, para estudar os efeitos devido à microgravidade e à exposição a altos níveis de radiação nessas amostras.

Observação da Terra e clima

O imageamento da superfície terrestre por *cubesats* em diferentes bandas espectrais fornece uma gama imensa de possibilidades para sensoriamento remoto de grandes áreas ou de regiões de difícil acesso. Uma grande variedade de produtos pode ser gerada via sensoriamento por *cubesats*. A faceta mais interessante do uso de *cubesats* para sensoriamento remoto da Terra está associada à forma rápida como eles podem ser desenvolvidos e lançados para cumprir tarefas específicas, como avaliar desastres naturais, etc. Essa é uma grande vantagem em relação ao desenvolvimento de satélites de grande porte, que demoram, em geral, alguns anos para ser desenvolvidos.

A observação da superfície terrestre tem sido o elemento de destaque no desenvolvimento dos *cubesats*. Vê-se o exemplo da empresa Planet Labs, que utiliza uma constelação de *cubesats*, conhecidos como Dove, para realizar o imageamento da Terra. Atualmente, essa constelação é capaz de imagear uma mesma localização na superfície terrestre pelo menos uma vez por dia, com uma resolução de 3 a 5 metros. Em função de essa constelação ter sido colocada em órbita baixa, é possível observar processos que variam de forma rápida, como tempestades severas, que são pouco amostradas por satélites heliossíncronos. A utilização de *cubesats* para esse fim diminui custos e mitiga a falta de informação, cobrindo lacunas observacionais do clima, da superfície terrestre e de medidas de irradiância solar, por meio do monitoramento contínuo desses processos.

Algumas aplicações de satélites, como sensoriamento remoto da Terra com alta resolução angular, aparentemente não seriam possíveis de ser implementadas com *cubesats* por causa da limitação das dimensões físicas inerente a esse tipo de plataforma. A resolução angular de sistemas imageadores depende das dimensões da superfície coletora de radiação. Assim, satélites de grandes dimensões podem, igualmente, acomodar sistemas imageadores de grandes dimensões e gerar imagens de alta resolução angular. Por outro lado, se houver esforços para o desenvolvimento de outros tipos de abordagem tecnológica para alcançar altas resoluções angulares, como soluções baseadas em algoritmos para processar imagens obtidas em diferentes passagens dos satélites, espelhos que se abrem no espaço após o lançamento do

cubesat, projetos ópticos mais elaborados, entre outros, é possível, em princípio, alcançar altas resoluções angulares com *cubesats*. Aliás, algumas dessas tecnologias já estão atualmente em uso, sendo possível obter resoluções no solo da ordem de 4 m, como as que são conseguidas pelos Dove da Planet.

Meio ambiente

O imageamento constante e multiespectral do território pode contribuir para o desenvolvimento sustentável da nação, não só no monitoramento de áreas desmatadas e de queimadas, mas também para direcionar o desenvolvimento urbano. O sensoriamento remoto de áreas urbanas com resoluções da ordem de dezenas de metros, algo factível com *cubesats*, pode ser utilizado para o planejamento do desenvolvimento de municípios. Esses dados podem ser utilizados para determinar a composição do material, a cobertura superficial e o uso do terreno para este planejamento ou outros propósitos.

Além disso, o sensoriamento remoto por meio de *cubesats* pode ser útil para uma rápida resposta a desastres naturais, como enchentes, deslizamentos ou inundações costeiras. Neste contexto, os dados obtidos pelos *cubesats* podem ser usados para priorizar os esforços e prestar atendimento, fornecendo aos socorristas informações cruciais para as devidas ações de ajuda. Serve também para possibilitar a análise de áreas de riscos e estabelecer políticas para prevenção de alguns desastres.

Agricultura

Na agricultura, o imageamento realizado no visível ou no SWIR, por exemplo, pode auxiliar na determinação de áreas onde devem ser aplicados fungicidas ou pesticidas, estimar plantações danificadas por eventos climáticos severos, ou, ainda, acessar padrões topográficos e auxiliar no projeto de sistema drenagem para uma dada localidade. O monitoramento temporal e periódico da mesma área fornece dados que podem ser utilizados *on-demand* para estimativa de danos.

Câmeras no infravermelho próximo embarcadas em *cubesats* podem realizar o monitoramento de gases originários da decomposição orgânica, como metano e dióxido de carbono, possibilitando o controle da emissão destes gases pela atividade pecuária. O monitoramento de áreas costeiras pode ainda auxiliar em atividades de pesca e de extração de recursos marítimos.

Recursos minerais e hídricos

Cubesats, por serem uma plataforma com capacidade de resposta rápida, podem ser utilizados para mapear a distribuição de recursos hídricos e minerais de acordo com demandas de vários setores, principalmente os comerciais, que necessitam de informações constantes. Sensores a bordo de *cubesats* podem fornecer informações para a caracterização regional do balanço hídrico, quantificação em escala global do fluxo evaporativo, variações na umidade do solo e dinâmica de armazenamento de água, e suas relações com a dinâmica vegetal e oceânica. A distribuição de água pode ser monitorada com uma variedade de técnicas complementares, como a espectroscopia por nêutrons ou espectroscopia no infravermelho. Estas mesmas técnicas podem ser estendidas à prospecção de informações sobre recursos minerais.

Cartografia (georreferenciamento)

Cubesats com capacidades específicas de imageamento podem ser utilizados em conjunto com imageamento multiespectral e tecnologias de geoposicionamento, como GPS, para a obtenção de cartas topográficas e geográficas mais acuradas.

Defesa

A habilidade de monitorar a superfície terrestre a partir do espaço transforma os *cubesats* em uma alternativa barata e de rápida resposta para atividades ligadas à defesa territorial e à soberania nacional. Um exemplo do interesse que instituições ligadas à área de defesa têm demonstrado pelos *cubesats* é o lançamento pela NASA e NRO (*National Reconnaissance Office*), agência americana voltada a atividades de inteligência, de 13 *cubesats* em setembro de 2015 (9 para a NRO e 4 para a NASA).

As forças armadas americanas têm colaborado com universidades para o desenvolvimento de painéis solares que se armam no espaço fornecendo maior área de coleta de energia e, portanto, um maior suprimento de energia para os equipamentos dos *cubesats*. Tal desenvolvimento amplia sobremaneira o potencial de utilização dessas plataformas. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos tem considerado os *cubesats* como uma plataforma repleta de possibilidades para aplicações militares. Os *cubesats* estão se tornando rapidamente objeto de interesse de atividades de defesa, dado seu potencial de fornecer suporte operacional a missões militares.

Este interesse tem também transbordado as fronteiras de países desenvolvidos como os EUA. A Força Aérea Colombiana colocará em órbita um *cubesat* 3U, o FACSAT-1, que possui uma resolução de 30 metros e tem o intuito de monitorar o desenvolvimento

urbano e uso da terra, detecção de plantações ilegais, e resposta ao fogo e a outros desastres naturais. O projeto foi tão bem sucedido que um segundo satélite, agora um 6U, já está sendo produzido e será lançado em 2019.

Controle de fronteiras

O imageamento do solo com resolução de alguns metros e com periodicidade da ordem de dias possibilita o monitoramento preciso e contínuo das áreas fronteiriças. Isso permite ao Estado inferir atividades hostis nestas regiões e planejar estrategicamente a alocação de recursos para proteger áreas vulneráveis. Como consequência, é possível detectar pistas de pouso e estradas clandestinas, mesmo as abertas de forma temporária, com rapidez possibilitando a opugnação rápida e combate ofensivo ao contrabando e tráfico de ilícitos. Além disso, é possível determinar áreas de plantio de entorpecentes em regiões remotas, ou, ainda, ocultas por áreas de mata fechada e de difícil localização por terra. Essas tarefas podem ser cumpridas por meio de *cubesats*.

Atividades de inteligência (IMINT – *Imagery intelligence*)

Estações de monitoramento a bordo de *cubesats* podem fornecer diversos níveis de reconhecimento tático e estratégico, bem como impulsionar soluções em análise, otimização e melhorias na vigilância do território em tempo real. Pode-se, por exemplo, em missões táticas, detectar transmissões, capturando e localizando sinais inimigos (em caso de guerra ou ameaça), de traficantes de drogas e armas e de outros tipos de crime organizado, favorecendo a precisão e acurácia do planejamento de combate a tais atividades.

Educação e treinamento rápido de recursos humanos

Hoje, ao redor do mundo, existem projetos sendo executados para a construção de *cubesats* experimentais voltados à educação nos mais variados níveis de formação, dos estágios mais fundamentais aos mais avançados. A própria concepção inicial dos *cubesats* favorece sua aplicação para fins educacionais e fornece a oportunidade de serem desenvolvidas habilidades como trabalho em equipe e integração de sistemas. Eles oferecem a possibilidade de os estudantes serem expostos ao ciclo completo de gerenciamento e desenvolvimento de um projeto espacial.

O desenvolvimento, operação e análise de dados dos *cubesats* promove a educação científica e o desenvolvimento de várias tecnologias em países emergentes e em desenvolvimento, fato que tem conduzido universidades em diversos deles a se engajarem em programas de *cubesats*.

Aliando-se o caráter multidisciplinar do desenvolvimento de projeto e operação de um *cubesat* com a escala de tempo necessária para que o projeto se concretize, torna-se evidente o potencial da utilização do conceito de *cubesat* para fins de treinamento de recursos humanos. Facilmente, estudantes de graduação ou pós-graduação podem colaborar com o desenvolvimento e operação de um equipamento, dentro do período de formação, o que disponibiliza ao mercado recursos humanos capacitados e com experiência prática para atuar no setor.

Desenvolvimento tecnológico

Cubesats continuam servindo como plataforma demonstradora de tecnologias para aumentar o TRL (*Technology Readyness Level*) de elementos tecnológicos. Mas, claramente, percebe-se que os *cubesats* podem ir muito além disso, tornando-se um ferramental para aplicações espaciais de uso cotidiano em um futuro próximo.

A utilização de *cubesats* está mudando a face do setor espacial e está criando novas oportunidades para desenvolvimento de tecnologias espaciais. Os *cubesats* exigem equipamentos compactos, mas sem os requisitos rígidos normalmente exigidos por satélites de grande porte. A miniaturização de sistemas (*systems-on-chips*) é uma abordagem totalmente nova no setor espacial e tem influenciado a forma como tais componentes são integrados e embarcados. Inclusive sistemas de propulsão têm sido integrados de forma modular e compartilhada a placas de componentes eletrônicos que controlam outras funções desses nanosatélites.

Telecomunicações

Os *cubesats* se constituem em uma plataforma de baixo custo, se comparados a outras plataformas espaciais, para testar em órbita software e hardware relacionados a telecomunicações. Eles também podem ser empregados na caracterização e adaptação de protocolos de comunicação para o espaço.

Recentemente, a NASA lançou dois *cubesats* com o propósito de testar novos sistemas de comunicação e manobra. Um deles é o Optical Communications and Sensor Demonstration (OCSD), que se propõe a realizar *downlink* de dados para as estações em Terra de forma ultrarrápida utilizando lasers, em conjunto com uma opção de manobra para se colocar dois *cubesats* próximos um do outro. O outro serve para demonstração de outra nova tecnologia, o Integrated Solar Array and Reflectarray Antenna (ISARA), que é um novo tipo de antena que atua simultaneamente como painel solar e antena transmissora. O ISARA and OCSD refletem exatamente quão importantes estes pequenos satélites têm se tornado e como tal plataforma pode ser utilizada para o avanço tecnológico.

Benefícios

Os riscos associados ao uso desses artefatos espaciais, com confiabilidade menor que a exigida pela atual geração de satélites, são amplamente compensados pela possibilidade de rápida reposição desses pequenos satélites. Dessa forma, os *cubesats* despontam como uma inovação na área espacial, capaz de proporcionar a instituições e países que atualmente têm poucas possibilidades de usar as aplicações espaciais em seu benefício, oportunidades concretas de acesso ao espaço para atender essas necessidades (e.g. WOELLERT et alii, 2011). Essas dificuldades se devem, principalmente, aos altos custos de uma missão espacial e à necessidade de contar com ampla infraestrutura de testes e equipes numerosas.

Por outro lado, os *cubesats* apresentam benefícios que estão diretamente ligados à nova forma como os projetos de desenvolvimento vêm sendo geridos no mundo, que podem ser estendidos ao Brasil. Assim:

- 1) é possível unir as necessidades do cliente diretamente ao produto, algo que não é realizado nas missões espaciais nacionais;
- 2) desenvolver tecnologias de produtos espaciais, em graus incrementais de qualificação, de forma a contribuir para o estabelecimento de um programa de domínio de tecnologias críticas para o setor espacial brasileiro;
- 3) integrar equipes e empresas com diferentes domínios de conhecimento no desenvolvimento de produtos voltados a aplicações espaciais;
- 4) incentivar a indústria a participar do desenvolvimento de projetos tecnológicos espaciais completos; e
- 5) aumentar o valor agregado dos produtos fornecidos pelas empresas nacionais, de forma a capacitá-las para fornecer soluções para as necessidades nacionais de aplicações espaciais e também serem competidoras no mercado internacional do setor.

Um fator importante a ser considerado é que os *cubesats* geram uma demanda constante junto às empresas. Embora os valores monetários sejam menores do que os usuais do setor espacial, o fluxo contínuo de pedidos garante a manutenção de equipes e das empresas.

Em relação a satélites desenvolvidos com a metodologia tradicional de construção e testes, os *cubesats* apresentam custos e cronogramas muito menores e podem ser desenvolvidos por equipes pequenas.

Cubesats têm, dessa forma, um aspecto inovador que pode promover uma mudança de paradigma no setor espacial brasileiro, adequando-o à nova tendência mundial de

emprego de pequenos satélites para atender diferentes tipos de demandas. Dependendo da aplicação, um *cubesat* pode ser completamente desenvolvido em um período inferior a 18 meses e chegar a custar menos de US\$ 100 mil. Essa enorme redução nos custos e no tempo de desenvolvimento permite que o setor espacial possa explorar novas estratégias e novos modelos de negócio. De fato, já existem iniciativas direcionadas a fornecer respostas rápidas para o atendimento de demandas inesperadas, que necessitam soluções espaciais, tais como as decorrentes de desastres naturais ou de situações de conflito. Por exemplo, em 2007, os Estados Unidos criaram o *Operationally Responsive Space Office*, com o objetivo de assegurar o desenvolvimento de novas capacidades espaciais militares que pudessem rapidamente ser colocadas em operação. O atendimento desse tipo de demanda impõe uma nova lógica pertinente à aceitação de riscos e à confiabilidade de missões espaciais. Nesse sentido, os *cubesats* vêm sendo considerados como uma solução altamente competitiva e que, em muitos casos, permite um equilíbrio aceitável entre as variáveis tempo, custo e confiabilidade.

Normalização

Com o aumento vertiginoso do uso de satélites de pequeno porte no setor espacial, em especial de *cubesats*, foi rapidamente percebida a importância desses objetos para o fortalecimento do setor espacial como um todo. Eles representam uma revolução tecnológica para o uso das aplicações espaciais em diversos setores, que vão desde o setor de defesa, passando pelo de monitoramento ambiental até chegar aos mais variados tipos de aplicações comerciais. Essa ruptura de conceitos fez surgir a necessidade do estabelecimento de normas que permitissem que essa nova tendência pudesse ser conduzida por meio de boas práticas de desenvolvimento tecnológico adotadas internacionalmente.

Houve, em função disso, uma iniciativa de várias instituições ao redor do mundo no sentido de propor uma norma (ISO 19683:2017(E), *Space systems — Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units*) que estabelecesse os critérios mínimos aceitáveis de projeto, testes, qualificação e aceitação dos *lean satellites* comerciais e de seus subsistemas. Tal norma visa o aumento da taxa de sobrevivência desses satélites na fase de lançamento e inserção em órbita, sem, no entanto, perder de vista os baixos custos e o desenvolvimento em curto tempo por equipes pequenas.

Na Figura 4 é apresentado o esquema de *trade-off* entre metodologias, no escopo da norma ISO 19683:2017(E), com relação ao porte do satélite em desenvolvimento.

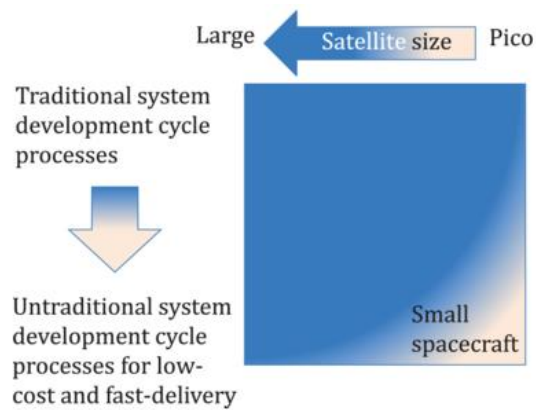


Fig. 4: Escopo da norma ISO 19683:2017.

Fonte: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19683:ed-1:v1:en:fig:1>

Há normas sobre especificações de projeto para *cubesats* (THE CUBESAT PROGRAM 2013), especificações de alojamento de *cubesats* em Poly-Picosatellite Orbital Deployer (P-POD) para liberação no espaço (THE CUBESAT PROGRAM 2014), especificações para *cubesats* 6U (THE CUBESAT PROGRAM 2013b) e especificações de testes para *cubesats* (NASA 2013). Recentemente, foi lançado um documento que reúne uma compilação de vários padrões internacionais relacionados a missões espaciais baseadas em *cubesats* (SCHOLZ, 2017).

Lançamento, órbitas e vida útil

Devido às suas pequenas dimensões, os *cubesats* são colocados em órbita, normalmente, como carga secundária, isto é, junto com um ou mais satélites de grandes proporções que constituem a carga útil primária. A órbita proporcionada pelo lançador é especificada pela carga primária, o que faz com que os *cubesats* tenham que aceitar a órbita oferecida pelo lançador, seja ela qual for. Em geral, os *cubesats* são projetados para operar em uma larga amplitude de órbitas, com variações na altitude, excentricidade e inclinação orbital. Contudo, as alternativas de órbitas aceitáveis podem ser restringidas em função da missão a ser executada. Há, portanto, um compromisso entre aceitar uma órbita não ideal ou esperar até que haja uma oferta de lançamento numa órbita mais adequada, o que pode demorar muito tempo.

A grande maioria dos *cubesats* é lançada em órbita baixa (LEO – *Low Earth Orbit*), ou seja, entre 160 km e 2.000 km. O período orbital nesses casos varia entre 90 min e 105 min. Órbitas síncronas com o Sol, ou heliosíncronas, são mais apropriadas para satélites de observação da Terra. Esta órbita é bastante procurada pelas cargas primárias, o que significa que a oferta para voo em carga secundária é razoavelmente

grande. Ainda assim, devem ser evitados, na medida do possível, horários de cruzamento com o Equador que impeçam uma boa iluminação do solo. Os melhores horários de cruzamento se situam entre 8:00 e 10:30 (ou, também, entre 20:00 e 22:30).

Em geral, a vida útil de um *cubesat* em órbita é da ordem de 8 meses, podendo variar de alguns dias até cerca de 5 anos (BOUWMEESTER e GUO, 2010). Entretanto, para os próximos anos, a tendência é de que a expectativa de funcionamento em órbita melhore consideravelmente. Um fator importante a ser considerado em relação às órbitas em que os *cubesats* são lançados, e que tem a ver com a vida útil desses artefatos, é a incidência de radiação. Como a altitude da maioria das órbitas é abaixo de 3.000 km, os níveis de radiação são baixos e os componentes críticos podem ser blindados, caso necessário, com proteções de alguns milímetros de alumínio.

Também está se tornando comum o lançamento de vários *cubesats* por um único veículo lançador, ou, também, lançamentos feitos diretamente a partir da Estação Espacial Internacional (ISS – *International Space Station*). Neste último caso, os *cubesats* compartilham viagem com suprimentos nas operações de reabastecimento da ISS.

Nos últimos anos, apesar de o uso de *cubesats* ter aumentado consideravelmente, ainda persistem certas desconfianças sobre a eficácia desta nova metodologia de projeto, construção e testes de plataformas espaciais. Cerca de 30% dos objetos inseridos em órbita não cumpriram satisfatoriamente suas missões. Muitos críticos têm utilizado este número para justificar a relutância quanto à confiabilidade das missões espaciais que empregam *cubesats*. Porém, é interessante ressaltar que as falhas de *cubesats* em voo diminuíram nos últimos anos. O alto índice de falhas nos lançamentos ainda é um fator que desperta preocupações, uma vez que vários artefatos podem ser destruídos de uma só vez, devido à estratégia de lançamentos múltiplos. Por exemplo, em outubro de 2014, a empresa Planet Labs perdeu 26 *cubesats* em um único lançamento. Até então a empresa já havia lançado 71 de seus *cubesats* 3U classe Dove mostrados nas Figuras 5 e 6.

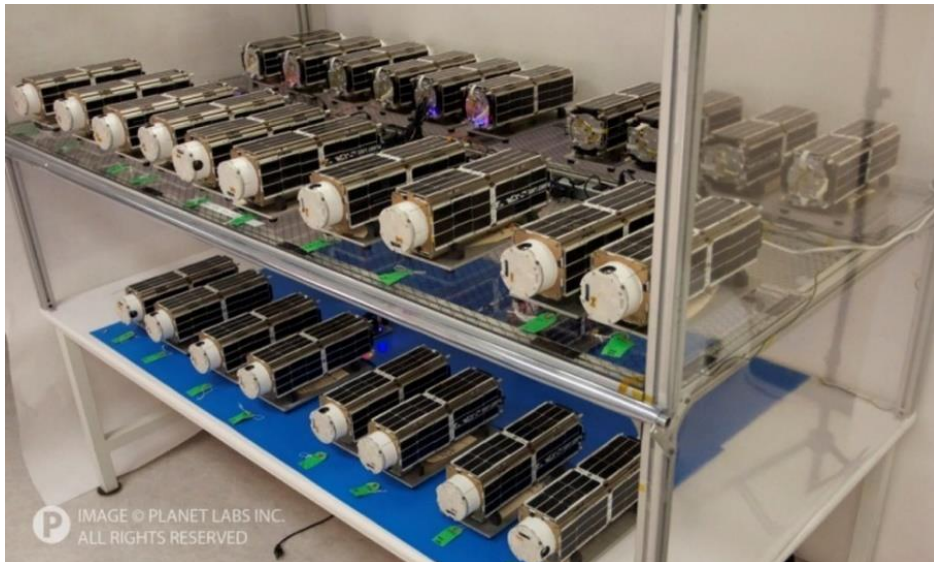


Fig. 5: *Cubesats* da empresa Planet. Crédito: Planet Labs. Inc.



Fig. 6: *Cubesats* Dove da empresa Planet sendo lançados da Estação Espacial Internacional Crédito: NASA.

Serviço de lançamento e acessórios

Para a colocação de um *cubesat* em órbita deve-se utilizar um lançador que ofereça serviços de lançamento como carga secundária. Existem diversas empresas no exterior que prestam serviços de procura por possibilidades de lançamento, além de realizarem acompanhamento da integração, testes e montagem no alojamento de liberação específico para cada tipo de lançador.

O serviço de lançamento impõe que o projeto do satélite seja conduzido segundo as seguintes normas da ISO 19683:2017(E) e as demais normas relacionadas ao seu lançamento citadas anteriormente.

Os lançamentos devem ser agendados com antecedência de pelo menos um ano, para custos normais, sendo que, eventualmente, datas previstas podem sofrer alterações, devido ao encadeamento sequencial de lançamentos e falhas que eventualmente ocorrem com lançadores. Os custos e as datas dependem do planejamento de lançamentos e da urgência requerida para o lançamento do satélite.

Os ensaios preparatórios para lançamento visam determinar as dimensões físicas, propriedade de massa, as interfaces mecânicas, as proteções elétricas, a descontaminação e a resistência às vibrações inerentes ao veículo lançador. Os *cubesats* só podem iniciar suas operações no espaço 30 minutos após a liberação do seu alojamento no P-POD. Ensaios básicos de vibração aleatória, descontaminação por termo-vácuo, teste de choque mecânico e inspeção visual devem ser executados para a aceitação final do serviço de lançamento.

O preço para serviço de lançamento de um *cubesat* 6U em órbita heliossíncrona, por exemplo, é atualmente fixado em USD 545.000. O custo de lançamento do ITASAT foi de USD 590.000.

A seguir são enumeradas algumas empresas que fornecem tal serviço:

- Nanoracks, EUA
- ISIS, Holanda
- Cubecab
- ECM Launch Services, Alemanha
- Open Cosmos, Inglaterra
- Rocket Lab, EUA
- Nanoavionics, Lituânia (verificar se realmente têm serviço de lançamento sem compra de plataforma)
- Spaceflight, EUA
- GAUSS Srl, Itália
- CGWIC, China
- CST, Inglaterra – Rússia

Algumas destas empresas fornecem somente o veículo lançador, outras o serviço de integração e sistema de lançamento individual de cada *cubesat*.

Estações de solo para recebimento de sinais

De uma maneira geral, os *cubesats* podem se utilizar de estações de solo para recebimento de sinais de satélites convencionais. Além dessas, podem também se utilizar de estações mais simples com sistema de rádio transceptores analógicos, antenas e controle de rastreamento similares, por exemplo, às da estação do INPE-ITA, que possui receptores e transmissores em UHF e VHF, e receptor em banda S.

No caso brasileiro, as estações existentes em território nacional para recepção de sinais de satélite são:

- 1) PY2AEC, pertencente ao INPE-ITA. Esta estação está localizada nas instalações do DCTA-ITA em São José dos Campos (SP), e está operacional desde 2013. Ela integra a rede de estações de solo do INPE/MCTIC. Utiliza comunicação de rádio definido por *software* (RDS) e pode ser empregada para rastreamento, recepção e transmissão. Possui transceptores em UHF, VHF e banda S.
- 2) PY3EB, pertencente ao INPE-CRS. Esta estação localiza-se em Santa Maria (RS), e está operacional desde 2012. Opera com sistema de rádio transceptores analógicos, com antenas e controle de rastreamento iguais às da estação do INPE-ITA. Possui receptores e transmissores em UHF e VHF, e receptor em banda S.
- 3) ETC, pertencente ao INPE. Esta estação é localizada em Cuiabá (MT), no campus do INPE nessa cidade, estando operacional desde 1992. Possui comunicação de dados em banda S e banda X.
- 4) ETA, pertencente à Força Aérea Brasileira (FAB), localizada no CLA em Alcântara (MA), e está operacional desde 1993. Possui comunicação em banda S.
- 5) ET-CLBI, também pertencente à FAB, e localizada no CLBI em Natal (RN). Está operacional desde 1965. Possui comunicação em banda S.

As estações mais adaptadas para rastrear, controlar, receber telemetria e enviar telecomandos para *cubesats* são as de São José dos Campos e Santa Maria. As estações ETA e ET-CLBI podem auxiliar na telemetria e recepção de dados em banda S. Tendo em vista as disponibilidades destas facilidades em território nacional, é importante considerá-las no momento de se projetar um sistema de telemetria, transmissão e recepção de dados para *cubesats*.

Operações em solo

Ao se lançar o satélite existe a necessidade de rastreamento, recepção de telemetria, envio de telecomandos e processamento e análise dos dados recebidos da carga útil. Essas atividades são denominadas de operação em solo e necessitam de um documento que descreva os conceitos e necessidades de operação para a missão (CONOPS).

A operação em solo deve ser supervisionada por uma equipe de operadores, com funções previamente definidas e rotineiras, exceto nas fases logo após a injeção em órbita, que requer assistência dos responsáveis pelos subsistemas para assegurar a entrada em operação rotineira, e, eventualmente, quando ocorrer situações imprevistas. Serão necessários dois ou três operadores na estação em solo, mas eles podem operar até cinco satélites simultaneamente.

Ao custo da estação de solo devem ser adicionados os custos de desenvolvimento de *software* específico para rastreamento do satélite, processamento de telemetria, envio de telecomandos e para recepção, processamento e distribuição dos dados da carga útil.

Cubesats em números

O ano de 2005 pode ser considerado como o início oficial da era dos *cubesats*. No entanto, historicamente, cabe mencionar que o primeiro *cubesat* foi de fato lançado ao espaço em 2003, e que outros objetos lançados alguns anos antes são considerados precursores do padrão atual. Entre os anos de 2005 e 2012, em um período dominado pelo pioneirismo e desenvolvimento tecnológico, foram lançados ao espaço cerca de um *cubesat* por mês. Entre 2013 e 2015, a taxa de lançamento subiu para cerca de nove *cubesats* por mês, marcando um claro aumento das atividades relacionadas a esses satélites, tal como pode ser percebido na distribuição do número de *cubesats* em função do ano de lançamento fornecida na Figura 7. Nota-se que em 2015 e 2016 houve uma queda na taxa de lançamento, após a perda de vários *cubesats* em um único lançamento. Muitos projetos sofreram com este ponto de estrangulamento, mas foram lançados durante o ano de 2017, o que explica o pico no número de lançamentos.

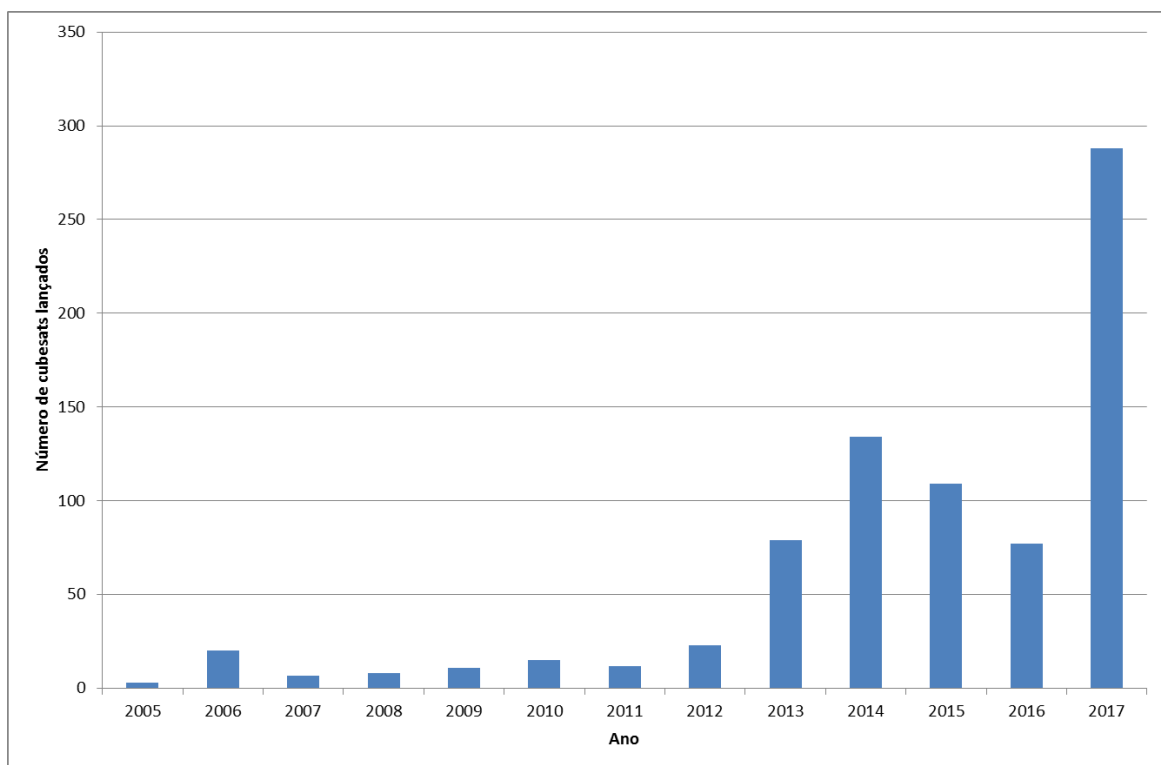


Fig. 7: Distribuição do número de *cubesats* em função do ano de lançamento. As observações do OTE mostram que, até o final de 2017, um total de 786 *cubesats* tinha sido lançado ao espaço.

Até o final de 2017, 786 *cubesats* haviam sido lançados ao espaço.

Os Estados Unidos são inquestionavelmente o país líder no setor de *cubesats* sendo responsáveis por 76% dos objetos lançados até o final de 2017. Mesmo assim, essa tendência tecnológica tem transbordado fronteiras e vem conquistando adeptos a ponto de ter se tornado um fenômeno global dado que, até 2017, 51 países já haviam lançado pelo menos um *cubesat* ao espaço. Na Figura 8 é apresentado o histórico de lançamentos de *cubesats* por país. O Brasil, por exemplo, lançou seu primeiro *cubesat* em 2014 tendo lançado no total, até 2017, três *cubesats*. Alguns outros *cubesats* brasileiros já estão em desenvolvimento e deverão ser lançados em um futuro próximo.



Fig. 8: Número de lançamentos de *cubesats* em função de ano e país. Algumas iniciativas ocorrem em colaborações internacionais com diversas organizações e países envolvidos. O país identificado neste gráfico corresponde à nação onde

está situada a sede da organização que liderou o desenvolvimento e a integração do satélite.
Fonte: OTE.

Essa tendência também é percebida em outros indicadores usados pelo OTE, tais como os tipos de aplicações, o número de publicações técnico-científicas e o número de depósitos de patentes relacionados a *cubesats*. Esses indicadores ajudam na compreensão do panorama atual das atividades relacionadas a esses satélites e indicam que os *cubesats* estão se consolidando no setor espacial norte-americano como uma alternativa interessante para o atendimento de várias demandas por aplicações espaciais e que essa tendência tem sido observada também em outros países. Basicamente, *cubesats* já foram empregados para fins educacionais, científicos, militares, de defesa, de demonstração de tecnologias de comunicação e sensoriamento remoto da Terra. O uso para fins educacionais tem permanecido aproximadamente constante ao longo dos anos e, recentemente, percebe-se um aumento significativo no uso de *cubesats* em aplicações para sensoriamento remoto e desenvolvimento tecnológico.

Cubesats: informações técnico-científicas

Outra maneira de examinar a tendência de emprego de *cubesats* em missões espaciais é inspecionar a produção técnico-científica da última década relativa a esse tema. No período entre 2005 e 2017, a base de dados Scopus mostra 2.225 documentos técnico-científicos publicados em artigos em periódicos e anais de congressos. Foi utilizada como palavra-chave de busca apenas o termo *cubesat*. Na Figura 9 são mostradas as áreas do conhecimento relacionadas ao uso de *cubesats* nessas publicações.

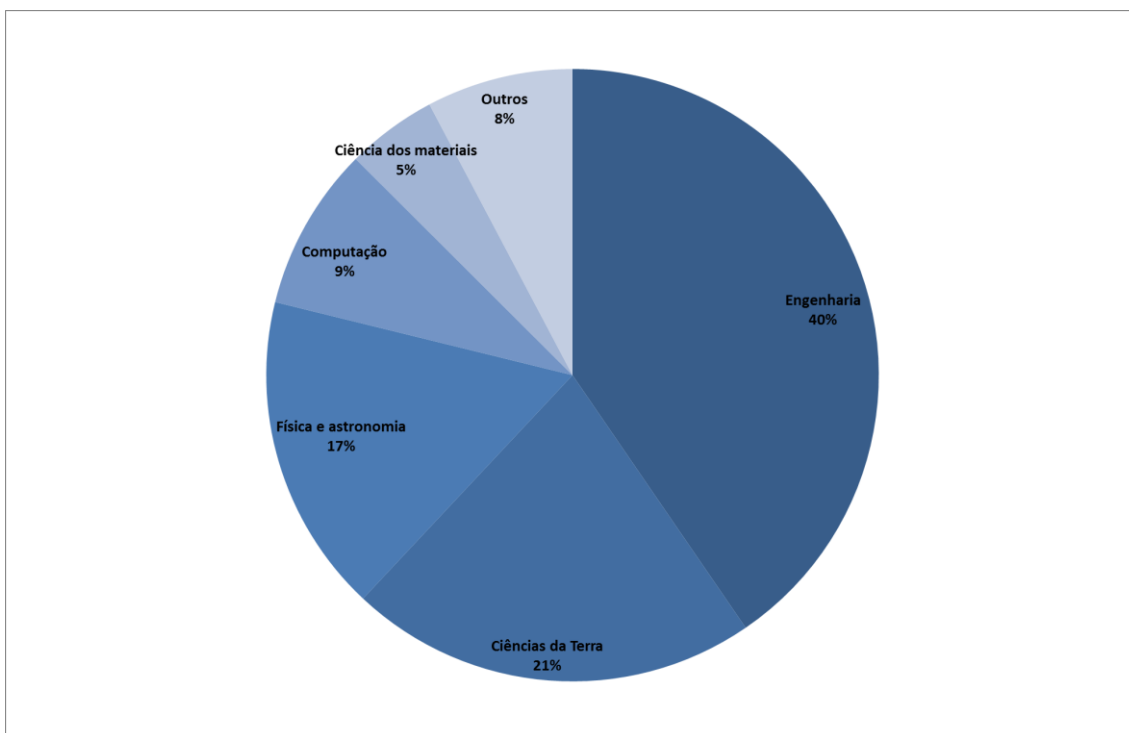


Fig. 9: Áreas do conhecimento relacionadas ao uso de *cubesats* em publicações técnico-científicas no período entre 2005 e 2017.
Fonte: Scopus.

Os resultados das observações do OTE acerca da produção técnico-científica relacionada a *cubesats* mostram que a tendência de aumento nesse tipo de indicador se manteve constante a partir de 2010. Em 2017, os números ainda não foram totalmente computados, o que explica a aparente baixa no número de publicações em relação a 2016. Grosso modo, essa produção quintuplicou entre 2010 e 2016, o que é um aumento significativo. A liderança nesse segmento continua com os EUA. Embora não seja possível afirmar genericamente que o aumento de publicações científicas acarrete aumento subsequente no número de patentes, uma vez que isso depende as peculiaridades inerentes a cada área do conhecimento, espera-se que, em função dos dados que o OTE obteve sobre publicações e patentes, que mostram uma correlação entre ambos, que esse aumento se confirme.

É possível perceber, por meio da Figura 10, o crescimento do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a *cubesats* neste mesmo período. Esse aumento corrobora a tendência de aumento de interesse por esse tipo de artefato no setor espacial. Os dados referentes o ano de 2017 estão incompletos e não haviam sido divulgados até o momento da elaboração deste documento, o que pode explicar a aparente queda.

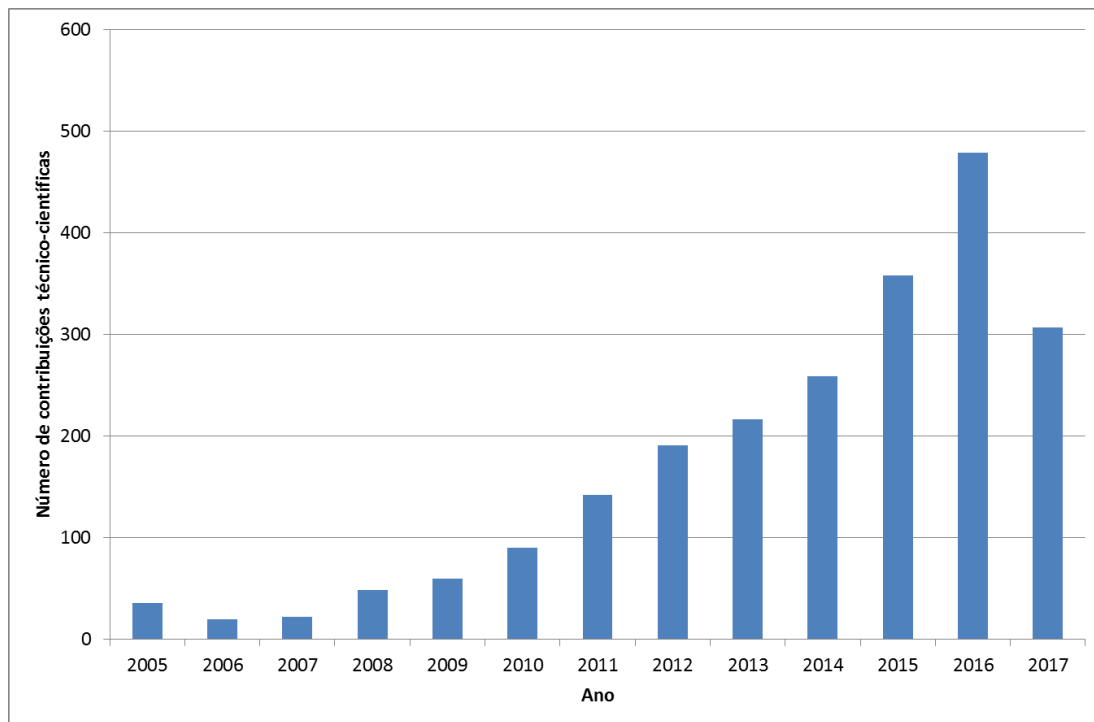


Fig. 10: Distribuição do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a *cubesats* no período entre 2005 e 2017. O gráfico mostra um total de 2.225 documentos técnico-científicos publicados em artigos em periódicos e anais de congressos. Vale ressaltar que os documentos do ano 2017 não foram ainda totalmente indexados.

Fonte: Scopus.

Na Figura 11 é apresentado o número de contribuições técnico-científicas por país. É interessante notar que entre os países com maior produção encontram-se, com exceção da Rússia e da Índia, quase todos os países que têm grande domínio tecnológico no setor espacial. No caso específico da Rússia, porém, convém também salientar que o país tem uma participação importante no segmento de lançamento de satélites, incluindo os *cubesats*. Por outro lado, o Brasil apresenta uma participação que pode ser considerada boa nesse cenário, apesar de não ser muito expressiva.

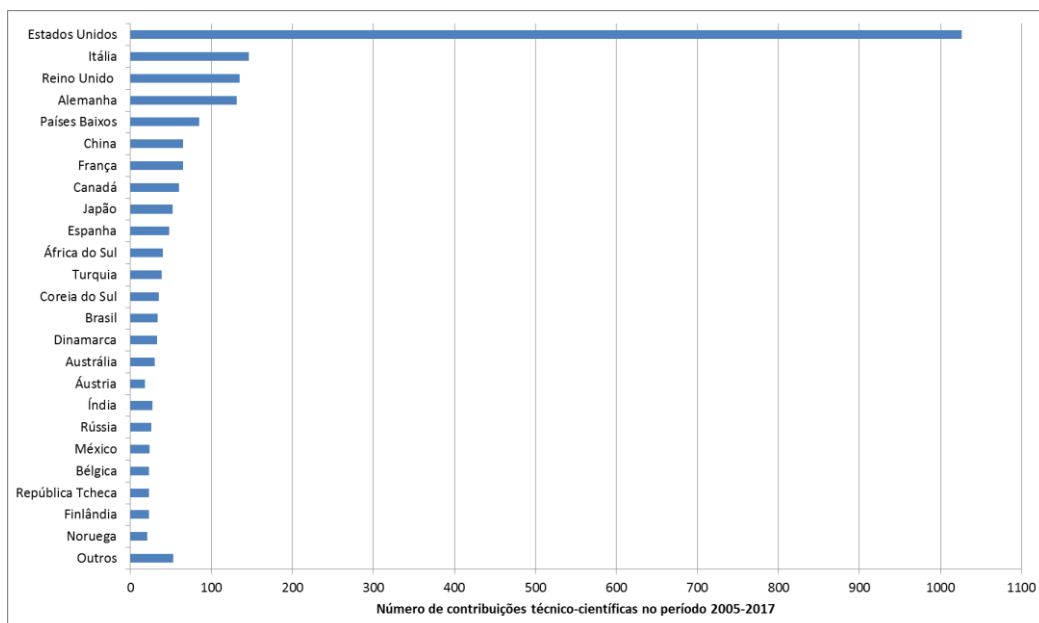


Fig. 11: Número de contribuições técnico-científicas por país no período entre 2005 e 2017. Alguns artigos internacionais foram contabilizados para mais de um país.

Fonte: Scopus.

O número de depósitos de patentes relacionadas a *cubesats* também vem crescendo nos últimos anos, seguindo, de forma similar, a tendência de crescimento de outros números relativos a essa classe de satélites, como o de lançamentos, de aplicações, de publicações técnico-científicas e de empresas que atuam no setor.

O *European Patent Office* (EPO) registrou, no período compreendido entre 2006 e 2017, um total de 162 depósitos de patentes, nos quais a palavra-chave é "*cubesat*"². Houve um aumento considerável nesse número entre 2006, quando apenas 1 patente foi registrada, e 2017, quando houve 55 depósitos. Na Figura 12 são mostrados esses dados. Nenhuma dessas patentes é de autoria de instituição ou inventor brasileiros.

² Não foram considerados como palavras-chave os termos nanosatélite e picosatélite. Ao se adicionar tais termos, o número total de patentes passou para 135. Foi feita a opção de manter como palavra-chave apenas o termo *cubesat* para padronizar buscas sobre outros indicadores, como publicações e evolução temporal de termos.

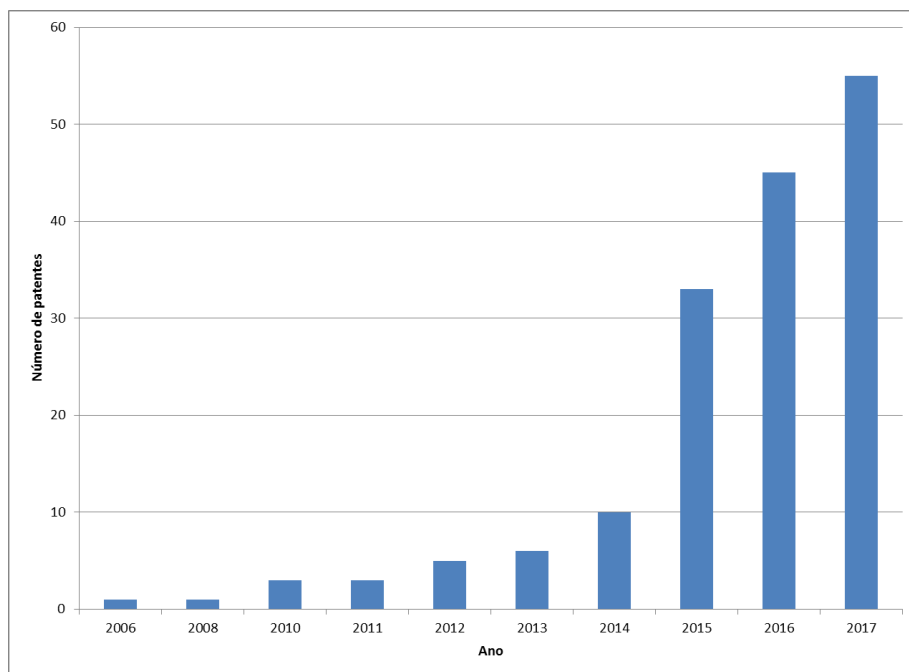


Fig. 12: Número de patentes depositadas por ano no período entre 2006 e 2017. Nesse período, foram registradas 162 patentes relacionadas a *cubesats*.
Fonte: European Patent Office.

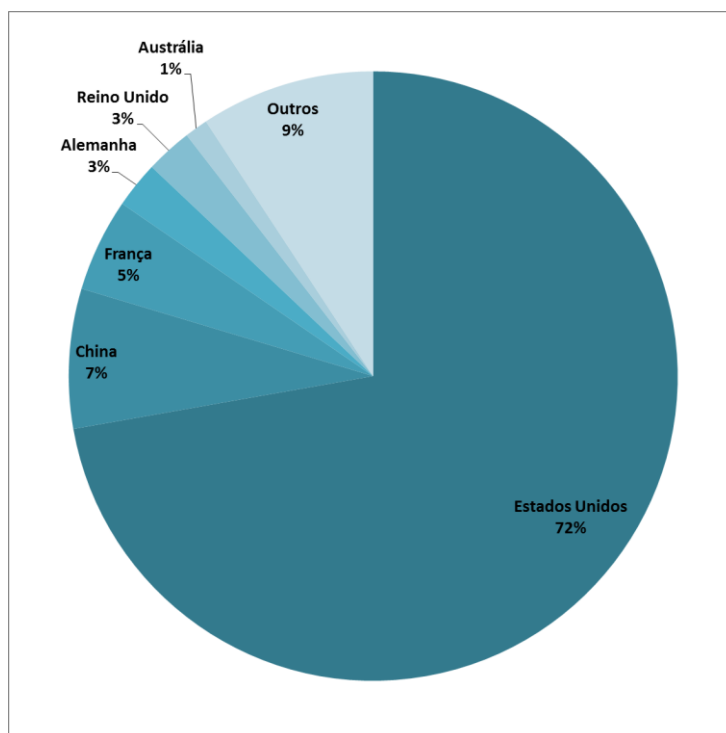


Fig. 13: Principais países detentores de patentes depositadas no período entre 2006 e 2017.
Fonte: European Patent Office.

Na Figura 13 é mostrada a distribuição de patentes por país. Neste período, os EUA aparecem como o país que mais depositou patente (72%), por meio de instituições públicas, universidades e empresas, sendo seguido da China (7%).

Convém apontar que o número de patentes depositadas por empresas é significativo. Há empresas importantes, como Airbus, Boeing e Raytheon, que têm feito depósitos de patentes sobre *cubesats* recentemente. Também é significativo o fato de importantes instituições universitárias, como MIT e Universidade de Michigan, dos EUA, Universidade de Nanjing, da China, e governamentais, como a Marinha dos EUA, terem patentes sobre esse tipo de plataforma. Tal fato mostra, mais uma vez, que a ideia de que *cubesats* são *toy satellites* está definitivamente sendo deixada de lado.

Na Figura 14 são mostrados os principais detentores de patentes relacionadas a *cubesats*. É interessante notar entre eles a presença de empresas privadas importantes, como Raytheon, Aerospace Corporation, Boeing e Airbus. Este fato salienta a importância dada pelas empresas privadas a esse tipo de plataforma.

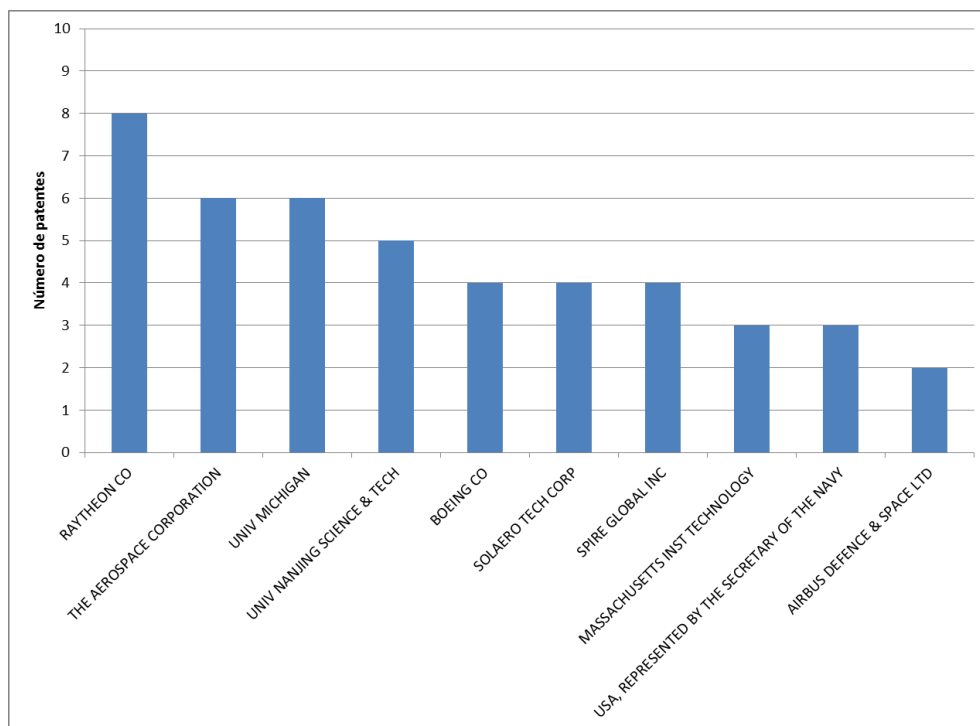


Fig. 14: Principais detentores de patentes depositadas no período entre 2006 e 2017.

Fonte: European Patent Office.

Cubesats: veículos lançadores

Os *cubesats* estão proporcionando inovações em vários segmentos da atividade espacial, que não se restringem apenas à forma como são desenvolvidos, mas se estendem até como são lançados ao espaço. Diferentemente da lógica tradicional vigente em que a maioria dos lançamentos de satélites se dá por meio de veículos dedicados, com poucos lançamentos compartilhados (múltiplos ou em modo *piggy-back*), os *cubesats* não são os artefatos principais nos lançamentos. Por isso, em função da motivação de sua origem, estão gerando também uma inovação no mercado de lançadores. Essa nova tendência aponta claramente para a necessidade de um veículo lançador capaz de colocar em órbita, a custos reduzidos, *cubesats* para as mais diversas aplicações. Provavelmente, num futuro próximo, haverá demanda para veículos lançadores exclusivos para *cubesats*.

Nesse ponto em particular, parece haver uma grande oportunidade para o Brasil, uma vez que já há um projeto bastante oportuno de construção de um veículo para lançar microsatélites, o Veículo Lançador de Microsatélites (VLM), que é uma opção bastante atrativa para preencher esse nicho de mercado. É conveniente citar que a NASA e o Departamento de Defesa dos EUA estão considerando a possibilidade de desenvolver um veículo dedicado exclusivamente ao lançamento de *cubesats* que possa colocar em órbita tais artefatos a um custo inferior a 2 milhões de dólares.

Os dados mostram também que a tendência de se usar *cubesats* para atender diferentes tipos de aplicações espaciais (e.g. KULU 2017) e para treinamento de pessoal vem se firmando nos EUA e já está influenciando outros países (e.g. MUYLAERT *et alii*. 2010). Caso o aumento do número de *cubesats* lançados nos últimos três anos seja mantido, é de se esperar que algumas centenas desses objetos sejam lançadas nos próximos cinco anos. Essa possível popularização dos *cubesats* traz à tona inúmeras oportunidades para países, instituições e empresas. Vários países já estão se adaptando a essa nova tendência, de forma que parece ser interessante que o Brasil também aproveite essa oportunidade. Em especial, é importante que o País se prepare para ter veículos lançadores de *cubesats* que possam participar desse mercado promissor.

É importante frisar que há as condições essenciais mínimas para aproveitar tais oportunidades no País: há recursos humanos disponíveis em número e qualidade, com capacidade de produção em várias áreas científicas e tecnológicas; há infraestrutura de lançamento, de montagem e testes de satélites; há um projeto de lançador, como o VLM, em estágio razoável de desenvolvimento; há empresas com capacidades em vários setores tecnológicos e; mais uma vez, há demandas claras, como as relacionadas ao meio ambiente, defesa, etc.

Portanto, há atualmente oportunidades para que o Brasil possa ingressar nesse novo paradigma da atividade espacial de uma forma robusta e completa. A comparação do cenário nacional com o internacional sugere que o setor espacial brasileiro pode se beneficiar do uso de *cubesats*. O Brasil pode enfrentar, de maneira objetiva, alguns desafios, como a formação de pessoal para o setor e o domínio de tecnologias críticas de interesse nacional, caso acompanhe essa tendência tecnológica e invista em uma estratégia de desenvolvimento de satélites de pequeno porte e seus respectivos lançadores.

Os dados obtidos pelo OTE mostram que houve um aumento no número de iniciativas de desenvolvimento de veículos lançadores de satélites de pequeno porte mundialmente. Esses lançadores são capazes de colocar em órbita baixa (LEO – *low Earth orbit*) satélites com massa de até cerca de 400 kg. Na Figura 15 são apresentados alguns veículos lançadores pequenos e comerciais com algumas de suas especificações.



Fig. 15: Lançadores de satélites de pequeno porte com investimentos anunciados.
 Fonte: 2017 State of the Satellite Industry Report – Bryce Space and Technology, June 2017.

Nas Figuras 16 e 17 são mostrados alguns sistemas de lançamento de pequenos satélites que se encontram em desenvolvimento. Os sistemas de lançamento

apresentados na Figura 16 são baseados em solo e são basicamente foguetes. Já no sistema apresentado na Figura 17, o equipamento responsável pelo lançamento do satélite é acoplado a uma aeronave auxiliar até certa altitude, normalmente acima de 10 km, e de lá o foguete contendo a carga é lançado em órbita.

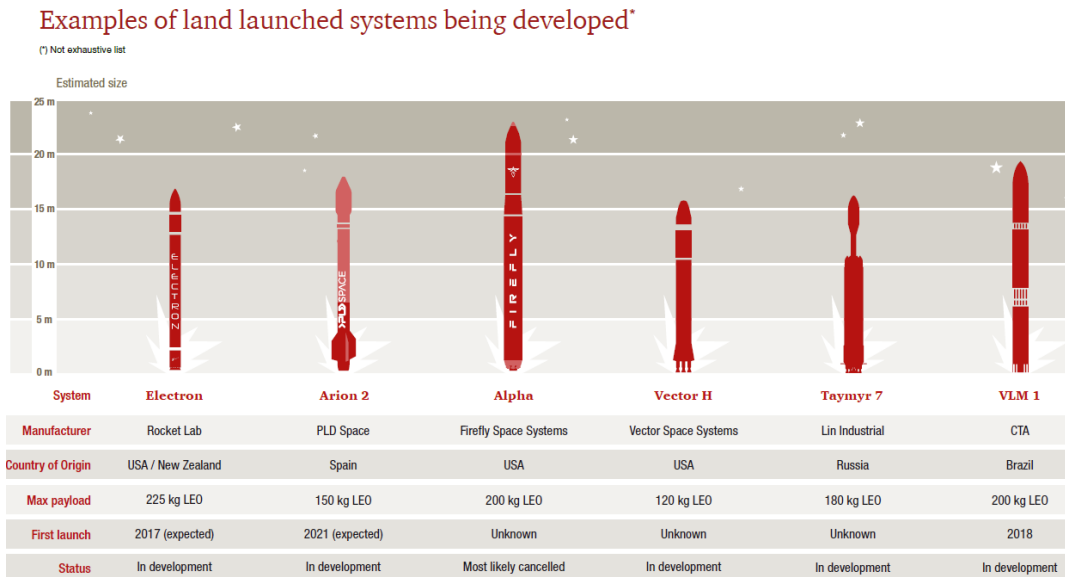


Fig. 16 – Exemplos de lançadores de satélites, a partir de bases no solo, de pequeno porte em desenvolvimento. Fonte: Micro-launchers: what is the market?, PwC, 2017.

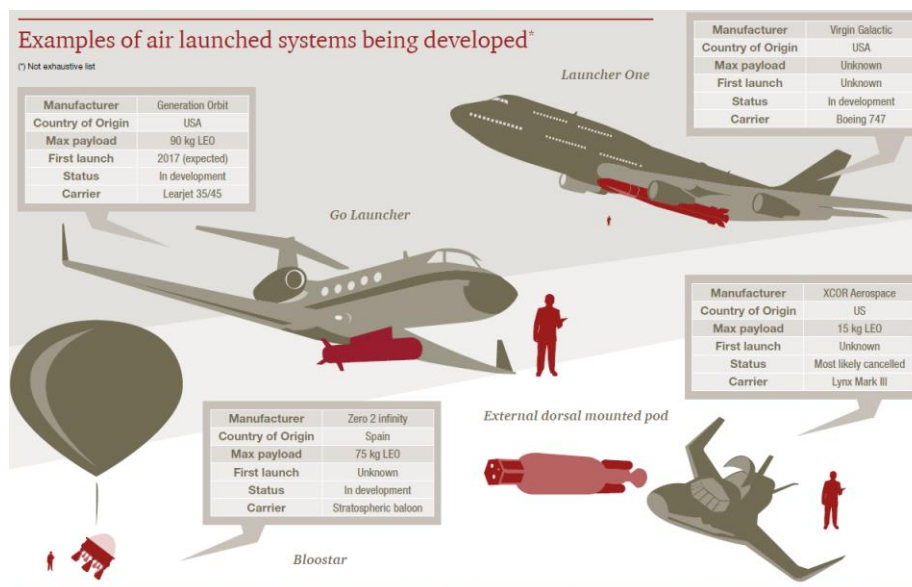


Fig. 17 – Exemplos de lançadores de satélites, a partir de plataformas aéreas, de pequeno porte em desenvolvimento. Fonte: Micro-launchers: what is the market?, PwC, 2017

A maior parte dessas iniciativas teve origem na iniciativa privada. Alguns países, que antes não eram grandes *players* na área espacial, estão com iniciativas bastante interessantes. A Nova Zelândia, por exemplo, está desenvolvendo o Electron, em parceria com os EUA, que tem capacidade para lançar satélites de até 225 kg. Outro exemplo é a Espanha, que está desenvolvendo o Arion 2, com capacidade para lançar satélites de até 150 kg. Na Figura 18 é mostrada uma imagem do Electron, que deve fazer sua estreia como lançador de satélites de pequeno porte em 2018.



Fig. 18: Veículo Electron na base de lançamento. Crédito: Rocket Lab.

No entanto, o custo de lançamento desses novos veículos ainda não atingiu um nível razoável de competitividade. Vários ainda se situam na faixa dos US\$ 30 mil por kg de satélite. Em alguns casos, esse custo pode chegar a US\$ 25 mil. Porém, há algumas indicações de que esse custo possa diminuir consideravelmente em um futuro próximo, talvez para menos de US\$ 10 mil. Assim, esses veículos ainda não são comercialmente competitivos quando comparados a veículos de maior porte que estão sendo utilizados atualmente para o lançamento de pequenos satélites.

Mesmo considerando o preço mais alto por kg de satélite lançado, o uso de lançadores de pequeno porte dedicados representa uma vantagem considerável em relação aos lançadores de grande porte. Nestes, em geral, os satélites de pequeno porte são lançados como cargas secundárias, sem poder escolher a órbita exata de interesse. Apesar de haver no mercado empresas especializadas em agendar lançamentos que atendam de forma aproximada as necessidades dos usuários, nem sempre isso é possível. Com os lançadores dedicados, é possível ter acesso à órbita que melhor se

adequa à necessidade dos usuários de *cubesats*. Assim, mesmo sendo mais caros, em termos de US\$/kg, eles se tornam atraentes em função do atendimento de necessidades específicas de órbita. Os próximos quatro anos devem trazer novidades nesse mercado.

No caso do Brasil, o Veículo Lançador de Microssatélites (VLM) se apresenta como uma alternativa importante para a inserção do País nesse mercado, que ainda, de certo modo, não está saturado e apresenta várias oportunidades para novos *players*. Certamente, os primeiros países ou instituições, principalmente empresas, que se firmarem como provedores de lançamentos para esse segmento de pequenos satélites terão uma vantagem enorme em termos de se tornarem provedores desse tipo de serviço.

Dessa forma, é importante que o VLM, cuja representação esquemática é apresentada na Figura 19, possa ser finalizado o mais rápido possível para que essa oportunidade não seja desperdiçada e que um plano de negócios para esse veículo seja imediatamente feito tendo por base as informações sobre o mercado de *cubesats* e de satélites de pequeno porte em geral.



Fig. 19: Veículo Lançador de Microssatélites (VLM). Crédito: <http://www.iae.cta.br/index.php/espaco/vlm-1>

Os EUA continuam na liderança no uso de *cubesats*. Em 2016, os EUA lançaram 57 desses artefatos e, em 2017, 224. No entanto, em relação aos veículos lançadores, o PSLV, da Índia, tem a liderança no número de lançamento de *cubesats*: 167. Em particular, o PSLV-C37 detém o recorde de ter lançado o maior número de *cubesats* de uma só vez: 104. A maioria dos *cubesats* desse lançamento foi de artefatos dos EUA, sendo 88 Dove da empresa Planet e 8 Lemur da Spire. Por outro lado, vários lançadores dos EUA foram utilizados para lançar *cubesats* de outros países, como os Antares, da empresa Orbital Science Corporation, que já lançaram 118, os da série Atlas, com 136, e os Falcon, com 65. É importante notar a forte presença de empresas não governamentais nesse mercado, o que mostra que o mercado de lançadores de satélites de pequeno porte, em especial os de *cubesats*, tem atraído a atenção de investidores na área espacial.

Assim, do ponto de vista nacional, ao se apoiar a iniciativa de desenvolver cargas úteis que possam atender interesses nacionais e que sejam montadas em plataformas *cubesat*, abre-se uma oportunidade enorme para a criação e a manutenção de um mercado interno para um veículo nacional como o VLM. Esse mercado interno pode dar ritmo de produção para esse veículo e, com isso, propiciar que ele adquira herança de voo para alcançar o mercado externo, fornecendo o serviço a entidades interessadas.

Cubesats: notícias

Com o intuito de fazer um levantamento da evolução temporal de termos relacionados a *cubesats* foi utilizada a ferramenta insightData do CGEE, que é capaz de fazer buscas em diversas fontes de informação e gerar um banco de dados de acordo com as expressões utilizadas para realizar tais buscas. O aumento da frequência de termos é um indicador do interesse que um dado tema, identificado por certos termos ou expressões textuais, vem despertando no mercado.

Foram obtidos 470.630 documentos referentes ao período compreendido entre 2005 e 2017. Esses documentos se encontram na base de dados do CGEE e estão de alguma forma relacionados a *cubesats*. Na Figura 20 é mostrada a distribuição, por temas, dos documentos coletados pelo OTE. Na figura é possível notar que os *cubesats* atendem diferentes setores da economia (vermelho) em várias necessidades (laranja) e promovem o avanço tecnológico de diversos equipamentos (azul) durante seu desenvolvimento.

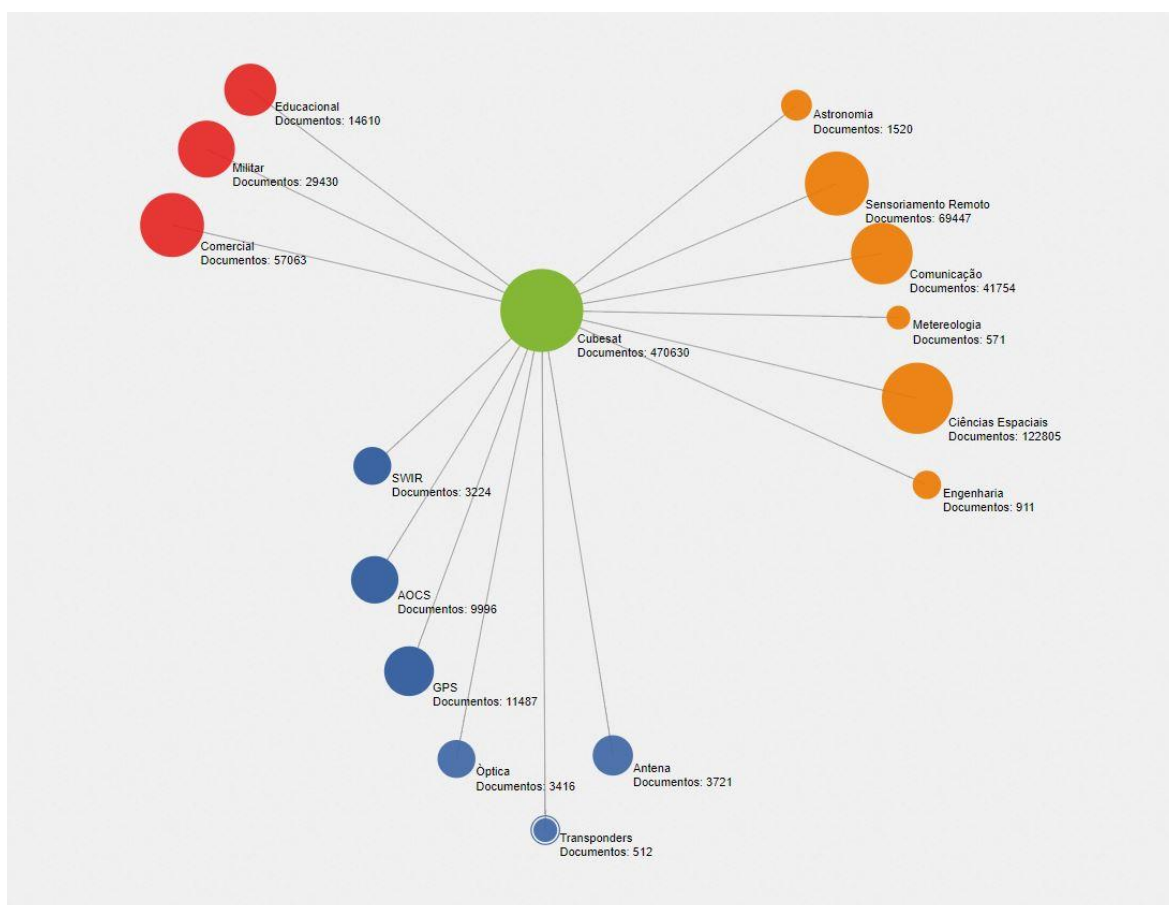


Fig. 20: Distribuição de temas relacionados a *cubesats*.

Na Figura 21 é mostrada a evolução temporal de temas relacionados a algumas tecnologias referenciadas de forma genérica, como GPS, antenas, óptica, transponder, sistema de controle de atitude e órbita (AOCS) e infravermelho de ondas curtas (SWIR do inglês *Short-Wavelength InfraRed*). É notório o desenvolvimento de sistemas ainda não muito bem estabelecidos para *cubesats* como GPS, AOCS e SWIR. Já as antenas, por exemplo, tiveram um pico de atividades de desenvolvimento por volta de 2013.

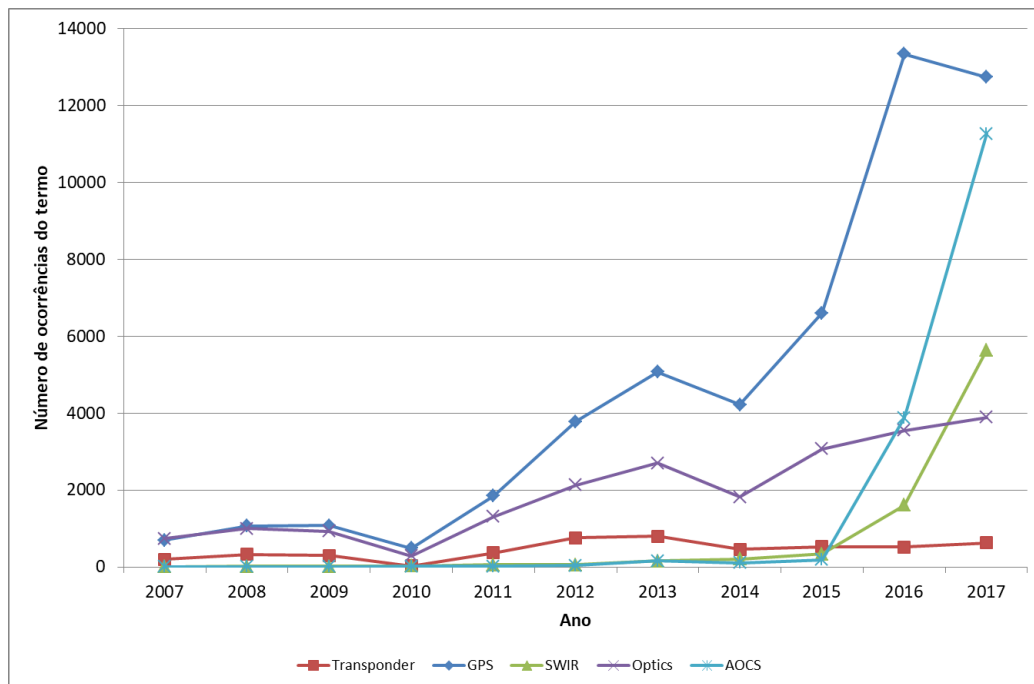


Fig. 21: Evolução temporal do número de documentos sobre algumas tecnologias.

É interessante notar que um dos indicadores mais diretos do crescente interesse por *cubesats* ao redor do mundo, que é o noticiário relativo a esse tipo de plataforma, se correlaciona de maneira direta com alguns outros indicadores, como a produção técnico-científica, incluindo patentes, e o número de objetos lançados. Apesar de ser um indicador cuja confiabilidade não se compara com os demais, ele certamente mostra que esse tipo de plataforma está atraindo o interesse de diversos setores da sociedade.

Convém salientar o fato de que, nos últimos três anos (período de 2014 a 2017), houve um aumento de cerca de quinze vezes no número de notícias sobre *cubesats* ao redor do mundo. Uma análise mais apurada sobre as áreas em que essas notícias se

enquadram dará um panorama mais objetivo sobre quais setores da área espacial estão mais afetos ao uso de *cubesats*.

Na Figura 22 são mostrados os números de documentos de algumas das diferentes fontes de notícias que fazem parte do acervo do OTE sobre *cubesats*.

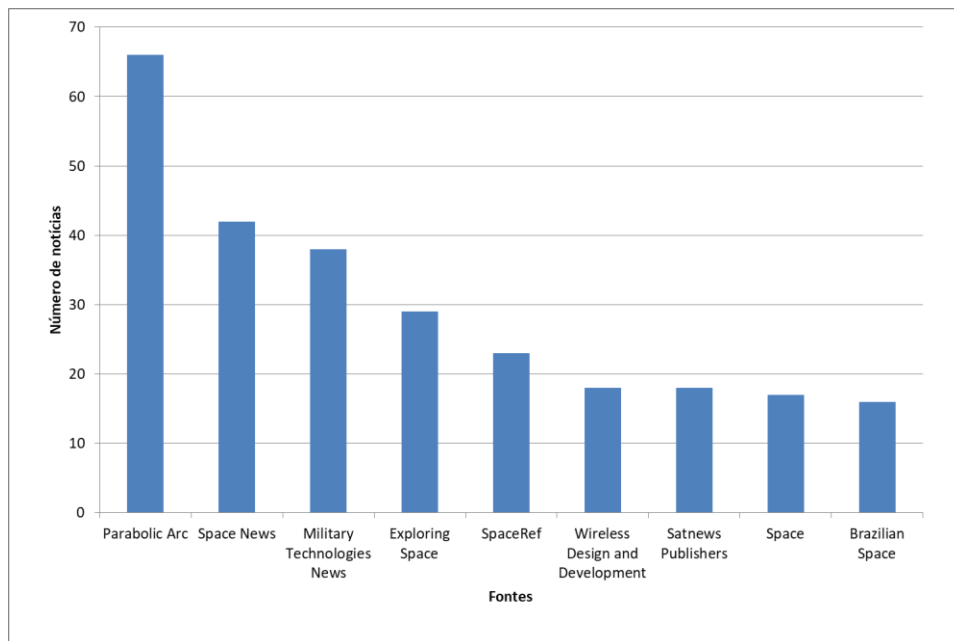
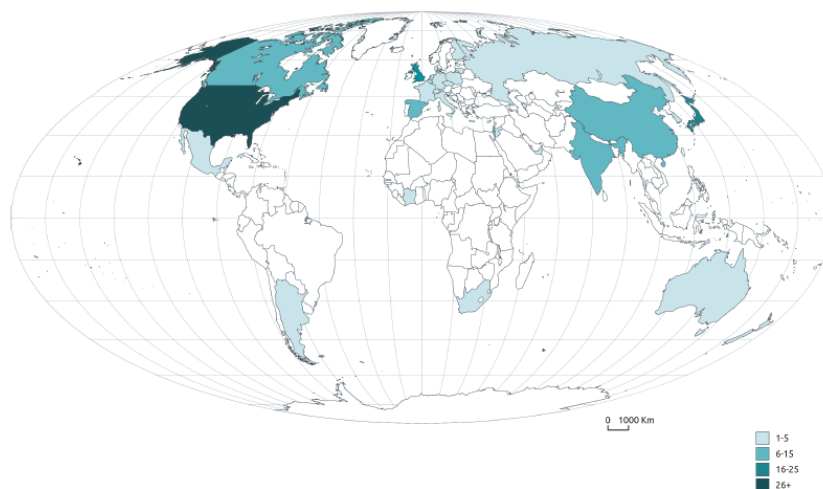


Fig. 22: Quantidade de alguns documentos sobre *cubesats* armazenados no CGEE separados por fontes.

Cubesats: empresas

O relatório *Bryce Space and Technology, Start-up Space 2017 – Update on Investment in Commercial Space Ventures*, que trata de empresas *start-up* na área espacial, mostra que, na América do Sul, há investidores apenas na Argentina. Tal fato se configura, ao mesmo tempo, em uma oportunidade e em uma ameaça. Oportunidade porque são poucos concorrentes ainda para empresas nacionais poderem realizar negócios no continente. E, se torna uma ameaça porque a entrada tardia de investidores nacionais nesse mercado certamente prejudicará a obtenção de clientes na região.



Investors in start-up space ventures are headquartered in the U.S. and 32 other countries

Fig. 22: Distribuição de investidores em start-ups da área espacial no mundo.
Fonte: Bryce Space and Technology, Start-up Space 2017– Update on Investment in Commercial Space Ventures.

Na Figura 22 é apresentada a concentração de investimentos privados no setor espacial ao redor do mundo. O Brasil ainda não tem nenhum investidor neste setor e pode perder espaço no mercado da América Latina num futuro próximo para a Argentina e México, por exemplo, que já recebem investimentos no setor.

Cubesats têm sido mais frequentemente utilizados como uma solução de baixo custo para atender várias áreas de pesquisa. As principais aplicações que utilizam *cubesats* incluem sensoriamento, comunicações, defesa, agricultura e missões científicas em geral. Há, atualmente, algumas dezenas de empresas no mundo voltadas à comercialização de partes e serviços relacionados a *cubesats*. Algumas das principais empresas envolvidas no desenvolvimento de *cubesats* são:

- Planet Labs, São Francisco, Estados Unidos
- Pumpkin Space Systems, São Francisco, Estados Unidos
- AAC Microtec, Uppsala, Suécia
- Adcole Maryland Aerospace, Marlborough, Estados Unidos
- Blue Canyon Technologies, Boulder, Estados Unidos
- Compagnia Generale per lo Spazio, Milão, Itália
- Harris Corporation, Jersey City, Estados Unidos
- Clyde Space, Glasgow, Reino Unido
- Endurosat, Sofia, Bulgária
- GomSpace, Aalborg East, Dinamarca
- GAUSS Srl, Roma, Itália
- ISIS (Innovative Solutions in Space), Delft, Holanda
- Millenium Space, El Segundo, Estados Unidos
- NanoAvionics, Vilnius, Lituânia
- NearSpace Launch, Upland, Estados Unidos
- NEXEYA, Châtenay-Malabry, França
- Space Inventor, Aalborg, Dinamarca
- Sierra Nevada Corporation, Sparks, Estados Unidos
- Surrey Satellite Technologies, Guildford, Estados Unidos
- Tyvak, Irvine, Estados Unidos
- UTIAS Space Flight Laboratory, Toronto, Canada
- Cubespace, Stellenbosch, África do Sul
- Skyfox, Praga, República Tcheca
- Skylabs, Maribor, Eslovênia
- Sinclair, Toronto, Canadá
- Optec, Parabiago, Itália

Em 2017, alguns movimentos comerciais relevantes foram registrados. A empresa norte-americana Planet adquiriu a empresa Terra Bella. Com essa aquisição, alcançou a meta de ter uma revisita diária de um mesmo ponto no globo terrestre. A Terra Bella, que pertencia à Google, havia desenvolvido a constelação SkySat de satélites de sensoriamento remoto com resolução submétrica. Embora os satélites da constelação SkySat sejam maiores que os *cubesats* da Planet, eles usam componentes eletrônicos comerciais, como os empregados na indústria automotiva. A Planet lançou 146 satélites em 2017.

A empresa Axelspace, por exemplo, sediada no Japão, oferece serviços relacionados a nanosatélites e está moldada em uma nova forma de modelo de negócios na área espacial, embora não esteja ligada exatamente ao uso de *cubesats*. No entanto, o

modelo de negócios por ela adotado pode ter implicações no mercado mundial que podem ser refletidas no uso de *cubesats*.

Vale ressaltar que ainda não existem empresas brasileiras dedicadas ao desenvolvimento, produção e comercialização de microssatélites, nanosatélites e *cubesats*, tanto no que se refere ao desenvolvimento de hardware quanto de software.

No que diz respeito a oportunidades para empresas brasileiras no mercado espacial, os dados mostram que, no Brasil, os investidores ainda não despertaram para o grande potencial que há para o uso de satélites de pequeno porte, seja relacionado ao desenvolvimento de hardware seja relacionado à utilização das aplicações proporcionadas por esses artefatos.

Cubesats: cooperação internacional

Uma das vantagens do uso de *cubesats* é o potencial para estabelecimento de cooperações internacionais em várias áreas do conhecimento, sejam científicas, tecnológicas ou de aplicações. Tal potencial é explicado pelas características de desenvolvimento inerentes a eles, em especial as relacionadas a custo e equipes, ambas pequenas.



Fig. 24: Objetivos do projeto QB50. Crédito: <https://www.qb50.eu/index.php/project-description-obj/mission-objectives>

Por exemplo, em 2017, a constelação acadêmica QB50 foi oficialmente lançada, sendo que 36 desses artefatos já se encontram em órbita. Estão envolvidos nessa cooperação

22 países. Essa constelação pretende colocar em órbita 50 *cubesats* (2U e 3U) para efetuar medidas da termosfera, entre 90 e 350 km. Além desse objetivo científico, alguns *cubesats* serão utilizados para a realização de testes relacionados a demonstrações de novas tecnologias espaciais. A Figura 24 ilustra o conceito do projeto QB50 em termos de objetivos. É importante notar a ênfase dada à facilitação de acesso ao espaço que os *cubesats* proporcionam.

Cubesats: situação brasileira

No Brasil, organizações civis e instituições universitárias têm participado diretamente no desenvolvimento de *cubesats*. Dentre elas, encontram-se o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a Agência Espacial Brasileira (AEB), a Universidade Federal de Santa Maria, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica, a Universidade de Brasília, o Instituto Federal Fluminense, o Instituto Mauá de Tecnologia e as universidades federais do ABC, de Minas Gerais e de Santa Catarina.

É oportuno salientar que uma das primeiras iniciativas oficiais para a promoção do desenvolvimento de satélites de pequeno porte no Brasil se deu por meio da AEB, em 2008. Tal iniciativa se materializou em 2009 na forma de um convênio com a Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológicos (LSI-TEC), ligado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para “promover estudos para a elaboração de plano estratégico para iniciativas de capacitação nacional em satélites de pequeno porte”. Na justificativa de celebração desse convênio constava:

Um programa de desenvolvimento de satélites de pequeno porte é de interesse direto do Programa Espacial Brasileiro por ter a capacidade de diminuir o ciclo de desenvolvimento da tecnologia espacial e dos próprios satélites, além de capacitar equipes e atender, mesmo que por um curto período, demandas da sociedade. A diminuição do ciclo de fabricação dos satélites é uma grande forma de se acelerar o processo de desenvolvimento, qualificação, homologação e produção em série dos diversos componentes e das diferentes soluções que integram os satélites. Ainda se alinha com as diretrizes da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE) e o Programa Nacional de Atividades (PNAE) 2005-2014, onde se prevê um significativo índice de participação da indústria nacional em um futuro próximo.

Os satélites de pequeno porte, de modo geral, apresentam uma série de vantagens, do ponto de vista filosófico e político, que podem ser fundamentais para um rápido desenvolvimento do setor. Podem ser testadas novas metodologias de gestão de projetos, como o *design* conjunto dos subsistemas, funcionando como um laboratório de concepções de soluções alternativas e inovadoras e melhorando as novas ferramentas de gestão de projetos.

As inovações normalmente ocorrem nas universidades, ao passo em que formam recursos humanos altamente qualificados, e seguem um padrão passando por centros de pesquisas e atingem a maturidade quando são transferidas para a indústria e posteriormente produzidas para a sociedade por meio dos *spins-offs*. Neste sentido, os

satélites de pequeno porte são praticamente imbatíveis quando se trata da reutilização dos subsistemas e a utilização da inovação em um subsistema com redundância, onde está presente o novo sem deixar de lado o já qualificado, propiciando o desenvolvimento regional através de um acesso rápido e barato ao espaço, numa abordagem até então inexistente no Brasil.

Além da vocação de formação existente nos satélites de pequeno porte há também os objetivos técnicos, como científicos, meteorológicos e até sociais. Destacam-se as aplicações de ordem científica, meteorológica e também de sensoriamento remoto, as quais podem ser utilizadas em prol dos estudos demográficos, do manejo florestal, da defesa das fronteiras, do planejamento urbano, da agricultura e da defesa civil.

Por fim, o modelo de negócios envolvido nos programas de satélites de pequeno porte possui o foco voltado para a formação de recursos humanos e desenvolvimento de componentes realizado no País, fortalecendo a indústria e evitando problemas com embargos estrangeiros. Os subsistemas desenvolvidos são reutilizáveis, o que diminui o custo individual, com o aumento de missões, e o tempo de desenvolvimento, fabricação e integração, o que torna o programa menos propenso a rotatividade nas equipes envolvidas. No futuro, é possível tornar comercial este modelo proposto e iniciar vendas dos kits de satélites para países parceiros interessados.

Portanto, há cerca de nove anos, quando ainda não havia se intensificado no mundo o uso de *cubesats* para atender as mais diversas aplicações espaciais, já havia uma iniciativa para promover o desenvolvimento de satélites de pequeno porte no Brasil de uma forma estruturada promovida pelo órgão responsável pela coordenação das atividades espaciais no Brasil, a AEB. Outras iniciativas, como a de grupos de pesquisa ligados ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), também foram feitas por essa época.

O Brasil desenvolveu e lançou, até o momento, três *cubesats*. O primeiro, NanosatC-BR1, mostrado na Figura 25, foi desenvolvido por meio de uma parceria entre o Centro Regional Sul (CRS) do INPE no Rio Grande do Sul e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Era composto por uma unidade (1U) e levava experimentos para medir a intensidade do campo magnético da Terra e para testar em órbita uma tecnologia de circuitos integrados resistentes à radiação desenvolvidos no País. Partes desse *cubesat*, como a plataforma e o magnetômetro utilizado na carga útil, foram compradas de empresas estrangeiras, como as holandesas ISIS e Xensor Integration.

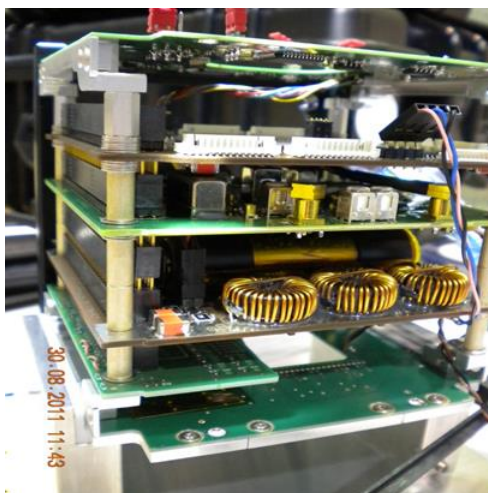


Fig. 25: *Cubesat* NanosatC-BR1.
Crédito: <http://www3.inpe.br/crs/nanosat/galeria.php>.

A ISIS (*Innovative Solutions In Space*) é uma empresa fundada em 2006 por profissionais oriundos da Delft University of Technology, na Holanda, que apostou nas possibilidades de negócios que o mercado de pequenos satélites estava sinalizado. As partes desenvolvidas no Brasil consistiam em circuitos integrados projetados por instituições nacionais para ser testados quanto à resistência à radiação no ambiente espacial, um dispositivo para acionamento remoto de cargas úteis, e um software para gerenciar os problemas causados por efeitos da radiação ionizante em um FPGA (*field-programmable gate array*).

O segundo *cubesat*, SERPENS (3U), mostrado na Figura 26, foi projetado na UnB, com sistemas fornecidos pela empresa italiana Gauss. Levava um receptor e transmissor (transponder) de dados ambientais, semelhante ao do satélite SCD1, desenvolvido pelo INPE, um experimento de propulsão de plasma pulsado, feito pela Universidade de Southampton e pela empresa inglesa Clyde Space, e um experimento que consistia em um transponder digital para radioamadores. Esses dois primeiros satélites contaram com o apoio de um convênio firmado entre a AEB e o LSITEC, em 2008.



Fig. 26: Serpens sendo lançado da Estação Espacial Internacional. Crédito: Adaptado de JAXA.

O terceiro *cubesat*, lançado em agosto de 2015, foi o AESP-14 (1U), desenvolvido pelo ITA em conjunto com o INPE. Esse satélite tinha como principal objetivo qualificar engenheiros, estudantes e pesquisadores no Brasil. O Serpens operou com sucesso até março de 2016. Carregava um experimento para radioamador. O AESP-14 é mostrado na Figura 25.

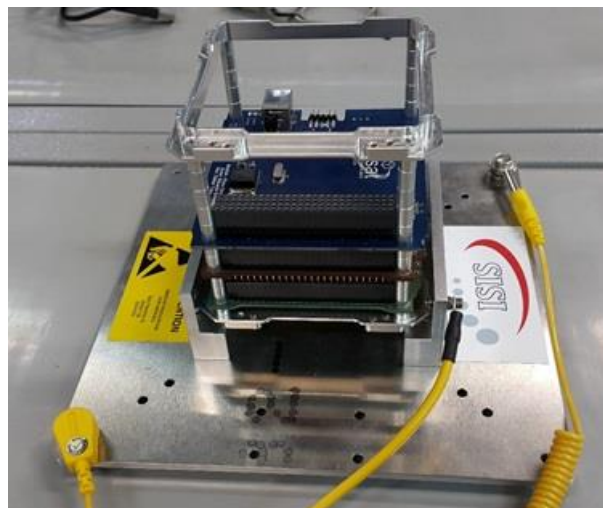


Fig. 27: *Cubesat* AESP-14 (1U).

Há ainda pelo menos quatro missões de *cubesats* em desenvolvimento no País. O CONASAT (8U), uma parceria entre o Centro Regional Nordeste (CRN) do INPE no Rio Grande do Norte e a UFRN, deverá dar continuidade aos serviços de coleta de dados

ambientais prestados pelos satélites SCD1 e 2, lançados em 1993 e 1998, respectivamente. Deverão ser lançados dois ou três destes satélites. O Itasat, um satélite 6U feito pelo ITA com apoio do INPE, deverá ser lançado em 2018 e levará a bordo, como experimentos, um receptor de sinais da constelação GPS, um transponder de coleta de dados, feito pelo CRN do INPE, e uma câmera no espectro visível. O Itasat é mostrado na Figura 28.

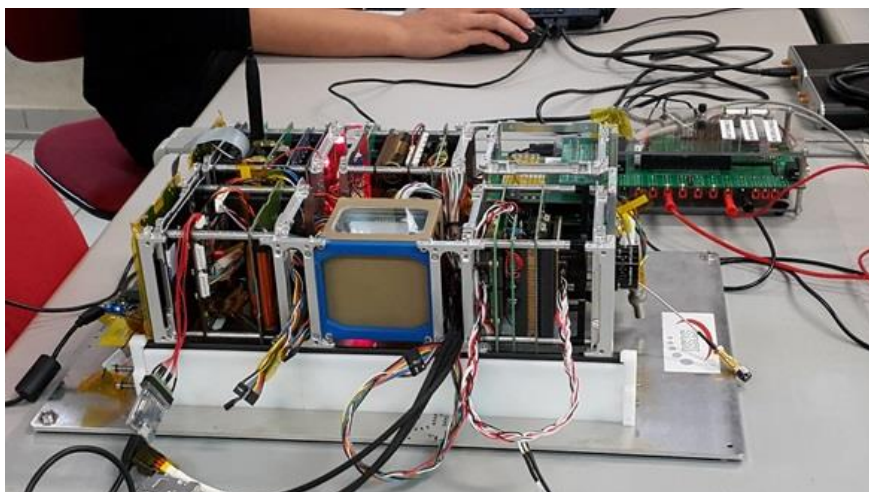


Fig. 28: *Cubesat* Itasat (6U). Pode-se comparar o tamanho desse satélite com o braço de uma pessoa ao fundo.

Há uma possibilidade de haver uma continuação do programa Itasat com um segundo *cubesat* (Itasat 2), que terá um sistema de controle de atitude aprimorado e uma variante deste, a missão SPORT, em colaboração com a NASA, voltada para estudo do clima espacial e de bolhas de plasma na ionosfera (SPANN *et alii.* 2017), todos com fator de forma 6U. A continuação das missões SERPENS deverá gerar o SERPENS 2, também 3U, sob gerenciamento da UFABC. O segundo nanosatélite científico, NanosatC-BR2, de fator de forma 2U, está quase finalizado, e deve ser lançado ainda em 2018. Levará a bordo um transponder para radioamador, um experimento microprocessado para determinação de atitude com magnetômetro e sensor solar e uma placa com componentes resistentes à radiação.

Alguns desenvolvimentos nacionais na área de *cubesats*

Existem atualmente no País várias instituições que estão desenvolvendo projetos relacionados a *cubesats*, como o INPE, o Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), a Universidade de Brasília (UnB), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), a

Universidade Federal do ABC (UFABC), o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), entre outras.

O IMT mantém equipe e laboratórios devotados ao desenvolvimento de *cubesats*. Esse projeto é desenvolvido pelo Núcleo de Sistemas Eletrônicos Embarcados (NSEE) e tem duas linhas de pesquisa: sistemas dinâmicos, em que se trabalha em modelagem, simulação e implementação de sistemas de controle bem como de estruturas de controle e identificação tempo real e em batelada, e sistemas críticos embarcados, em especial com a especificação, o desenvolvimento e testes de sistemas que envolvem severas restrições de operação solicitando soluções não convencionais de engenharia.

O grupo do NSEE tem o objetivo de construir um modelo de engenharia de um *cubesat* utilizando componentes comerciais. Esse projeto teve início em 2014, com a criação de modelos 3D e estudo de soluções de mercado. A experiência de outras universidades serviu de base para essa iniciativa. O estado de desenvolvimento de alguns módulos desse projeto de *cubesat* foi analisado em termos de suas maturidades tecnológicas (TRL). Em 2017, dos 16 módulos analisados, 7 encontravam-se em TRL 4 e 2 em TRL 6.

Dentre os trabalhos realizados pelo IMT, podem ser citados os painéis solares que se abrem depois do lançamento, o sistema de telecomunicações em rádio para telecomando e telemetria. Há também um projeto em andamento para desenvolver bobinas magnéticas de torque para uso em *cubesats*, apresentada na Figura 29, assim como na Universidade Federal de Santa Maria. Há ainda outro projeto sobre essa mesma tecnologia em desenvolvimento pela equipe do Itasat, por meio de um trabalho de graduação. Neste último pretende-se desenvolver uma placa de acionamento para o conjunto de bobinas, semelhante a acionadores magnéticos existentes para *cubesats*. O IMT também tem uma iniciativa em andamento para desenvolver um ADCS para *cubesats*.

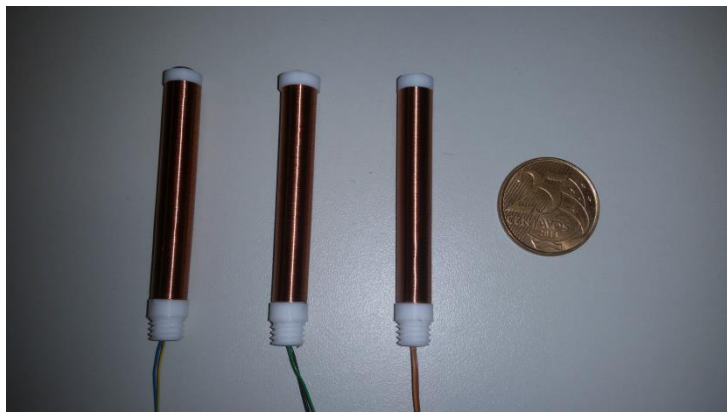


Figura 29: Bobinas desenvolvidas pelo Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).
Fonte: IMT.

O Itasat, um *cubesat* 6U desenvolvido pelo ITA, emprega um controle de atitude em 3 eixos com rodas de reação, magnetômetro e sensor solar. Seu lançamento deverá ocorrer somente em 2018 e deverá se tornar o primeiro satélite controlado em três eixos com *software* de controle totalmente desenvolvido no País. Dessa forma, um *cubesat* vai poder contribuir para um domínio tecnológico nacional importante na área espacial.

O Laboratório de Física dos Plasmas do Instituto de Física da Universidade de Brasília (UnB) desenvolve propulsores elétricos do tipo Hall desde 2002. Esse projeto é um dos primeiros do gênero em universidades brasileiras e é realizado em colaboração com pesquisadores do INPE desde 1985. Os propulsores elétricos têm assumido um papel de destaque devido à sua capacidade de operação por longo prazo produzindo empuxos controlados consoante as necessidades específicas de cada missão. Espera-se que, em breve, as necessidades operacionais de micro e nanosatélites possam ser supridas por esse tipo de propulsor. Neste momento, o Laboratório de Plasmas do IF da UnB possui experiência nos seguintes propulsores elétricos: Hall anelar, Hall cilíndrico e Elétrico ambipolar

A UnB tem uma câmara de vácuo (apresentada na Figura 30) com 2,5 m de comprimento e diâmetro interno de 1,5 m, capaz de atingir uma pressão de base de 10^{-6} mmHg, que será usada para testes de propulsores elétricos.

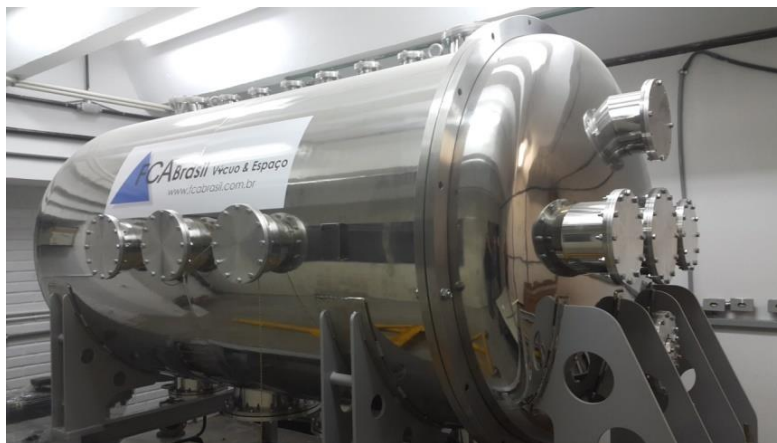


Figura 30: Câmara de vácuo da Universidade de Brasília para desenvolvimento, testes e qualificação de propulsores a plasma. Crédito: UnB.

Diversas iniciativas de desenvolvimento de magnetômetros foram realizadas no País, porém nenhuma delas teve aplicação em satélites, exceto um experimento de determinação de atitude que deverá ser embarcado no *cubesat* NBR-2 como carga útil. Com o advento de novas técnicas de mensuração magnética, como o efeito Hall e o

magneto-resistivo, tornou-se possível produzir magnetômetros com dimensões, consumo e massa reduzidas. Estes sensores não estão submetidos a controle de exportação, o que permite que sejam facilmente integrados em placas microprocessadas para uso em satélites.

Cubesats: recursos humanos disponíveis no País

De forma a avaliar os recursos humanos no Brasil que já estejam desenvolvendo trabalhos relacionados a *cubesats*, foi utilizada a ferramenta insightNet do CGEE para formar a rede de conhecimento sobre esse tema com base nas informações curriculares que constam na Plataforma Lattes do CNPq. As informações curriculares que constam nessa base registram contribuições efetivamente realizadas pelos autores, de modo que se constituem em um indicador confiável sobre a capacidade técnico-científica nacional em diferentes áreas do conhecimento. No total, a ferramenta encontrou 157 pessoas, em diferentes níveis de especialização, cujas informações curriculares mostram contribuições relacionadas ao tema *cubesat*. Os níveis de formação desses profissionais são: 31 graduados, 27 mestres, 66 doutores, 4 especialistas e 29 estudantes de graduação. Na Figura 31 é apresentada a forma como se dão os relacionamentos nessa rede. O diâmetro dos círculos representa a produção técnico-científica da pessoa e as cores dos círculos identificam as subáreas do tema em que elas atuam. A análise das redes obtidas por essa ferramenta é fundamental para selecionar os profissionais que efetivamente possam desenvolver tecnologias críticas para o setor espacial brasileiro. Esta rede é composta por um total de 157 profissionais.

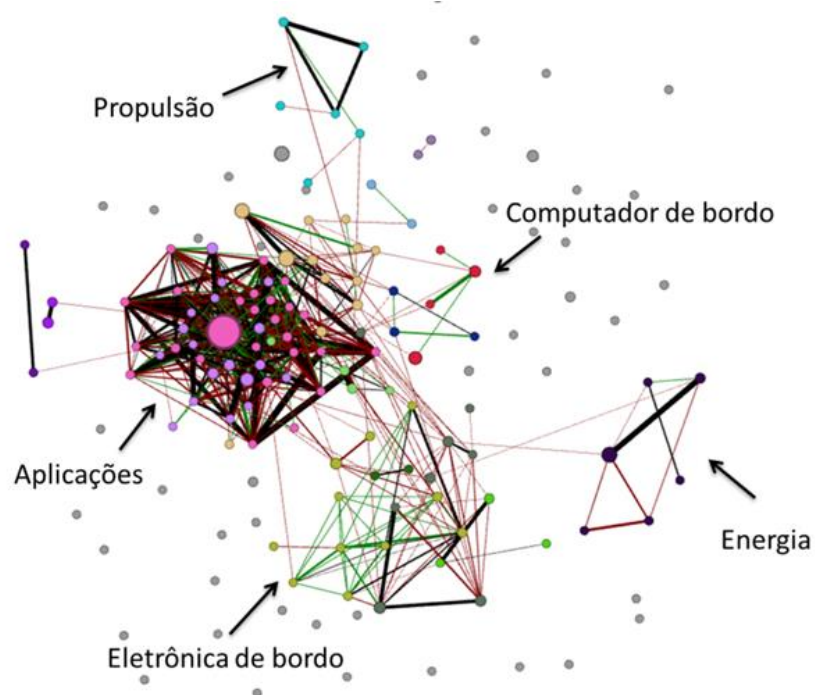


Fig. 31: Rede de conhecimento relacionada a *cubesats* no Brasil.

Cubesats podem atender demandas objetivas. No caso do setor espacial brasileiro, várias demandas poderiam ser atendidas por meio do uso de *cubesats*. Por exemplo, o desenvolvimento de sistemas de controle de atitude e órbita, uma tecnologia que há anos vem sendo perseguida, pode se beneficiar de testes reais em órbita com *cubesats* (e.g. TERABA *et alii*. 2009); o sensoriamento remoto do território nacional, foco constante do setor espacial brasileiro, também poderia testar várias soluções com *cubesats*.

Em suma, os *cubesats* apresentam oportunidades interessantes para o setor espacial brasileiro. Essas oportunidades incluem a possibilidade de treinamento rápido de recursos humanos para o setor, incluindo todo o ciclo de desenvolvimento de missões espaciais, de testes de tecnologias de interesse do PEB, de negócios para empresas nacionais e de viabilização de um projeto importante como o VLM. Uma oportunidade extremamente importante é o atendimento de demandas públicas e privadas de forma rápida e com custos atraentes.

Por outro lado, há ainda gargalos e obstáculos que precisam ser transpostos, como o fato de as atividades com *cubesats* estarem ainda limitadas ao meio acadêmico e de pesquisa, os modelos de negócios serem ainda baseados no paradigma de alta confiabilidade, que acarreta um modelo com altos custos e longo tempo de desenvolvimento. Um fato interessante de ser destacado é que a tendência de uso de *cubesats* observada no âmbito internacional ainda não foi internalizada de maneira clara no setor espacial brasileiro.

Recomendações

As informações que são produzidas pelo OTE têm como objetivo subsidiar o setor espacial para que decisões a respeito de desenvolvimentos de projetos e adoções de missões espaciais sejam tomadas com base em informações precisas e atuais. Dessa forma, em vista dos resultados obtidos pelo OTE mostrados nas sessões anteriores deste documento, e em cotejo com o que tem sido feito em termos mundiais, algumas recomendações (REC) para o setor espacial brasileiro em geral, envolvendo instituições de pesquisa, de fomento, de gestão e empresas, são apresentadas a seguir, obviamente como sugestões.

O atual cenário de uso de satélites de pequeno porte no mundo se apresenta como uma excelente oportunidade para estimular o uso desse tipo de artefato junto às comunidades técnico-científica e empresarial do País, para que elas possam ter acesso a aplicações espaciais que, até agora, só eram possíveis com o emprego de satélites de alto custo. Além disso, esse cenário propicia que empresas nacionais possam participar do mercado de lançamento de satélites de pequeno porte, com o desenvolvimento de lançadores desse tipo de artefato.

Assim, o OTE sugere às agências de fomento de C&T que viabilizem ações para:

- **REC1 - Fomentar** o desenvolvimento de satélites de pequeno porte e suas aplicações em instituições nacionais de pesquisa, por meio de ações integradas nos âmbitos nacional e estadual, para apoiar universidades e institutos de pesquisa. Esse fomento poderia se dar por meio de acordos entre a AEB, como coordenadora dessas ações, e as agências de fomento de C&T, como CNPq, Finep, BNDES e fundações estaduais de apoio à pesquisa, com o objetivo de apoiar programas que visem ao domínio de tecnologias de interesse do Programa Espacial Brasileiro (PEB).
- **REC2** - Em relação ao setor privado, há atualmente um interesse mundial crescente para o estabelecimento de pequenas empresas para atuar no mercado de satélites de pequeno porte. Esses interesses abrangem diversos setores desse mercado, que vão desde o desenvolvimento de hardware para *cubesats* até a prestação de serviços, como provimento de imagens de sensoriamento remoto. Aproveitar a situação internacional atual e **utilizar** recursos específicos de agências de fomento em investimentos que visem estimular a inovação no setor espacial é uma ação eficaz para alavancar esse setor no Brasil.
- **REC3** – No fomento a satélites de pequeno porte, **priorizar** o desenvolvimento de satélites que sigam a metodologia preconizada pela norma ISO 19683:2017.
- **REC4** - E, seguindo essa norma, priorizar o desenvolvimento de *cubesats*.

A priorização para o apoio ao desenvolvimento de *cubesats* tem as seguintes razões para ser adotada:

- Em função de a plataforma *cubesat* ser um padrão já estabelecido, a sua adoção minimiza o risco de desenvolvimento.
- Por se tratar de um padrão com arquitetura aberta, as informações cruciais sobre a plataforma encontram-se facilmente disponíveis, sem custo.
- Também devido ao fato de ser um padrão com arquitetura aberta, os projetos dos módulos de lançamento também se encontram padronizados e disponíveis sem custo.
- Por terem pequenas dimensões e serem padronizados, os custos de lançamento são minimizados.
- Devido à padronização e ao extensivo uso dessa plataforma, vários subsistemas, equipamentos e componentes estão disponíveis a um custo baixo e vários já têm histórico de voo.
- Além do menor custo associado ao seu emprego, o fato de essa plataforma estar se tornando um padrão propiciou o surgimento de vários componentes e equipamentos para diferentes cargas úteis a um custo muito menor se comparado ao das plataformas tradicionais.
- Os *cubesats* proporcionam atendimento de diversas necessidades por aplicações espaciais em curto prazo.

Tendo sido adotada a premissa de utilizar o padrão *cubesat* como prioridade para o desenvolvimento de satélites que sigam a norma ISO 19683:2017, estimular, por meio de disponibilização de recursos específicos, os principais institutos de pesquisa da área espacial para:

- **REC5 - Utilizar** essa plataforma para desenvolver tecnologias espaciais de interesse do PEB.
- **REC6** – Além de desenvolver essas tecnologias, **utilizar** *cubesats* com cargas úteis para atender diferentes necessidades de usuários nacionais, nas áreas de sensoriamento remoto, defesa, ciência, entre outros.
- **REC7** - Lembrando que duas tecnologias de interesse do INPE são AOCS e SWIR, é natural **utilizar** *cubesats* para desenvolver *know-how* nacional sobre essas duas tecnologias.
- **REC8** – Assim, dentro dessa abordagem, **estimular** o projeto de um *cubesat* que atenda, simultaneamente, o desenvolvimento dessas duas tecnologias.
- **REC9** - Partindo do pressuposto de que este primeiro *cubesat* com essas duas tecnologias tenha um custo baixo, **utilizar**, na carga útil, o máximo possível,

componentes COTS. Em especial, o uso de componentes COTS com herança de voo também auxilia a diminuir os riscos da missão.

- **REC10** - Esse satélite, além de seguir a REC9, deve ser desenvolvido buscando sempre que possível a utilização de componentes não controlados internacionalmente pelos ditames do *International Traffic in Arms Regulations* (ITAR), visando facilitar a execução do projeto.
- **REC11** - Também para **minimizar** custos, principalmente aqueles relacionados ao lançamento, o fator de forma deste *cubesat* não deve ultrapassar 6U.
- **REC12** - Dentro dessa premissa de diminuição de custos, **utilizar** também na plataforma, na sua maioria, equipamentos e componentes COTS.
- **REC13** - No que diz respeito à plataforma *cubesat*, **estimular** o domínio incremental de:
 - Fabricação de estruturas, desde as metálicas clássicas até aquelas com diferentes tecnologias, como manufatura híbrida, impressão 3D com uso de materiais para aplicação espacial, etc.
 - Sensores de captação de energia solar.
 - Sistemas de controle e distribuição de energia elétrica.
 - Software de controle e de gerenciamento de dados de bordo.
 - Software de controle de atitude.
- **REC14** - O primeiro *cubesat* deve se preocupar apenas em controlar a atitude do satélite e não a sua órbita. Sendo assim, **desenvolver** um ADCS e não um AOCS para este primeiro *cubesat*. Deve ser evidenciado o fato de que será possível, com esse *cubesat*, testar, em voo, pela primeira vez em termos nacionais, um software de controle de atitude desenvolvido inteiramente no país.
- **REC15** - Depois de comprovada a operacionalidade em voo do sistema projetado, **evoluir**, paulatinamente, o ADCS desse primeiro *cubesat* para um AOCS, de acordo com um programa de gerenciamento tecnológico a ser conduzido pela AEB.
- **REC16** – Depois de comprovada a operacionalidade em voo do sistema ADCS projetado, **estimular** o domínio de tecnologias específicas para esse sistema.

Assim, em função da existência de *know-how* nacional capaz de aumentar o domínio tecnológico na área de sensores e atuadores para ADCS, é importante:

- **REC17 - Desenvolver**, no País, equipamentos miniaturizados para aplicações em plataformas *cubesat*, como sensores de estrelas, magnotorquers e giroscópios de fibra óptica, rodas de reação, propulsores elétricos, entre outros. Esse desenvolvimento deve ser programado tendo por base um programa de gerenciamento tecnológico a ser definido pela AEB.

Em relação à carga útil desse *cubesat*, a óptica a ser utilizada deve ser a mais simples possível, portanto:

- **REC18 - Utilizar** em seu projeto *know-how* já disponível no país.
- **REC19** - Em relação à câmera SWIR, a carga útil desse primeiro *cubesat* deve **utilizar** sistemas comerciais comprovadamente funcionais.

Para ajudar no desenvolvimento dessa câmera SWIR e comprovar a sua utilidade em termos de obtenção de imagens em condições de observação adversas, como na presença de nuvens ou fumaça no campo de visada, é importante que haja um sistema imageador no óptico dividindo o mesmo plano focal com o imageador SWIR. Tal fato possibilitaria uma comparação direta das imagens de uma mesma região do solo feitas com um imageador SWIR e com um imageador no visível. Dessa forma, é aconselhável:

- **REC20 - Desenvolver** um imageador na faixa espectral do visível (RGB) para atuar em conjunto com o imageador SWIR.
- **REC21** - Seria também interessante **desenvolver** duas opções de óptica, uma refletiva e outra refrativa, de forma a permitir algumas comparações entre as duas em termos de praticidade e economicidade de construção do sistema óptico.
- **REC22** - Depois de comprovada a operacionalidade em voo desse primeiro sistema, **estimular** a evolução dessa óptica para configurações mais sofisticadas, como a arquitetura Korsch (TMA - *three mirror anastigmatic*). Essa arquitetura tem sido utilizada em satélites de maior porte e poderia ser testada em uma plataforma *cubesat* 3U ou 6U, de forma a ganhar experiência para aplicar essa configuração em satélites de maior porte no futuro. O uso de técnicas de processamento de imagens também é uma alternativa para melhorar a resolução em solo, a exemplo do que é feito pela empresa Planet com seus *cubesats*.
- **REC23** - Depois de comprovada a operacionalidade em voo do primeiro sistema projetado, **estimular** o domínio de outras tecnologias complementares a esse imageador, como o desenvolvimento do próprio sensor de SWIR, dos *readout integrated circuit* (ROIC) para esses sensores, e do aprimoramento da óptica, como algumas configurações *off-axis*.
- **REC24** - Uma vez comprovada a possibilidade de aplicação funcional desse *cubesat*, **traçar** rotas de domínio tecnológico que permitam o domínio gradual das tecnologias de interesse do PEB.

Como consequência da explosão do emprego de satélites de pequeno porte em termos mundiais, o mercado para lançadores de pequeno porte apresenta-se como altamente promissor, conforme atestado por previsões de várias consultorias

internacionais, como observado pelo OTE. Da mesma forma que há uma excelente janela de oportunidade para empresas ingressarem no mercado de satélites de pequeno porte, há, no que se refere a lançadores desse tipo de satélite, uma oportunidade ímpar de inserção nesse mercado para empresas nacionais.

- **REC25** – Assim, o País pode vislumbrar uma grande oportunidade de competir no mercado internacional de lançadores de pequeno porte se **incentivar** o desenvolvimento desse tipo de artefato. Essa é uma oportunidade importante para empresas brasileiras. Em especial, já há bom desenvolvimento tecnológico relacionado ao Veículo Lançador de Microsatélites (VLM), no IAE/DCTA, que pode ser aproveitado para inserir o Brasil de forma vigorosa nesse mercado. Porém, além do VLM, há certamente no País *know-how* suficiente em empresas da área de defesa que poderiam competir nesse mercado. Há, ainda, um represamento de lançamentos de satélites de pequeno porte atualmente e há uma pressão no mercado para que não aconteça o que aconteceu em 2016, quando a oferta de lançadores, devido, principalmente, a falhas ocorridas nos lançadores, não foi capaz de suprir a demanda proporcionada por satélites de pequeno porte. Portanto, é uma grande oportunidade para o setor espacial brasileiro, que deve **investir** no desenvolvimento desse tipo de lançadores.

No que diz respeito a oportunidades para empresas brasileiras no mercado espacial, os dados mostram que, no Brasil, os investidores ainda não despertaram para o grande potencial que há para o uso de satélites de pequeno porte, tanto no que se refere ao desenvolvimento de hardware quanto à utilização das aplicações proporcionadas por esses artefatos. O relatório *Bryce Space and Technology, Start-up Space 2017 – Update on Investment in Commercial Space Ventures* mostra que, na América do Sul, há investidores nessa área apenas na Argentina. Tal fato se configura, ao mesmo tempo, em uma oportunidade e em uma ameaça. Oportunidade porque são poucos concorrentes ainda para empresas nacionais poderem realizar negócios no continente. E se torna uma ameaça porque a entrada tardia de investidores nacionais nesse mercado certamente prejudicará a obtenção de clientes na região.

- **REC26** – Assim, o setor empresarial poderia **investir** na formação de empresas para explorar o mercado de *lean satellites*, em especial o de *cubesats*. Há nichos interessantes para desenvolvimento de hardware, como cargas úteis para imageamento no óptico e no infravermelho, sistemas de gerenciamento de dados de bordo, etc., que poderiam se beneficiar da expertise existente localmente.
- **REC27** – Ainda em relação ao setor privado, há atualmente um interesse crescente no mundo no estabelecimento de empresas de pequeno porte que se valem de *angel investors* ou *joint ventures* para entrar no mercado espacial.

Assim, seria oportuno para o setor privado nacional **investir** no estabelecimento de empresas nacionais, como sugerido na REC27, também por meio de *angel investors* ou *joint ventures*.

Conclusões

Este documento apresentou um breve panorama sobre *cubesats* no mundo e no Brasil. Basicamente, foram coletados e analisados dados relacionados a esse tipo de plataforma. São também apresentadas algumas informações sobre veículos capazes de lançar ao espaço satélites de pequeno porte, o que inclui os *cubesats*.

Os dados coletados pela ferramenta InsightData do CGEE mostram que houve um aumento no interesse mundial pelo desenvolvimento de satélites de pequeno porte, assim como pelo desenvolvimento de veículos lançadores desse tipo de satélites. Esses dados indicam que há uma clara tendência mundial do uso de satélites de pequeno porte, em especial *cubesats*, para atender a diferentes necessidades, notadamente as relacionadas a sensoriamento remoto e aplicações científicas.

Os lançamentos de nano e microsatélites em 2017 ultrapassaram as expectativas dos analistas de mercado, uma vez que eles não previram que fosse possível haver um aumento de 205% em relação aos lançamentos de 2016. Dos cerca de 300 satélites dessas categorias lançados em 2017, a maioria foi de *cubesats*. Em particular, um fato chamou a atenção em relação a esses lançamentos: 104 satélites lançados por um único veículo lançador indiano PSLV C37, um recorde até o momento.

Esses satélites de pequeno porte estão sendo construídos por meio de uma metodologia de desenvolvimento diferente da tradicional. Os satélites que são desenvolvidos por meio dessa nova metodologia são conhecidos como *lean satellites*. Diminuição de custos, cronogramas mais curtos e pequenas equipes, se comparado ao desenvolvimento de satélites tradicionais, além do uso extensivo de componentes comerciais (COTS), promovem o acesso rápido ao espaço de instituições e países que antes, premidos pelos altos custos inerentes à atividade espacial, eram impedidos de ter acesso às aplicações espaciais de seus interesses.

A publicação da norma ISO 19683:2017(E) (*Space systems — Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units*), em julho de 2017, confirma, em termos práticos, essa tendência mundial. E indica que há um interesse de diversos setores em utilizar esse tipo de artefato para as mais diversas aplicações. Essa norma apresenta os requisitos e os métodos de testes para o projeto de qualificação e/ou de aceitação de satélites de pequeno porte. Ela também apresenta os testes e os requisitos mínimos necessários para qualificar o projeto e os métodos de construção de pequenos satélites comerciais e também aceitar os respectivos produtos finais. Ela dá ênfase à melhoria de confiabilidade dos métodos de projeto, construção e testes desse tipo de plataforma para evitar a chamada “mortalidade infantil” dos satélites

após o seu lançamento em órbita, mantendo, porém, a visão de baixo custo e desenvolvimento rápido para esse tipo de satélite.

Essa norma se destina a satélites cuja metodologia de desenvolvimento seja diferente da metodologia tradicionalmente utilizada, em que há pouca tolerância a risco. O escopo dessa norma se aplica a diferentes categorias de satélites de pequeno porte, incluindo os mini, micro, pico, femto-satélites e *cubesats*, desde que eles sejam desenvolvidos por meio de processos não tradicionais. Com a edição dessa norma, provavelmente haverá um estímulo ainda maior do que o visto até o momento para que novos países, instituições de pesquisa e empresas se interessem por produzir tais artefatos.

O estabelecimento dessa norma ISO é uma clara demonstração de que um novo paradigma no setor espacial está se estabelecendo. Esse novo paradigma traz consigo várias oportunidades que podem ser exploradas pelo setor espacial brasileiro, principalmente por empresas. Dessa forma, desenvolver internamente no País cargas úteis que possam ser embarcadas em plataformas *cubesat* parece ser uma iniciativa interessante que deve ser estimulada em todo o setor espacial brasileiro, em particular para permitir o desenvolvimento de tecnologias e treinamento de pessoal para esse setor (VILLELA *et alii* 2014).

A qualidade dos equipamentos colocados em órbita tem também preocupado algumas instituições, como a NASA, que atualizou uma publicação que trata do estado da arte de tecnologias empregadas em satélites de pequeno porte e seus respectivos níveis de maturidade tecnológica (NASA 2015).

Missões de sensoriamento remoto são particularmente vantajosas para nações com dimensões continentais e grande área cultivável, trazendo grandes benefícios a custos módicos para o país.

Os números apresentados neste documento sugerem que a tendência de uso de pequenos satélites está se estabelecendo de forma sustentável. Tal tendência cria inúmeras oportunidades no uso de aplicações espaciais para atender diferentes demandas como também oportunidades de negócios para empresas privadas. Tais oportunidades podem ser exemplificadas pela situação das empresas nos EUA.

De acordo com a *Satellite Industry Association* (SIA 2017), 45 dos 79 satélites lançados pelos EUA em 2016 foram *cubesats*. A construção desses satélites de pequeno porte fez com que houvesse um aumento na participação da indústria norte-americana na receita oriunda do mercado global de satélites de 63% para 64%. Esses *cubesats* foram lançados para prover serviços de observação da Terra por empresas particulares. Assim, vê-se que o conceito de privatização do espaço, uma outra tendência atual em

que as iniciativas no setor espacial começam a migrar do lado governamental para o privado, está começando a influenciar o cenário mundial e tem nos *cubesats* um exemplo claro.

Os *cubesats* mostram-se como uma oportunidade excelente para que empresas brasileiras possam ingressar na atividade espacial de forma rápida e eficaz. Uma das vantagens da arquitetura aberta de *cubesats* é que ela proporciona oportunidades claras para desenvolvedores se adaptarem de maneira objetiva e rápida aos padrões vigentes. Assim, a compra de kits no exterior por instituições nacionais poderia ser uma possibilidade cada vez menos utilizada, o que geraria oportunidades de negócios para empresas nacionais.

Por obedecerem a uma nova lógica, na qual a confiabilidade e, conseqüentemente, os custos de construção e de testes podem ser diminuídos, o tempo de desenvolvimento de uma missão espacial como um todo é igualmente reduzido. Os riscos associados ao uso de artefatos espaciais com confiabilidade menor que a exigida pela atual geração de satélites são amplamente compensados com a possibilidade de reposição, quase que imediata, desses artefatos em caso de falhas. Mais ainda, por se configurarem como alternativa rápida e de baixo custo de acesso ao espaço, os *cubesats* podem prover dados de forma muito mais rápida e a um custo muito menor que a atual forma de explorar as aplicações espaciais por meio de satélites de maior porte.

Naturalmente, a atual forma de utilização de aplicações espaciais com satélites de alta confiabilidade e de maior porte não deve ser evitada. Os *cubesats* não se apresentam como uma substituição desse modelo, mas sim como uma alternativa para alguns tipos de aplicações.

Convém destacar que setores brasileiros que podem se beneficiar de forma direta das aplicações espaciais, como os de defesa e monitoramento ambiental, podem ter nos *cubesats* uma forma bastante objetiva de ter suas necessidades de informações, sobre o território nacional, atendidas rapidamente e a um custo muito mais baixo que os inerentes à forma tradicional de acesso ao espaço.

Além das vantagens da arquitetura aberta, a padronização de métodos de teste e de aceitação de subsistemas e sistemas relacionados a *cubesats* certamente impulsionará ainda mais o desenvolvimento desse tipo de artefato e facilitará o acesso de novos atores ao mercado de satélites de pequeno porte.

Ao confrontar as informações do cenário internacional com as do nacional, vê-se que o Brasil segue os passos que os EUA deram no início da era desses pequenos satélites no que diz respeito ao envolvimento de universidades. Há no Brasil o interesse de grupos universitários nesse tipo de atividade e há capital humano em número necessário para

aproveitar essa tendência. No entanto, o Brasil não possui nenhuma patente referente a *cubesats*, apesar de já terem sido depositadas 131 patentes sobre esse assunto em escala mundial.

Também não há empresas brasileiras dedicadas ao desenvolvimento de *cubesats*, diferentemente do que ocorre nos EUA e Europa, onde, por exemplo, está sediada a empresa Isis, fornecedora de partes e equipamentos para algumas das iniciativas brasileiras. A produção técnico-científica nacional na área não é muito expressiva. Essas informações mostram que o Brasil ainda não despertou para as oportunidades que os *cubesats* oferecem, tanto para atender demandas objetivas por aplicações espaciais quanto para empresas se inserirem nesse novo mercado.

Uma oportunidade interessante para o setor espacial brasileiro, em especial o setor empresarial, é o envolvimento no desenvolvimento de veículos lançadores de pequeno porte que possam se dedicar ao mercado de lançamento de *cubesats* e outros satélites de pequeno porte. O fato de o Brasil ter uma base de lançamento como o CLA, no MA, pode ser um fator importante para esse tipo de empreitada.

Dicionário de siglas e acrônimos

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i> (conversor análogo-digital)
ADCS	Attitude Determination and Control System (sistema de determinação e controle de attitude)
AESP-14	<i>Cubesat</i> projetado e construído por alunos e bolsistas do ITA, com participação do INPE.
AMAZÔNIA	Satélite de observação da Terra produzido pelo INPE, baseado na PMM
BRISA	<i>BR</i> azilian <i>I</i> mager <i>f</i> or <i>S</i> wir <i>A</i> pplications (Imageador brasileiro para aplicações SWIR)
C&DH	<i>Computer and Data Handling</i> (subsistema de supervisão de bordo)
CBERS	China-Brazil Earth Remote Satellite (satélite sino-brasileiro de observação terrestre)
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i> (dispositivo de carga acoplada)
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CLA	Centro de Lançamento de Alcântara, em Alcântara (MA)
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i> (semicondutor de metal-óxido complementar)
CONASAT	Constelação de Nano-satélites Ambientais, do INPE
CONOPS	<i>Concept of Operations</i> (conceito de operações)
COTS	<i>Commercial Off-The-Shelf</i> (componentes comerciais de prateleira)
CRN	Centro Regional do Nordeste do INPE em Natal (RN)
CRS	Centro Regional Sul do INPE em Santa Maria (RS)
<i>Cubesat</i>	Nano-satélite de porte cúbico com 100 mm de lado
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do Comando da Aeronáutica.

EM	<i>Engineering Model</i> (modelo de engenharia)
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i> (compatibilidade eletromagnética)
EPS	<i>Electrical Power Supply</i> (Subsistema de suprimento de energia)
FAB	Força Aérea Brasileira
FDIR	<i>Failure Detection, Isolation and Recovery</i> (detecção, isolamento e recuperação de falhas)
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FM	<i>Flight Model</i> (modelo de voo)
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i> (arranjo de portas programável em campo)
FOV	<i>Field of View</i> (campo de visada)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (sistema de posicionamento global)
GSD	<i>Ground Sample Distance</i> (distância de amostra em solo)
GSE	<i>Ground Support Equipment</i> (equipamento de suporte em Terra)
ICD	<i>Interface Control Datasheet</i> (documento de controle de interfaces)
IMT	Instituto Mauá de Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INVAP	<i>Investigación Aplicada</i> (Empresa da Argentina)
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica do DCTA
ITASAT	Nano-satélite em projeto no ITA
ITAR	International Traffic in Arms Regulations (Regulamentos de Tráfego Internacional de Armas)
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MEMS	<i>Micro Electro-Mechanical Sensor</i> (sensor micro-eleto-mecânico)
MIR	<i>Mid Infrared</i> (infravermelho mediano)

MTF	<i>Modulation Transfer Function</i> (função de transferência de modulação)
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR-x	Nanossatélite Brasileiro NBR-1 e NBR-2
NORAD	<i>North American Aerospace Defense Command</i> (comando de defesa aeroespacial norte-americano)
PC104	Computador pessoal de pequenas dimensões (100 x 100 mm)
PEB	Programa Espacial Brasileiro
PID	Proporcional, Integral e Derivativo – tipo de controlador próprio para sistemas lineares
PMM	Plataforma Multi-Missão
P-POD	<i>Poly Picosatellite Orbital Deployer</i> (ejetor de pico-satélites orbitais)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (modulação por largura de pulso)
RDS	Rádio definido por <i>software</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i> (cores vermelho, verde e azul do espectro visível)
RW	<i>Reaction Wheel</i> (Roda de Reação)
SCA	Sistema de Controle de Atitude
SCAO	Sistema de Controle de Atitude e Órbita
SCDx	Satélite de Coleta de Dados (SCD1 e SCD2)
SERPENS-x	Sistema Espacial para Realização de Pesquisas e Experimentos com Nanossatélites
SIA	Sistemas Inerciais para Aplicações Aeroespaciais
SPORT	Scintillation Prediction Observations Research Task Nanosatellite
TRL	<i>Technology Readiness Level</i> (nível de maturidade tecnológica)
TT&C	Telemetry, Tracking and Command (Telemetria, Rastreamento e Comando)
UFABC	Universidade Federal do ABC paulista

UFSM	Universidade Federal de Santa Maria (RS)
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte (RN)
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> (Frequência ultra alta)
UnB	Universidade de Brasília
VHF	<i>Very High Frequency</i> (Frequência muito alta)
VISSWIR	<i>Visible and Short-Wavelength Infrared</i> (Câmera para detecção no espectro visível e infra-vermelho de pequeno comprimento de onda)

Referências

BOUWMEESTER, J.; GUO, J. Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem Technology, *Acta Astronautica*, vol. 67, o. 7-8, 854-862, 2010.

KULU, E. Nanosatellite Database, 2017. Disponível em: <http://www.nanosats.eu/>.

MUYLAERT J.; REINHARD, R.; ASMA, C. QB50: An international network of 50 *CubeSats*", Proceedings of the 7th Annual *Cubesat* Developers' Workshop, San Luis Obispo, California, USA, April 21-23, 2010, disponível em: http://www.cubesat.org/images/cubesat/presentations/DevelopersWorkshop2010/2_1020_qb50_vki_muylaert_apr2010_calpoly.pdf , 2010.

NAS - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Achieving Science with *CubeSats*: Thinking Inside the Box. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.17226/23503, 2016.

NASA GSFC. General Environmental Verification Standard (GEVS) for GSFC Flight Programs and Projects. (GSFC-STD-7000A). *NASA Goddard Space Flight Center*, Greenbelt, Maryland, 2013.

NASA - National Aeronautics and Space Administration, Small spacecraft Technology State of Art, NASA/TP–2015–216648/REV1, 2015.

NSF - National Science Foundation, Annual Report. *Cubesat*-Based Science Missions for Geospace and Atmospheric Research, 2013. Disponível em: <http://www.nsf.gov/geo/ags/uars/cubesat/nsf-nasa-annual-report-cubesat-2013.pdf>. (acessado em 31/08/2016).

SIA - SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION, State of the Satellite Industry Report, Bryce Space and Technology, 2017.

SCHOLZ, A. *CubeSat* Standards Handbook. A Survey of International Space Standards with Application for *CubeSat* Missions. *The LibreCube Initiative*. First Issue, 2017.

SELVA, D.; KREJCI, D. A survey and assessment of the capabilities of *Cubesats* for Earth observation, *Acta Astronautica*, Volume 74, pp. 50–68, 2012.

SPANN, J.; SWENSON, C.; DURÃO, O.; LOURES, L.; HEELIS, R.; BISHOP, R.; LE, G.; ABDU, M.; KRAUSE, L.; FRY, C.; CDENARDINI, C.; SHIBUYA, L.; CASAS, J.; NASH-STEVENSON, S.; MURALIKRISHNA, P.; COSTA, J.; EBERLY, E.; MESMER, B.; PADUA, M. B.; WRASSE, C. "The Scintillation Prediction Observations Research Task (SPORT): An International

Science Mission using a *CubeSat*," Proceedings of the 31st Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, Logan UT, USA, Aug. 5-10, 2017, paper: SSC17-XIII-03.

SWARTWOUT, M. The first one hundred *CubeSats*: A Statistical Look. *JoSS*, v. 2, n. 2, p. 213-233, 2013.

TARABA, M.; RAYBURN, C.; TSUDA, A.; MacGILLIVRAY, C. Boeing's *CubeSat* TestBed Attitude Determination Design and On-Orbit Experience", SSC09-X-6, in: 23rd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 2009.

THE *CUBESAT* PROGRAM, Cal Poly SLO. *CubeSat* Design Specification (CDS) Rev. 13, *California Polytechnic State University*, 2013.

THE *CUBESAT* PROGRAM, Cal Poly SLO. Poly Picosatellite Orbital Deployer Mk . III Rev . E User Guide. (CP-PPODUG-1.0-1). *California Polytechnic State University*, 2014.

THE *CUBESAT* PROGRAM, Cal Poly SLO. 6U *CubeSat* Design Specification Rev. PROVISIONAL, (CP-CDS-PROVISIONAL). *California Polytechnic State University*, 2013b.

TWIGGS, R. Origin of *CubeSat*. In: HELVAJIAN, H.; JANSON, S.W. Small satellite: past, present and future. El Segundo, CA: The Aerospace Press, p. 151-173, 2008.

VILLELA, T.; BRANDÃO, A.; MAIA, J. Considerações sobre gerenciamento tecnológico e de recursos humanos na área espacial. *Parc. Estrat.*, v. 19, n. 39, p. 99-118, 2014.

VILLELA, T.; BRANDÃO, A.; LEONARDI, R. *Cubesats* e oportunidades para o setor espacial brasileiro. *Parc. Estrat.*, v. 21, n. 42, p. 91-114, 2016.

WOELLERT, K.; EHRENFREUND, P.; RICCO, A. J.; HERTZFELD, H., *Cubesats*: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations, *Advances in Space Research*, Vol. 47, no. 4, 663–684, 2011.