

Observatório de Tecnologias Espaciais BOLETIM

Apresentação

O uso de cubesats vem se configurando como uma tendência tecnológica no setor espacial que tem conquistado novos adeptos em diversos países. Os relativos baixos custos de desenvolvimento desses satélites facilitaram o acesso ao espaço a novas instituições e países. As plataformas cubesats vêm promovendo inovações que impactam desde as práticas de desenvolvimento de sistemas espaciais até as estratégias de lançamento de satélites.

Os cubesats são desenvolvidos com uma abordagem de aceitação de riscos diferente da comumente usada no setor espacial, o que viabiliza a realização de missões espaciais com curtos prazos de desenvolvimento, orçamentos baixos e equipes pequenas. Os eventuais riscos decorrentes do uso desses artefatos de menor confiabilidade são compensados pela possibilidade de reposição rápida desses satélites em caso de falhas.

O acesso de cubesats ao espaço também apresenta mudanças significativas em comparação ao acesso tradicional. Em geral, um veículo lançador coloca um ou poucos satélites em órbita a cada lançamento. Com os cubesats, essa lógica está sendo alterada. Há a possibilidade de inserção em órbita de dezenas desses objetos a cada lançamento, o que torna o custo individual de lançamento bastante reduzido.

Nesta edição do Boletim do Observatório de Tecnologias Espaciais do CGEE, apresentamos uma breve revisão do panorama mundial de cubesats – aplicações utilizadas, estatística de objetos lançados, produção técnico-científica – e algumas reflexões sobre oportunidades que esses artefatos propiciam para o atendimento de necessidades do setor espacial brasileiro.

Cubesats

Cubesats	2
Mudança de paradigma	3
Linha do tempo	4
Alguns fatos e oportunidades	7
O panorama brasileiro	8

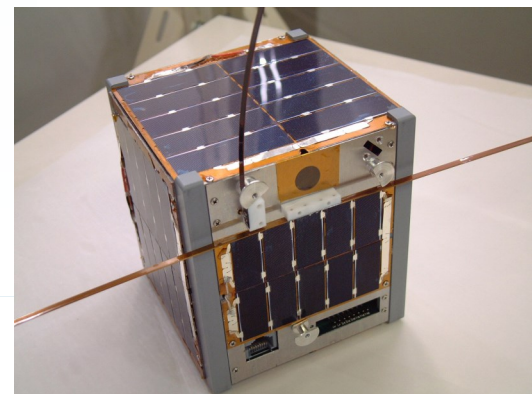


Figura 1: Foto do primeiro cubesat lançado ao espaço. O nonosatélite XI-IV, desenvolvido pela Universidade de Tóquio para prover algumas aplicações para radioamadores, possui um volume de 1U e foi colocado em órbita em junho de 2003, por um foguete russo Rokot-KM.

Cubesats

O termo cubesat é um acrônimo formado pela palavra *cube* (cubo, em inglês) 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. Um cubesat fornece um volume útil de um litro, com massa de até 1,3 quilograma. Essa configuração constitui uma unidade convencionalmente denominada de 1U, que pode ser combinada para desenvolver satélites com maior capacidade (3U ou 6U, por exemplo).

A motivação original para a construção de cubesats foi meramente educacional. Esses artefatos foram inicialmente propostos como projetos acadêmicos que permitissem, na medida do possível e em um curto período de tempo, emular uma missão espacial real para o treinamento de estudantes. Dada essa motivação, era imperativo que os custos de desenvolvimento e operação fossem baixos, incluindo os associados ao lançamento. Para que isso pudesse ser satisfeito, entre outras restrições, foi necessário impor que a massa do satélite fosse da ordem de 1 a 3 quilogramas. Entretanto, rapidamente percebeu-se a utilidade dessa abordagem para teste e qualificação de algumas tecnologias de interesse da área espacial, como componentes e equipamentos que consomem pouca energia, ocupam pouco volume e têm pouca massa. Posteriormente, provou-se que esses pequenos satélites poderiam também cumprir missões com alguma relevância para o setor espacial. Mais recentemente, cubesats vêm sendo adotados em diversas aplicações espaciais, civis e militares, tais como sensoriamento remoto e desenvolvimento tecnológico, bem como na capacitação de profissionais.

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 pos-

sa 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. O atendimento desse tipo de demanda impõe uma nova lógica pertinente à aceitação de riscos e à confiabilidade de missões espaciais. Nesse sentido, 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.

Diferentes instituições ao redor do mundo estão envolvidas no desenvolvimento e na utilização de cubesats. Universidades continuam sendo um grande motor desse desenvolvimento, mas, atualmente, novas empresas vêm influenciando 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 e defesa, podem, na atualidade, ser atendidas por alternativas interessantes às formas tradicionais, com a possibilidade de utilização de satélites mais baratos e de curto tempo de desenvolvimento.

Em suma, quando os primeiros cubesats surgiram, havia a percepção que eles eram uma categoria de satélites de brinquedo utilizados por estudantes universitários e amadores. Alguns preconizavam o seu uso apenas como elementos de treinamento de recursos humanos ou, talvez, para teste de algumas tecnologias. No entanto, os cubesats se mostraram uma inovação bastante atraente no setor espacial. Hoje em dia, vários tipos de usuários estão envolvidos no desenvolvimento de cubesats, desde amadores e instituições universitárias, até companhias comerciais e empresas que foram criadas para explorar aplicações como sensoriamento remoto da Terra e, até mesmo, telecomunicações.

Mudança de paradigma

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.

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. Atualmente, está em discussão a norma ISO/TC20/SC14, que visa à padronização de testes para os “lean satellites”. Outra norma em discussão é a ISO/CD/19683 (*Design Qualification and Acceptance Tests of Lean Satellites and Units*), que descreverá os requisitos mínimos de teste e os métodos para

qualificação de satélites comerciais, incluindo a aceitação do produto final. O objetivo desta última é contribuir para a redução das falhas que podem ocorrer imediatamente após a colocação do satélite em órbita, mantendo as premissas de baixo custo e rapidez para o acesso ao espaço. O estabelecimento dessas normas ISO é uma clara demonstração de que um novo paradigma está se firmando no setor espacial. Esse novo modelo traz consigo várias oportunidades com potencial de serem exploradas pelo setor espacial brasileiro, principalmente por empresas.

Recentemente, foram propostas ações que levassem a uma padronização dos requisitos relacionados a satélites de pequeno porte, por meio de normas ISO. Como consequência dessas discussões, a expressão *lean satellite* foi recentemente sugerida como a mais apropriada para descrever os satélites desenvolvidos com abordagens de aceitação de riscos diferentes das comumente usadas no setor espacial, o que incluiria vários satélites de pequeno porte, entre esses, os cubesats. Dessa forma, não seriam a massa e o volume dos satélites que os enquadrariam nessa definição de *lean satellites* e sim a metodologia de desenvolvimento relacionada à sua confiabilidade, que visa à construção rápida de artefatos a um custo baixo e com equipes pequenas. O tamanho desses artefatos seria uma consequência natural da aplicação dessa metodologia.

Lean

- Metodologias não tradicionais
- Tolerância ao risco
- Requisitos flexíveis de confiabilidade
- Uso extensivo de COTS
- Otimização de testes

Tradicional

- Metodologias estabelecidas (e.g. ECSS)
- Aversão ao risco
- Requisitos rigorosos de confiabilidade
- Uso de equipamentos qualificados para a atividade espacial
- Série extensa de testes

Quadro comparativo das principais características dos métodos lean e tradicional de desenvolvimento de sistemas espaciais. Como consequência dessas características, os métodos lean permitem a execução de missões espaciais com curtos prazos de desenvolvimento, orçamentos baixos e equipes pequenas.

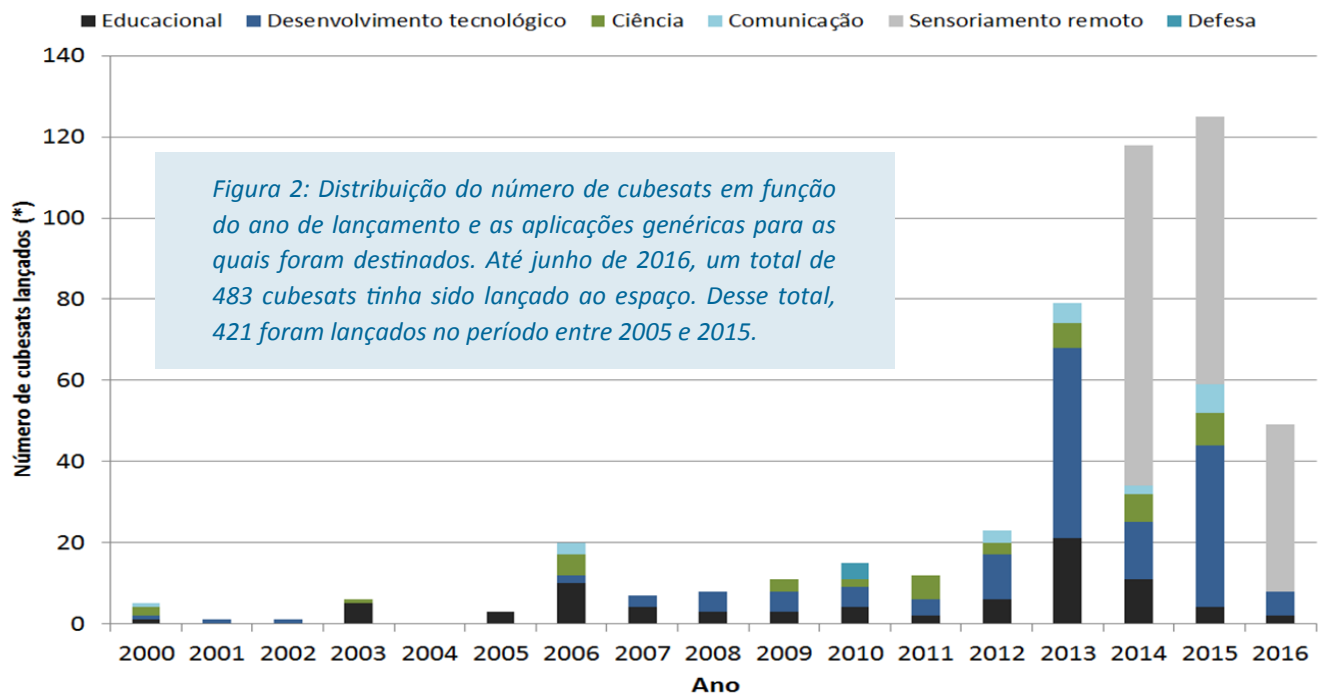
Linha do tempo

O ano de 2005 pode ser adotado 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 alguns outros objetos lançados poucos anos antes são considerados precursores do atual padrão cubesat. 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 2. Até junho de 2016, um total de 483 cubesats tinha sido lançado ao espaço.

A Figura 2 também mostra os tipos de aplicações para as quais os cubesats já foram utilizados e a evolução temporal dos lançamentos. Basicamente, cubesats têm sido empregados para fins educacionais, científicos, militares, de demonstração de tec-

nologias, de comunicação e de 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.

Os Estados Unidos são inquestionavelmente o país líder no setor de cubesats, sendo responsáveis por 76% dos objetos lançados até o final de 2015. Mesmo assim, essa tendência tecnológica tem transbordado fronteiras e vem conquistando adeptos a ponto de ter se tornado um fenômeno global, dado que, até 2015, 36 países já haviam operado pelo menos um cubesat no espaço. A Figura 3 apresenta o histórico de lançamentos de cubesats por país. O Brasil, por exemplo, lançou seu primeiro cubesat em 2014, tendo lançado no total, até 2015, três cubesats. Alguns outros cubesats brasileiros estão em desenvolvimento e deverão ser colocados em órbita em um futuro próximo.



(*) De acordo com o banco de dados de cubesats da Saint Louis University

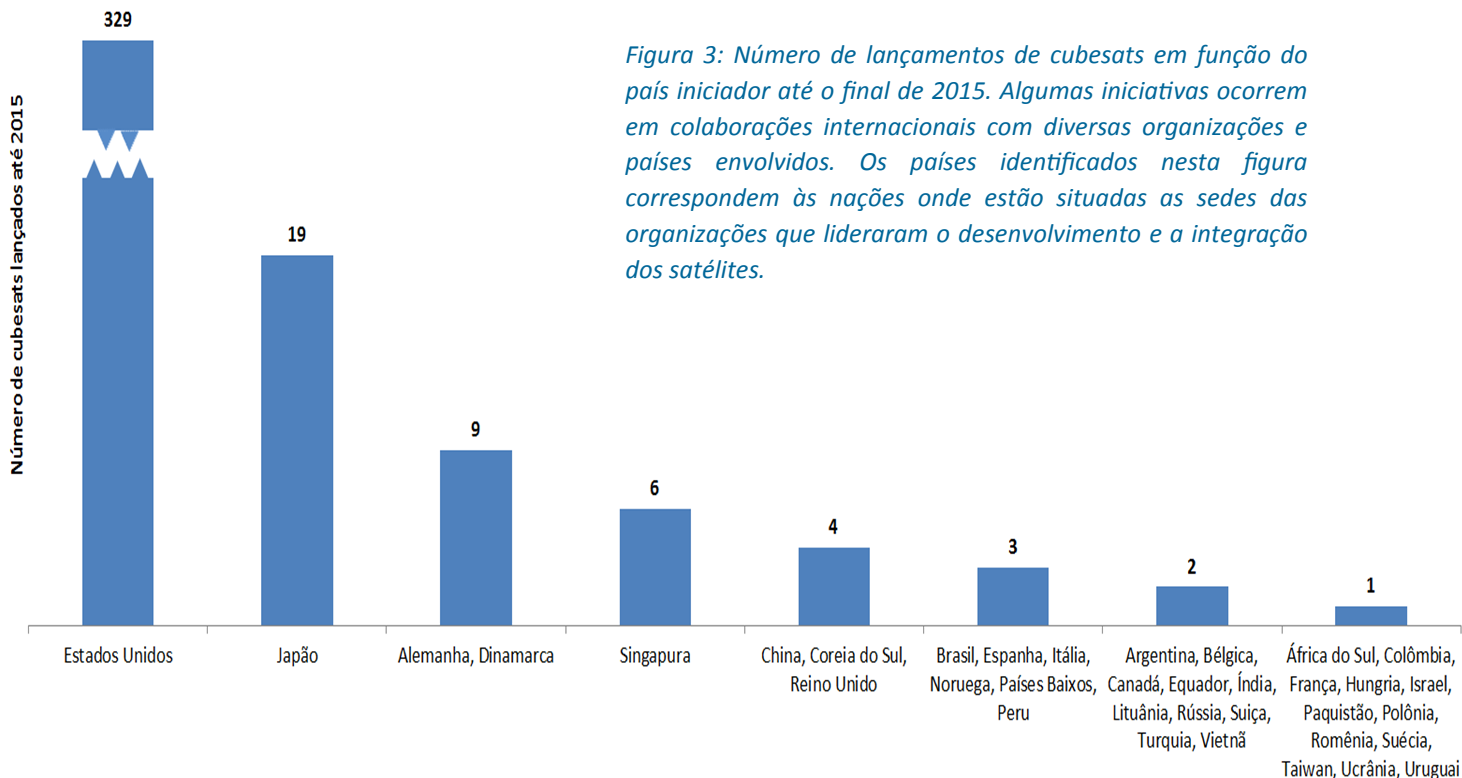


Figura 3: Número de lançamentos de cubesats em função do país iniciador até o final de 2015. Algumas iniciativas ocorrem em colaborações internacionais com diversas organizações e países envolvidos. Os países identificados nesta figura correspondem às nações onde estão situadas as sedes das organizações que lideraram o desenvolvimento e a integração dos satélites.

Colômbia

Libertad 1, uni, 1U, 2007

Equador

NEE 01, civ, 1U, 2013

NEE 02, civ, 1U, 2013

Peru

PUCP-SAT 1, uni, 1U, 2013

UAPSat, uni, 1U, 2014

Chasqui 1, uni, 1U, 2014

Brasil

NanosatC-BR1, civ, 1U, 2014

AESP-14, uni, 1U, 2015

Serpens, civ, 3U, 2015

Uruguai

ANTELSAT, uni, 2U, 2014

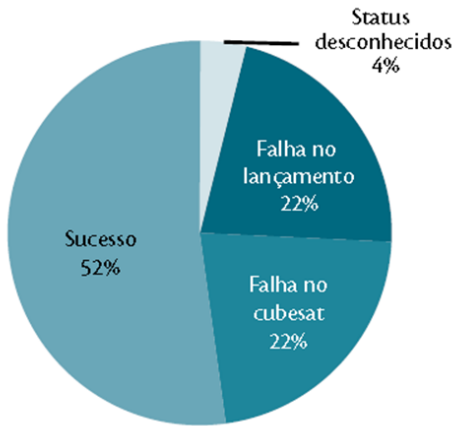
Argentina

CubeBug-1, civ, 2U, 2013

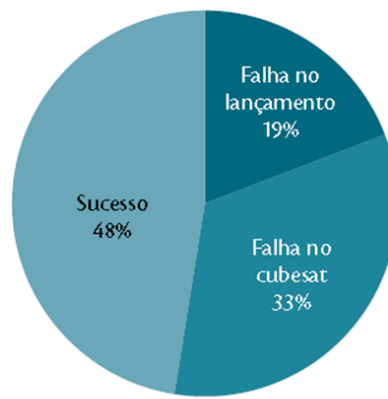
CubeBug-2, civ, 2U, 2013

Figura 4: Panorama de lançamento de cubesats na América do Sul. Treze cubesats desenvolvidos na região tinham sido lançados até o final de 2015. Três desses satélites eram brasileiros.

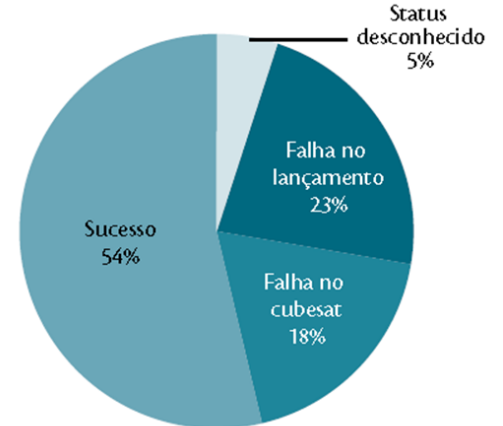
421 cubesats lançados no período 2005 - 2015



99 cubesats lançados no período 2005 - 2012



322 cubesats lançados no período 2013 - 2015



Estadísticas de falhas e sucessos das missões cubesats.

Figura 5: Estatísticas de falhas e sucessos das missões cubesats. O gráfico à esquerda mostra a estatística relativa ao período entre 2005 e 2015; o gráfico no centro representa o período entre 2005 e 2012; e o gráfico à direita expõe o período entre 2013 e 2015, quando houve um aumento substancial do número de lançamentos de cubesats, conforme apresentado na Figura 2. Percebe-se que a taxa de falhas é significativamente alta se comparada aos padrões tradicionais.

O Volume 21, Número 42, da revista “Parcerias Estratégicas” traz uma contribuição do CGEE ao SNCTI na forma de um artigo intitulado “Cubesats e oportunidades para o setor espacial brasileiro”. A revista pode ser acessada pelo site www.cgge.org.br.

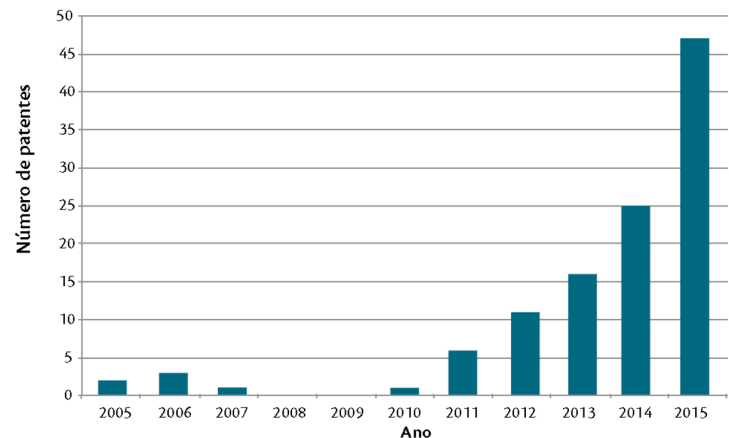
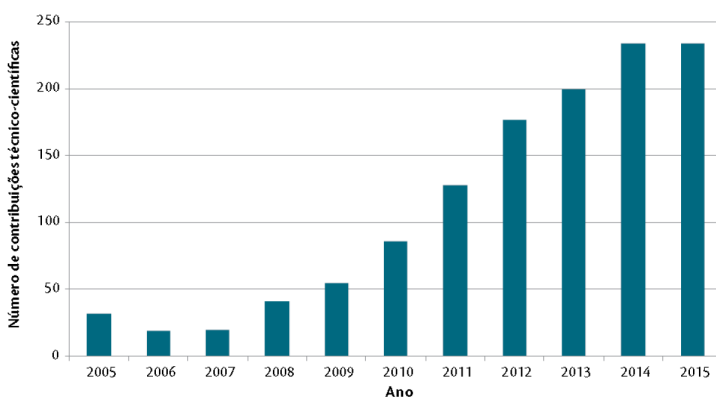


Figura 6: O gráfico à esquerda mostra a distribuição do número de contribuições técnico-científicas relacionadas a cubesats no período entre 2005 e 2015. O gráfico evidencia um total de 1.337 documentos técnico-científicos publicados em artigos em periódicos e em anais de congressos. O gráfico à direita mostra o número de patentes depositadas por ano no período entre 2005 e 2015, totalizando 112 relacionadas a cubesats.

Alguns fatos e oportunidades

- Os dados aqui apresentados (número de objetos, produção técnico-científica, patentes, países envolvidos) mostram que o interesse nesse tipo de artefato tem aumentado de forma significativa nos últimos anos.
- Os cubesats deixaram de ser desenvolvidos para fins meramente educacionais. Em 2005, 100% dos cubesats foram desenvolvidos por universidades. Em 2015, 62% dos cubesats foram desenvolvidos por empresas para fins comerciais.
- Em 2015, os cubesats foram responsáveis por dobrar a participação da indústria dos EUA na construção dos satélites lançados, que saltou de 32% para 64%, embora tal fato não tenha se traduzido em aumento significativo de receita (o aumento foi menor que 1%).
- Recentemente, o setor de cubesats vem sendo impulsionado por aplicações comerciais em sensoriamento remoto.
- Cubesats representam um potencial inovador disruptivo que permite acesso ao espaço a novas instituições e países e que exige novas estratégias e modelos de negócio.
- Tal tendência cria oportunidades no uso de aplicações espaciais para atender a diferentes demandas, assim como oportunidades de negócios para empresas privadas.
- No decorrer dos últimos anos, algumas iniciativas têm acontecido no Brasil por iniciativa de organizações governamentais (e.g., AEB, INPE) e acadêmicas (e.g. ITA, UFRGS, UFSM, UnB, UNIFESP, Instituto Mauá de Tecnologia).
- Atualmente, o Brasil segue os passos que os EUA deram no início da era desses pequenos satélites com ênfase em projetos de desenvolvimento tecnológico e educacionais.
- Ainda não há patentes brasileiras sendo depositadas.
- Não há empresas brasileiras dedicadas ao desenvolvimento de cubesats.
- Os cubesats possuem grande potencial para atender demandas nacionais por aplicações espaciais e oferecem oportunidades para a inserção de empresas brasileiras nesse mercado.
- Há uma sinergia com o projeto VLM (Veículo Lançador de Microssatélites), atualmente do IAE. Os cubesats representam uma motivação extra para o desenvolvimento do VLM e oferecem um nicho de mercado para esse veículo lançador.
- Cubesats oferecem oportunidade de treinamento constante de recursos humanos, bem como capacitação de recursos humanos para controlar satélites em órbitas LEO.
- Cubesats facilitam o domínio de tecnologias críticas para o PEB viabilizando testes de *hardware* e *software* em voo.
- Cubesats podem proporcionar atendimento rápido de algumas demandas do PEB e cadência de contratos para as empresas, além de incentivo à inovação em várias áreas ligadas ao setor espacial (eletrônica, sensores, atuadores, etc).
- Cubesats são facilitadores de colaborações internacionais e oferecem uma alternativa rápida e pragmática para transferência e absorção de tecnologia.
- O uso de cubesats possui potencial de auxiliar ações de segurança nas fronteiras terrestres (SISFRON), aéreas (SISDABRA) e marítimas (SisGAAz).

Em vista desses fatos, percebe-se que o Brasil pode se beneficiar do uso de cubesats, caso acompanhe essa tendência tecnológica internacional e invista em uma estratégia de desenvolvimento de satélites de pequeno porte para atender a algumas necessidades de interesse do setor espacial nacional, como o treinamento de pessoal, o acesso a aplicações espaciais e o domínio de tecnologias críticas.

O panorama brasileiro

Alguns cubesats, a partir de 2014, passaram a integrar a frota de satélites brasileiros em uma indicação de transbordamento, para o Brasil, dessa tendência que vem se firmando no setor espacial mundial. O NanoSatC-Br1, lançado em 2014, foi o primeiro cubesat brasileiro enviado ao espaço. Trata-se de um satélite de 1U do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) para desenvolvimento tecnológico, aplicações científicas (teste de circuitos integrados projetados no Brasil e estudo da Anomalia Magnética do Atlântico Sul) e treinamento de estudantes. Partes desse cubesat, como a plataforma e o magnetômetro utilizado na carga útil, foram compradas de empresas estrangeiras, como as holandesas Innovative Solutions In Space (ISIS) e Xenor Integration. A ISIS é uma empresa fundada em 2006 por profissionais oriundos da Delft University of Technology, nos Países Baixos, e que apostou nas possibilidades de negócios que o mercado de pequenos satélites estava sinalizando. As partes desenvolvidas no Brasil consistiam em circuitos integrados projetados por instituições nacionais para serem 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 AESP-14 foi o segundo cubesat brasileiro enviado ao espaço. Lançado da Estação Espacial Internacional em fevereiro de 2015, esse cubesat apresentou uma falha no sistema de abertura de uma antena de transmissão que, infelizmente, impediu o seu funcionamento. Ambos contaram com o apoio de um convênio firmado entre a Agência Espacial Brasileira (AEB) e o Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico (LSI-TEC). O Serpens foi o terceiro cubesat brasileiro enviado ao espaço. Lançado em agosto de 2015, esse satélite tinha como principal objetivo qualificar engenheiros, estudantes e pesquisadores no Brasil. O Serpens operou com sucesso até março de 2016. Outros cubesats estão sendo desenvolvidos no País, como é o caso do Itasat-1, do 14-

BISat e do NanoSatC-Br2. Há também uma concepção de constelação de cubesats, chamada Conasat, que visa a qualificar um *transponder* de coleta de dados desenvolvido no Inpe. Até o momento, as aplicações a que foram dedicados os cubesats nacionais se restringiram ao teste de algumas tecnologias de interesse do setor espacial brasileiro, à exploração de alguns temas científicos e ao treinamento de estudantes universitários. Esse panorama nacional é consistente com o que ocorreu nos EUA nas primeiras missões cubesats daquele 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. Tais informações 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 evidenciam 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. A Figura 7 ilustra como se dão os relacionamentos nessa rede.

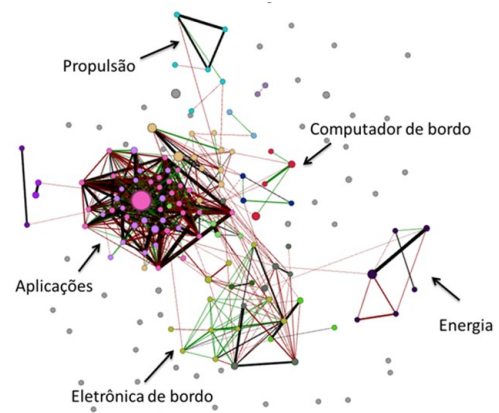


Figura 7: Rede de conhecimento relacionada a cubesats no Brasil. O diâmetro dos círculos representa a produção técnico-científica do profissional e as cores dos círculos identificam as sub-áreas do tema em que atuam. A análise das redes é fundamental para selecionar profissionais que possam desenvolver trabalhos relacionados a cubesats. A rede apresentada nesta figura é composta por um total de 157 profissionais.