



Uma proposta de metodologia ágil para projetos de pequenos satélites padrão CubeSat

SATO, L.H.S.¹, FULINDI, J.B.², LOURES, L.E.V.² MATTIELLO-FRANCISCO, M.F.¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil
Divisão de Aeronáutica - Departamento de Sistemas Aeroespaciais

shibuya@ita.br

Resumo. Atualmente existe um aumento significativo no uso de CubeSats em missões educacionais, tecnológicas e de uso comercial. Embora existam padrões bem definidos para desenvolvimento de projetos espaciais, como normas europeias e americanas por exemplo, sua aplicação em projetos de pequenos satélites padrão CubeSat tem se demonstrado inviável devido ao perfil das equipes e curto ciclo de desenvolvimento da missão. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de metodologia ágil para projetos de pequenos satélites que sistematize os processos de verificação e validação ao longo do ciclo de vida do projeto.

Palavras-chave: Verificação, CubeSat, Metodologia Ágil.

1. Introdução

Em 1957 o mundo viu uma nova possibilidade de fazer ciência se tornar viável com o lançamento do Sputnik 1 pela então União soviética [Science Hub, 2013]. Desde então são mais de 8126 objetos lançados ao espaço com as mais diversas finalidades. Destes satélites, 3600 ainda estão em órbita e cerca de 1980 estão operacionais [Pixalytics, 2018]. Dentro deste contexto, nota-se uma crescente utilização de pequenos satélites, em particular CubeSats em missões educacionais, tecnológicas e de exploração comercial.

No artigo de [Villela, 2019] apresenta-se o levantamento dos últimos mil *CubeSats*, desde 2002, mostrando o crescente lançamento desses artefatos, bem como apresentando o banco de dados criado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Este avanço é também notável quando se busca por banco de dados de missões de CubeSats em outras bases de dados internacionais. A Figura 1, da base de dados *NanoSats Database*, mostra o número de lançamentos de nanosatélites desde 1998, incluindo uma previsão de lançamentos até 2023. Nota-se que há um aumento significativo no número de lançamentos e a estimativa é de que nos próximos 4 a 5 anos sejam lançados mais de 2800 novos nanosatélites.

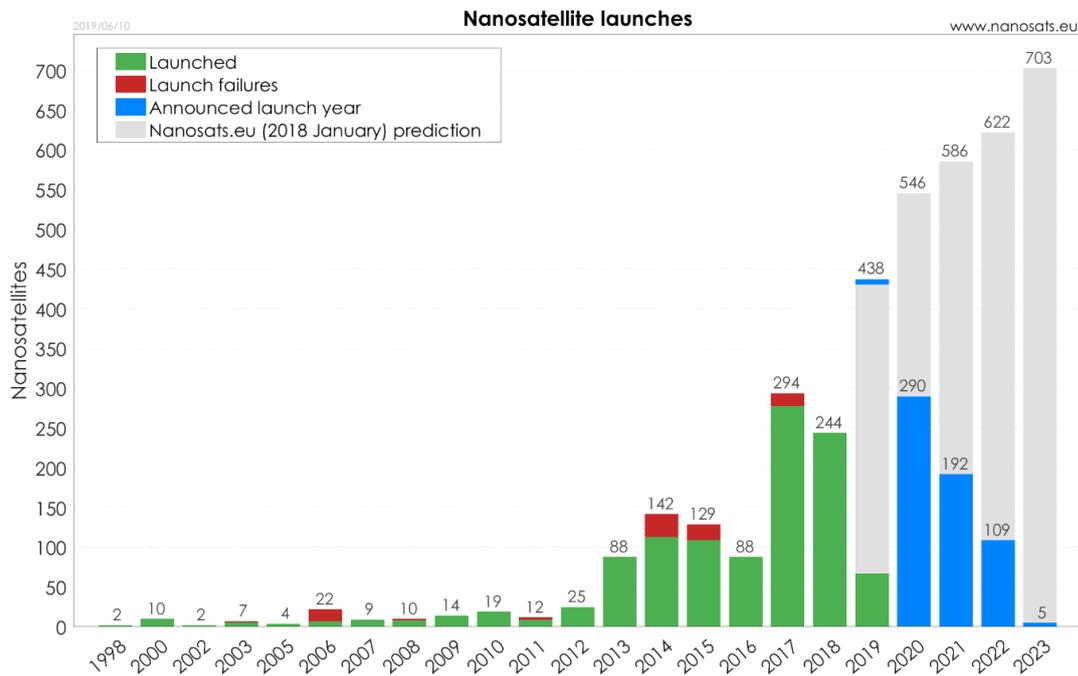


Figura 1. Número de lançamentos de CubeSats desde 1998 com previsão até 2023. [Fonte: Erik Kulu, NanoSats Database, www.nanosats.eu]

Embora o padrão CubeSat tenha permitido uma nova filosofia de projeto, onde se padronizam interfaces elétricas e mecânicas, inclusive com interfaces padrão para lançadores, aliados a menor custo de desenvolvimento (se comparado as categorias de grandes satélites) e também menor tempo de desenvolvimento (também se comparado aos grandes satélites), atualmente o ponto fraco deste tipo de satélite é sua alta taxa de falhas, como apresentado na Figura 2, onde desconsiderando as constelações, 45% dos lançamentos ocasionam em falha da missão, um número bastante elevado, mesmo para projetos tecnológicos e educacionais.

CubeSat Mission Status, 2000-present, No Constellations,

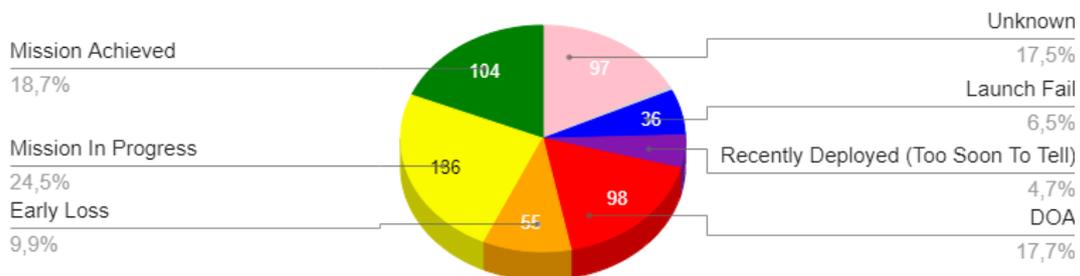


Figura 2. Status das missões de CubeSats a partir de 2000. [Fonte: Startwout, <https://sites.google.com/a/slu.edu/swartwout/home/cubesat-database>]

A pergunta que fica é como transformar um processo até então de certo modo conduzido de forma não profissional, principalmente em ambientes educacionais, em um processo confiável que possa ser aplicado repetidas vezes em diversos cenários e como transportar os



requisitos e padrões de qualidade existentes sem, contudo, tornar o processo demasiado burocrático e custoso. Como aproveitar as características de um projeto de CubeSat, que por sua natureza são projetos de curta duração, com maior flexibilidade para testes de novas tecnologias e maior capacidade de absorção de mudanças em um projeto com taxa de sucesso mais elevado passam a ser perguntas a serem respondidas. Levando-se tudo isso em consideração, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de desenvolvimento de projetos de pequenos satélites, em especial CubeSats, utilizando Metodologia Ágil e seus desdobramentos nos processos gerenciais de engenharia de sistemas orientada aos processos de verificação e validação ao longo do ciclo de vida de uma missão espacial e demonstrar como essa metodologia pode auxiliar no desenvolvimento do projeto.

2. Metodologia

Os padrões existentes e bem estabelecidos, tais como os padrões da comunidade europeia (ECSS) ou da agência espacial americana (NASA), não são os mais adequados para missões com CubeSats, uma vez que tem o foco em projetos de satélites de maior porte e são em geral centrados na captura e manutenção de informações de projetos baseado em documentos (*Document centric projects*), fazendo com que a carga de trabalho na geração e manutenção da informação não sejam uma realidade factível dentro de uma universidade ou de uma empresa onde o recurso disponível, financeiro e humano, para execução do projeto é limitado.

Pensar em metodologias alternativas para o desenvolvimento de projeto desta natureza parece ser natural e na literatura podem ser encontrados alguns trabalhos relacionados ao processo de desenvolvimento de CubeSats empregando metodologias ágeis, tanto em termos de gerenciamento de projeto quanto na engenharia de sistemas ou modelos de desenvolvimento. Dentro deste contexto, este trabalho explora o uso de metodologias ágeis para melhorar os processos de desenvolvimento de uma missão espacial. O uso de metodologias ágeis para desenvolvimento de projetos surgiu pelo fato de se perceber que um projeto de um *CubeSat* pode por vezes ser caracterizado como um projeto ágil [LaBarge, 2014]. Para explorar este conceito, a metodologia utilizada neste trabalho foi: a) análise do ciclo de vida de um projeto espacial e tipos de ciclo de vida; b) análise dos modelos de desenvolvimento de projetos e c) proposta metodologia ágil para projetos de pequenos satélites com foco nos processos de verificação e validação ao longo do ciclo de vida do projeto.

2.1 Análise do ciclo de vida de um projeto espacial

Em projetos espaciais, o ciclo de vida de projetos está bem estabelecido em normas desenvolvidas pela *European Cooperation for Space Standardization* (ECSS) e resumidamente é apresentado na Figura 3. Divisão similar é proposta pela NASA e podem ser relacionadas ao ciclo de desenvolvimento de projetos segundo o PMBOK [PMBOK, 2013].



Figura 3. Ciclo de vida de projeto segundo a ECSS e a NASA [Fonte: Autor, 2019]

Outro aspecto importante a ser destacado, definido pelo PMBOK, são os três tipos de ciclo de vida de projeto, a saber: a) Preditivo (também conhecido como completamente orientado a planejamento – *fully plan-driven*); b) Iterativo e Incremental e c) Adaptativo (também conhecido como orientado a mudança - *change-driven* ou ágil). Projetos de CubeSats por vezes podem ser caracterizados como projetos do tipo ágil, uma vez que nessa categoria de ciclo de vida, o projeto é dividido em fases onde dentro deste *loop* podem ocorrer uma rápida mudança. O escopo detalhado do projeto é definido somente para aquele *loop*. Durante aquele *loop* o escopo é decomposto em um conjunto de requisitos e entregáveis e o trabalho é feito para priorizar o atendimento a estes requisitos gerando os respectivos entregáveis. Ao final de cada *loop*, o trabalho é revisado pelas partes interessadas e o *feedback* destes são utilizados para definir o escopo detalhado para a próxima iteração.

2.2 Análise dos modelos de desenvolvimento de projetos

Outro ponto importante a ser compreendido é que existem diversas metodologias para o desenvolvimento de um projeto. Neste trabalho, apenas 3 serão brevemente descritas.

Modelo em Cascata: Royce em 1970, propôs um processo de desenvolvimento onde o projeto é dividido em estágios que se seguem, como em uma cascata, sendo que os processos a serem executados sequencialmente são a) Requisitos; b) Análise; c) Design; d) Implementação; e) Testes e f) Operação e Aceitação.

Modelo em V: O Modelo V é uma variação do modelo em cascata, elaborado pelo Departamento de Defesa Alemão [Plogert, 1996], que demonstra como as atividades de testes estão relacionadas com análise e projeto. A conexão entre os lados esquerdo (descida do V, caracterizada pelas atividades de planejamento e implementação) e direito do modelo em V (subida do V caracterizado pelas atividades de testes e verificação) implica que, caso



sejam encontrados problemas durante a verificação e a validação, o lado esquerdo do V pode ser executado novamente para corrigir e melhorar os requisitos, o projeto e a implementação, antes da execução das etapas de testes que estão no lado direito.

Modelo Ágil: Um processo ágil é um conjunto de valores e práticas que suportam a evolução ativa do *design* e da arquitetura de um sistema, ao mesmo tempo em que implementam novos recursos do sistema. Essa abordagem permite que a arquitetura de um evolua com o tempo, enquanto suporta simultaneamente as necessidades dos *stakeholders* atuais. O modelo ágil enfatiza a necessidade de cada projeto ser tratado de forma diferente, com base nas necessidades individuais do projeto, do cronograma e da equipe disponível.

2.3 Proposição de uma metodologia ágil para projetos de pequenos satélites orientada aos processos de verificação e validação ao longo do ciclo de vida do projeto

O desenvolvimento de qualquer tipo de projeto deve seguir as boas práticas de projeto, onde este é dividido em fases e cada fase contém um conjunto de atividades bem definido, e nesse sentido, seguir o ciclo de vida de um projeto espacial segundo padrões bem definidos passa a ser um ponto favorável ao sucesso de uma missão. Entretanto a forma como o projeto será desenvolvido, seguindo um modelo de desenvolvimento pré-existente ou não, é o que faz com que se possa ter um diferencial. Considerando a característica de muitos projetos de pequenos satélites, realizado por equipes pequenas ou em formação, principalmente quando se fala de um ambiente acadêmico, pensar em metodologias tradicionais como a cascata ou em V exige que a equipe de desenvolvimento organize desde o início todas as atividades do ciclo de vida do projeto, o que nem sempre é uma realidade, principalmente quando os requisitos do sistema não estão bem definidos. Ou seja, o grau de maturidade da equipe, ou em algumas situações, o grau de maturidade da missão não permite esse conhecimento prévio. Nesse sentido, metodologias mais flexíveis como o modelo iterativo ou ágil parecem ser alternativas mais aplicáveis. Portanto, neste trabalho, explora-se o uso do modelo de desenvolvimento ágil, no qual existem 4 valores fundamentais que se adaptam bem a realidade dos projetos de CubeSats:

1. **Indivíduos e interações:** em vez de enfatizar apenas sistemas e ferramentas, o foco deve estar nas pessoas dentro da equipe e nas interações que elas têm enquanto trabalham juntas no projeto. Para que um projeto seja bem-sucedido, ele deve se adaptar não apenas aos sistemas ou orçamento disponíveis, mas principalmente às pessoas que trabalham nele.
2. **Sistema em desenvolvimento:** embora a documentação seja benéfica durante o desenvolvimento, é interessante se produzir um produto funcional, ou até mesmo um protótipo simples, que ilustre as metas de design ou os componentes usados em todo o sistema. Isso é benéfico não apenas para outros membros da equipe que trabalham com desenvolvimento, gerenciamento, mas especialmente para *stakeholders* ou testadores que seriam forçados a confiar em alguns documentos e ilustrações para entender como o sistema deve funcionar. Ressalta-se que a documentação de projeto é ainda necessária e essencial, mas o diferencial é de que a documentação não é a única forma de comunicação com o *stakeholder*.



- 3. Colaboração com o stakeholder:** é essencial que o projeto seja constantemente aberto, disposto e capaz de responder ao *feedback* e comportamento do *stakeholder*. Mantendo os *stakeholders* em *loop* durante todo o ciclo de vida, todos os envolvidos estarão na mesma página e não haverá surpresas no final ou reescritas necessárias porque um módulo ou integração não estava claro para todas as partes envolvidas.
- 4. Respondendo à mudança:** Talvez o princípio mais crítico em todo o modelo ágil seja a capacidade de o projeto se adaptar e responder às constantes mudanças de todos os envolvidos. À medida que o desenvolvimento progride, as tecnologias mudarão, a equipe mudará, os *stakeholders* mudarão de ideia, e ao longo de tudo isso, o projeto deve permanecer maleável e permanecer capaz de se adaptar a essas necessidades, respeitando um cronograma inicial de desenvolvimento.

Com base nessas premissas, que priorize a flexibilidade e rápida resposta às mudanças de requisitos, uma metodologia de desenvolvimento aplicando o conceito do modelo ágil é proposta para projetos de missões de pequenos satélites que utilizam o padrão CubeSat. A Figura 4 apresenta um diagrama esquemático que representa de forma simplificada a ideia proposta.

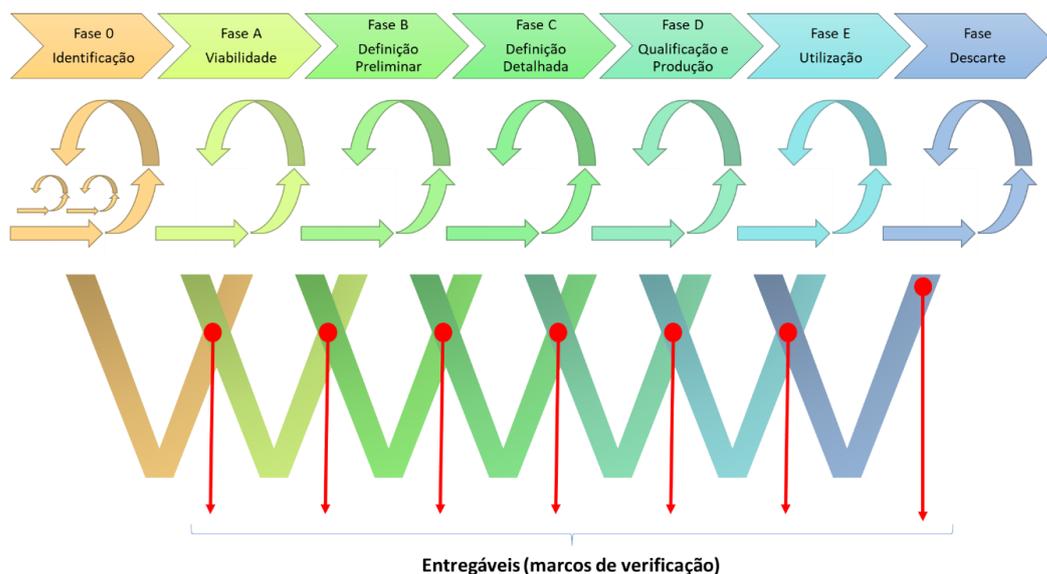


Figura 4. Ciclos de Vida de Projeto, Loops e seu relacionamento com as atividades de V&V – Framework Proposto [Fonte: Autor, 2019]

Dentro de cada *loop* de projeto, que ocorre dentro de cada fase, outras subdivisões podem ser realizadas, pequenos *loops*, cujas entradas e saídas são bem estabelecidas e os grandes marcos e entregáveis são definidos para atender os grandes marcos do ciclo de vida do projeto, costumeiramente as revisões de projeto. Aliado a esta decomposição do projeto em pequenos *loops*, ao final de cada *loop*, uma etapa de verificação pode e deve ser realizada, garantindo que o sistema em desenvolvimento está em acordo com a expectativa do *stakeholder* e o final de cada *loop* do projeto passa a ser o início e o “*go ahead*” para o loop seguinte. Nesse sentido, dentro de cada *loop* de projeto, o modelo em V pode ser empregado, de forma sobreposta, onde em cada interseção do V, um entregável do sistema é definido e validado pelo *stakeholder*.



3. Resultados e Discussão

A proposta deste trabalho foi conceber uma metodologia de desenvolvimento de projetos de pequenos satélites utilizando métodos ágeis. A necessidade de se desenvolver uma nova filosofia de desenvolvimento de projeto surgiu de uma necessidade real, onde embora o escopo da missão estivesse bem definido, as atividades e os requisitos da missão ainda eram embrionários, e as constantes mudanças e incertezas de projeto eram um desafio a parte no desenvolvimento. Para sobrepor a estas dificuldades e levando em consideração a característica de equipe, uma abordagem mais flexível foi estudada. O projeto em questão é o projeto SPORT (Spann et al, 2016), uma parceria entre o Brasil e os Estados Unidos para o desenvolvimento de um CubeSat para monitoramento do clima espacial. Para testar o framework proposto, ele está sendo empregado no desenvolvimento do projeto SPORT e os resultados têm sido bastante satisfatórios, uma vez que a divisão em pequenos *loops* permitiu que a equipe desenvolvesse pequenos protótipos de acordo com a maturidade do projeto e a validação destes protótipos junto ao *stakeholder* com frequência, garante rápida resposta as mudanças. A Figura 5 apresenta o framework aplicado ao projeto SPORT com alguns dos entregáveis ao final de cada fase do projeto (que correspondem aos marcos ou revisões de projeto) e alguns marcos intermediários (resultante de *loops* intermediários), mas extremamente importantes para validar o sistema em desenvolvimento, no caso do *CubeSat* SPORT.

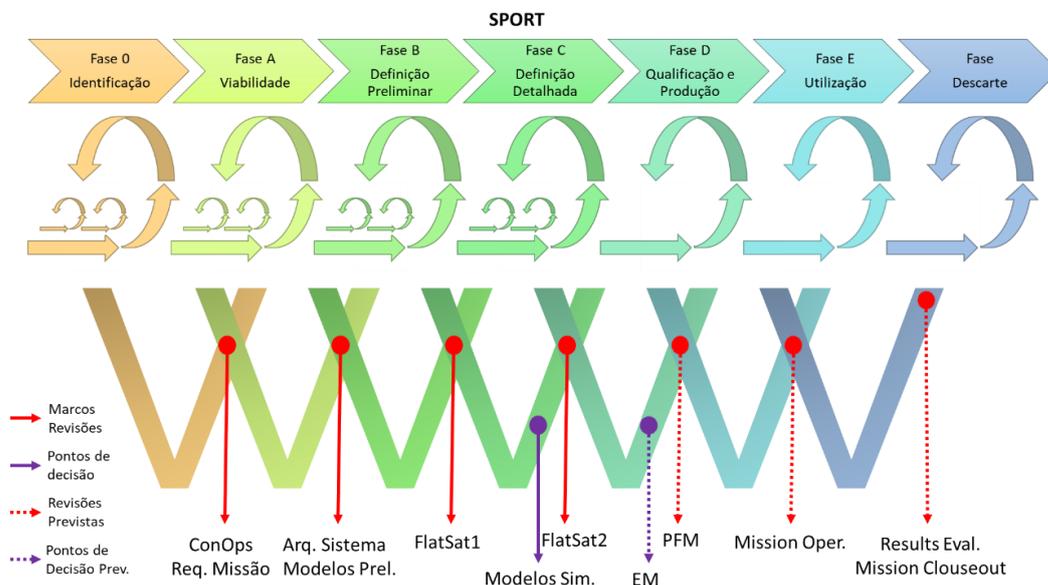


Figura 5. Framework Proposto e os entregáveis do Projeto SPORT [Fonte: Autor, 2019]

Atualmente o projeto SPORT está caminhando para a revisão crítica de projeto (CDR), e até aqui, oito *loops* de projeto foram realizados, com verificações constantes que tem conduzido a equipe durante a execução do projeto, proporcionando a maturidade necessária para avançar ao longo do ciclo de vida do projeto trazendo para perto o atendimento as expectativas dos *stakeholders*.



4. Conclusão

A utilização de métodos ágeis tem se mostrado até aqui uma forma promissora para desenvolvimento de projetos de CubeSats, mas deve-se ressaltar que esta metodologia se aplica a este tipo de projetos devido as características do próprio projeto, da equipe, das atividades a serem realizadas e do cronograma a ser atendido. O principal objetivo deste trabalho foi definir um *framework* a ser implementado em projetos de pequenos satélites, *framework* este que relacionasse as fases de desenvolvimento de um projeto espacial com os tradicionais *loops* ou *sprints* da metodologia ágil e os processos de verificação e validação, como proposto na figura 4 e apresentado na figura 5 na aplicação do projeto SPORT. Assim, o objetivo deste trabalho, de apresentar uma proposta de metodologia ágil para projetos de pequenos satélites orientada aos processos de verificação e validação ao longo do ciclo de vida do projeto pode ser atendido, mas deve-se ressaltar que ainda há aspectos a serem analisados nesta proposta, que auxiliem na quantificação dos resultados obtidos, aspectos estes que serão analisados em trabalhos futuros.

Agradecimentos: Agradeço a FAPESP pelo apoio financeiro, ao ITA e ao INPE pela oportunidade realização do trabalho e a toda equipe do Centro Espacial ITA.

Referências

LaBarge, R. “CubeSat – An Agile System Architecture?” In Insight, Volume17, Issue2, Jul 2014. Pages 27-30

Pixalytics Ltd. “How many satellites are orbiting the Earth in 2018?” 2018. Disponível em: <https://www.pixalytics.com/sats-orbiting-earth-2018/> Acesso em: 04 dez 2018 (último acesso)

Plogert, K. “The tailoring process in the German V-Model”. In Journal of Systems Architecture. Volume 42, Issue 8, 31 December 1996, Pages 601-609

Project Management Institute. “Um guia do conhecimento em Gerenciamento de Projetos (GUIA PMBOK®)”. 5ª Edição. Global Standard, 2013. 567p.

Royce, W. W., “Managing the Development of Large Software Systems”. In: Technical Papers of Western Electronic Show and Convention (WesCon) August 25–28, 1970, Los Angeles, USA.

Science Hub Articles. “History of satellites – timeline”. 2013 (updated 2018). Disponível em: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1905-history-of-satellites-timeline>. Acesso em: 04 dez 2018 (último acesso)

Spann, J., Swenson, C., Durão, O., Loures, L. E.V, Heelis, R., Bishop, R., Le, G., Abdu, M., Krause, L., Fry, C., Denardini, C., Shibuya, L., Casas, J., Nash-Stevenson, S., Muralikrishana, P., Costa, J., Eberly, E., Mesmer, B., Padua, M., Wrasse, C. “The Scintillation Prediction Observations Research Task (SPORT): An International Science Mission using a CubeSat”. In 31st Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. Logan, Utah 2016.

Villela, T. Costa, C. A., Brandão, A. M., Bueno, F. T., Leonardi, R. “Towards the Thousandth CubeSat: A Statistical Overview”. In International Journal of Aerospace Engineering. Volume 2019, Article ID 5063145, 13 pages.