



4º Congresso Brasileiro
de Ciência e Saberes
Multidisciplinares
**tudo é
ciência**
11º Encontro de Extensão
Universitária do UniFOA

**23 a 25
de outubro**

Submissões abertas até 07/09

Revisão de literatura em Engenharia de Sistemas para CubeSats por meio de revisão rápida: conceitos, práticas e lacunas

Siqueira Martins Silvestre Filho¹; 0009-0008-7724-3955

Italo Pinto Rodrigues¹; 0000-0002-6832-8358

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
202311222@unifoa.edu.br (contato principal)

Resumo: Este artigo apresenta uma revisão rápida da literatura sobre Engenharia de Sistemas aplicada a *CubeSats*, com foco na gestão de requisitos. A busca, realizada na base *ScienceDirect* com artigos de acesso aberto, identificou contribuições recentes organizadas em quatro eixos principais: rastreabilidade de requisitos, integração de múltiplas cargas úteis, uso de componentes comerciais com estratégias de robustez frente à radiação e adoção de métodos e ferramentas de apoio, como modelagem baseada em sistemas e ferramentas de configuração. Os resultados evidenciam avanços importantes em soluções parciais, como sistemas de gerenciamento de *payloads*, abordagens de tolerância a falhas e metodologias de apoio à compatibilidade de subsistemas. Entretanto, a literatura permanece fragmentada e carece de frameworks integradores que articulem essas práticas de forma unificada para *CubeSats*. Conclui-se que o fortalecimento de processos de Engenharia de Sistemas, adaptados às especificidades desses satélites, é essencial para equilibrar rapidez de desenvolvimento com confiabilidade de missão.

Palavras-chave: Engenharia de Sistemas. CubeSat. Requisitos. Revisão rápida. Integração de subsistemas.



INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os CubeSats consolidaram-se como plataformas relevantes para missões científicas, tecnológicas e de observação da Terra, oferecendo baixo custo e ciclos de desenvolvimento acelerados (Verstraete; Diner; Bézy, 2015). Esse avanço, entretanto, trouxe desafios de Engenharia de Sistemas que se manifestam na definição e rastreabilidade de requisitos, na integração de múltiplos subsistemas e cargas úteis, na padronização de interfaces e no uso crescente de componentes comerciais em ambientes espaciais adversos. Tais fatores elevam o risco técnico e reforçam a necessidade de processos mais estruturados e métodos de gestão de requisitos capazes de equilibrar agilidade de desenvolvimento com confiabilidade e qualidade de missão.

Diversos estudos vêm apontando soluções parciais, como abordagens de modelagem baseada em sistemas, estratégias de integração de cargas úteis, ferramentas de apoio ao design e métodos de garantia de robustez frente a radiação. Ainda assim, a literatura permanece fragmentada e carece de uma síntese que organize conceitos básicos aplicáveis a CubeSats e indique o estado da arte em práticas de Engenharia de Sistemas voltadas ao tratamento de requisitos.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre Engenharia de Sistemas aplicada a CubeSats, com foco na gestão de requisitos, utilizando a técnica de revisão rápida (rapid review). A revisão busca mapear práticas recorrentes, identificar tendências e lacunas, além de oferecer subsídios conceituais que apoiem equipes no desenvolvimento de missões mais eficazes, mantendo a rastreabilidade entre necessidades de usuários, requisitos de missão e soluções de engenharia.

MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido como uma revisão rápida (rapid review), seguindo os princípios descritos por Devane *et al.* (2024). Esse tipo de abordagem busca equilibrar celeridade e rigor metodológico, oferecendo uma síntese transparente e útil da literatura em prazo reduzido.



A estratégia de busca foi definida previamente e aplicada na base ScienceDirect, utilizando a *string*: “*Systems Engineering*” AND “*CubeSat*” AND “*requirements*”. Foram incluídos apenas artigos de acesso aberto, publicados em inglês, relacionados diretamente à aplicação de Engenharia de Sistemas em CubeSats ou nanosatélites. Trabalhos que abordassem apenas aspectos tecnológicos isolados, sem conexão explícita com práticas de requisitos ou integração sistêmica, foram excluídos.

A seleção ocorreu em duas etapas: (i) triagem inicial de títulos e resumos para identificar aderência ao escopo da revisão; e (ii) leitura completa dos artigos elegíveis, verificando consistência com os critérios definidos. O processo de extração de dados foi realizado de forma estruturada, considerando conceitos básicos de Engenharia de Sistemas, práticas de requisitos, estratégias de integração e principais tendências identificadas nos estudos. Seguindo as recomendações para *rapid reviews*, adotou-se o procedimento de *single screening* com verificação, no qual um único pesquisador realiza a triagem principal e uma amostra dos estudos excluídos é revisada por um segundo pesquisador, assegurando maior rapidez no processo sem comprometer a qualidade da síntese.

Embora mais ágil que uma revisão sistemática convencional, esta abordagem envolve limitações, como possível perda de estudos relevantes fora da base selecionada e menor exaustividade da literatura. Ainda assim, o método foi considerado adequado para atender ao objetivo do trabalho: organizar de forma sintética os conceitos fundamentais e o estado da arte em Engenharia de Sistemas aplicada a *CubeSats*, com foco na gestão de requisitos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca realizada no *ScienceDirect* resultou em um conjunto de artigos de acesso aberto que abordam práticas e conceitos de Engenharia de Sistemas aplicados a *CubeSats* e nanosatélites. A análise evidenciou quatro eixos principais: (i) gestão de requisitos e rastreabilidade; (ii) integração de múltiplas cargas úteis e subsistemas; (iii) uso de componentes comerciais e robustez frente a radiação; e (iv) adoção de métodos e ferramentas de apoio, como modelagem baseada em sistemas (MBSE) e ferramentas de configuração.



No primeiro eixo, destacou-se a importância de fluxos de requisitos claros desde o usuário até a arquitetura do sistema, garantindo coerência entre expectativas, medições e especificações de missão (Verstraete; Diner; Bézy, 2015). A rastreabilidade mostrou-se crítica não apenas para missões de observação da Terra, mas também para CubeSats acadêmicos e tecnológicos, nos quais falhas em requisitos básicos resultam em riscos de integração e operação (Saleem *et al.*, 2025).

O segundo eixo apontou soluções para integração de cargas úteis, como o Payload Management System (PMS), que funciona como interface centralizada entre a plataforma e múltiplos experimentos, reduzindo acoplamentos e riscos de falha (Del Castillo *et al.*, 2025). Essa abordagem foi considerada especialmente relevante para missões com objetivos científicos diversificados, nas quais a padronização de interfaces ainda é limitada.

No terceiro eixo, observou-se que a crescente dependência de *Commercial Off-The-Shelf* (COTS) exige estratégias de *Radiation Hardness Assurance* (RHA). A revisão identificou boas práticas em nível de arquitetura e ensaio, como redundância, tolerância a falhas e validação acelerada, que permitem conciliar baixo custo com resiliência em ambiente espacial (Dijks *et al.*, 2025).

No quarto eixo, emergiu a adoção de MBSE como suporte à tomada de decisão e à resiliência sistêmica (Aly *et al.*, 2025), bem como ferramentas específicas para configuração e compatibilidade de nano/microsatélites, como a *nanoSMAD* (Saleem *et al.*, 2025). Essas iniciativas reforçam o papel da Engenharia de Sistemas em antecipar falhas de integração ainda nas fases iniciais do projeto.

Além desses eixos centrais, a revisão identificou contribuições adicionais relevantes. Um estudo sobre operações de missão apresentou a experiência do sistema PRINCESS, voltado à previsão de colisões em órbita e vigilância do ambiente espacial, evidenciando a necessidade de coordenação entre múltiplos *CubeSats*, alto grau de automação e requisitos robustos para comunicações e sincronismo orbital (Grau *et al.*, 2025). Outro trabalho explorou o conceito de um *CubeSat* precursor para geoengenharia espacial, no qual um satélite 12U equipado com vela solar seria utilizado para validar tecnologias críticas de sombreamento planetário. Essa proposta demonstra como *CubeSats* podem servir como



plataformas ágeis para testar conceitos disruptivos, exigindo cadeias de requisitos rigorosas desde a definição de missão até a operação (Coco *et al.*, 2025).

Em conjunto, os resultados demonstram que há avanços importantes em áreas específicas, mas a literatura ainda carece de uma síntese integradora. A principal lacuna identificada está na ausência de *frameworks* consolidados que combinem rastreabilidade de requisitos, integração *multi-payload*, uso seguro de COTS e suporte de ferramentas digitais em um processo unificado voltado para CubeSats. Essa falta de padronização dificulta a replicabilidade e o acúmulo de conhecimento entre projetos, mantendo a dependência de soluções *ad hoc*.

CONCLUSÕES

Esta revisão rápida reuniu contribuições recentes da literatura sobre a aplicação da Engenharia de Sistemas em *CubeSats*, com ênfase na gestão de requisitos. A análise mostrou que os estudos se organizam em quatro eixos principais: rastreabilidade de requisitos, integração de múltiplas cargas úteis, uso de COTS com estratégias de robustez frente à radiação e adoção de métodos e ferramentas de apoio, como MBSE e modelos de configuração. Esses elementos, embora abordados de forma fragmentada em trabalhos individuais, revelam um movimento crescente em direção à consolidação de práticas de Engenharia de Sistemas adaptadas às especificidades de pequenos satélites.

Os achados evidenciam que há avanços relevantes em áreas específicas, como o desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de *payloads*, ferramentas de compatibilidade e abordagens de tolerância a falhas. No entanto, a ausência de *frameworks* integradores limita a replicabilidade entre missões e mantém dependência de soluções *ad hoc*. Essa lacuna reforça a pertinência de estudos que articulem práticas dispersas em processos unificados voltados para *CubeSats*.

Como limitação, destaca-se que a busca foi restrita a uma base de dados e artigos de acesso aberto, o que pode ter excluído outras contribuições relevantes. Ainda assim, a metodologia de *rapid review* permitiu reunir de forma transparente e estruturada evidências suficientes para sustentar uma análise crítica do estado da arte.



Perspectivas futuras incluem o desenvolvimento de guias metodológicos específicos para Engenharia de Sistemas em *CubeSats*, a ampliação de ferramentas digitais de suporte e a incorporação de abordagens integradoras que conciliem rastreabilidade, integração *multi-payload*, uso de COTS e resiliência sistêmica. Tais avanços podem apoiar equipes no equilíbrio entre rapidez de desenvolvimento e confiabilidade de missão, ampliando o potencial científico e tecnológico dos *CubeSats*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) pelo apoio institucional e financeiro, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) (92782/17/RPE, 92845/17/RPE, 94041/17/RPE) e Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq (Resolução Normativa RN-017/2006 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)).

REFERÊNCIAS

ALY, Ebrahim; SUPRUN, Emiliya; TURAN, Hasan Hüseyin; ELSAWAH, Sondoss. MBSE for robust decision support systems: A resilient, mission-centric reference model. **Digital Engineering**, [s. l.], v. 6, p. 100044, set. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.dte.2025.100044>.

COCO, Marina; MATONTI, Catello Leonardo; CAPPELLETTI, Chantal; CHESLEY, Bruce; FUGLESANG, Christer; GOVERNALE, Giuseppe; PUSHPARAJ, Nishanth; ROMANO, Marcello; TIBERT, Gunnar; WILK, Lisa. Planetary sunshade for solar geoengineering: Preliminary design of a precursor system and mission. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 235, p. 452–462, out. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.05.031>.

DEL CASTILLO, Miguel Ortiz; MCROBBIE, Jack; WOODS, Andrew; MEARNES, Robert; MORGAN, Jonathan; TRENTI, Michele; BARRACLOUGH, Simon; TAO, Yijie; THERAKAM, Clint; SCHOOF, Eric; CHAPMAN, Airlie; FIORE, Fabrizio; EVANGELISTA, Yuri; GUZMAN, Alejandro; HEDDERMAN, Paul. The SpiRIT Payload Management System: A paradigm for smallsats multi payload integration. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 236, p. 359–370, nov. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.06.050>.

DEVANE, Declan; HAMEL, Candyce; GARTLEHNER, Gerald; NUSSBAUMER-STREIT, Barbara; GRIEBLER, Ursula; AFFENGRUBER, Lisa; SAIF-UR-RAHMAN, Km; GARRITTY, Chantelle. Key concepts in rapid reviews: an overview. **Journal of Clinical Epidemiology**, [s. l.], v. 175, p. 111518, nov. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2024.111518>.

DIJKS, Jasper; DE JONG, Sybren; MENICUCCI, Alessandra; AKAY, Iklim. Systematic review of engineering and testing approaches for radiation hardness assurance in commercial space avionics. **Acta Astronautica**, [s. l.], p. S0094576525004850, ago. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.07.055>.



4º Congresso Brasileiro
de Ciência e Saberes
Multidisciplinares
**tudo é
ciência**
11º Encontro de Extensão
Universitária do UNIFOA

**23 a 25
de outubro**

👉 Submissões abertas até 07/09

GRAU, Sebastian; GROSSE SIESTRUP, Anton Johann; SCHULZ, Vincent; KOSSACK, Victoria; TEUCHERT, Johanna Erna Charlotte; HORNIG, Andreas; STOLL, Enrico. Mission operations for precise in-orbit collision prediction and space environment surveillance system. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 237, p. 300–314, dez. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.05.049>.

SALEEM, Amitha; CHANDRAN, Amal; SRIVASTAVA, Sarthak; VARGHESE, Joji John; CHANG, Joseph S. nanoSMAD – A First Order System Configuration Design Tool for Nano and Micro Satellites. **Advances in Space Research**, [s. l.], v. 75, n. 9, p. 6817–6833, maio 2025. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.09.065>.

VERSTRAETE, Michel M.; DINER, David J.; BÉZY, Jean-Loup. Planning for a spaceborne Earth Observation mission: From user expectations to measurement requirements. **Environmental Science & Policy**, [s. l.], v. 54, p. 419–427, dez. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.005>.