



XXVIII CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica
Santa Maria - RS



XXVIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
09 a 13 de maio de 2022, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

OzonoSat - Proposta de CubeSat para Medição do Gás Ozônio na Atmosfera

Daniel da Rosa Taschetto, daniel.taschetto@acad.ufsm.br¹

Ana Beatriz Calmon Rodrigues, aeroabcalmon@gmail.com¹

Andre Vinicius de Carvalho Costa, andre.vinicius8621@gmail.com¹

Prof. Dr. Eduardo Escobar Bürger, eduardo.burger@ufsm.br¹

¹Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Departamento de Engenharia Mecânica - DEM/CT, Curso de Engenharia Aeroespacial.

Resumo. Com o crescente uso dos Clorofluorcarbonetos (CFCs) na década de 1990, posteriormente banidos pelo Protocolo de Montreal, a degradação da ozonfera se apresentou como potencial risco à vida terrestre devido ao déficit na filtragem da radiação UV-B. Diante disso, buscando realizar a medição dos níveis de ozônio, para obter dados para manutenção e proteção da camada, o presente artigo descreve o desenvolvimento de um CubeSat concebido para a I Olimpíada Brasileira de Satélites (I OBSAT), com objetivo de monitorar e fornecer dados públicos das condições da ozonfera no hemisfério sul. O satélite foi projetado a partir de análises de objetivos, identificação de stakeholders e seus objetivos, descrição de medidas de efetividade e de requisitos de missão. Não somente, foi proposto um conceito de operação (ConOps), baseado nos modos e fases de operação. Assim, conclui-se que, mesmo não medindo diretamente os raios UV-B penetrantes na Terra, o CubeSat é uma boa ferramenta para avaliar a radiação não filtrada pela camada de ozônio. Por fim, após os estudos realizados, foi estimado que o satélite possui custos de produção de R\$ 1,94 milhão e vida útil de aproximadamente 6 meses. O presente trabalho é o mesmo previamente apresentado à OBSAT.

Palavras chave: OBSAT, cubesat, ozonfera, nanosatélite, medição

Abstract. With the increasing use of Chlorofluorocarbons (CFCs) in the 1990s, later banned by the Montreal Protocol, the degradation of the ozone layer presented itself as a potential risk to terrestrial life due to the deficit in filtering UV-B radiation. Therefore, seeking to measure ozone levels, to obtain data for maintenance and protection of the layer, this article describes the development of a CubeSat designed for the I Brazilian Satellite Olympiad (I OBSAT), with the objective of monitoring and providing public data on ozone conditions in the southern hemisphere. The satellite was designed based on analysis of objectives, identification of stakeholders and their objectives, description of measures of effectiveness and mission requirements. Not only that, a concept of operation (ConOps) was proposed, based on the modes and phases of operation. Thus, it is concluded that, even not directly measuring the UV-B rays penetrating the Earth, the CubeSat is a good tool to evaluate the radiation not filtered by the ozone layer. Finally, after the studies carried out, it was estimated that the satellite has production costs of R\$1.94 million and a useful life of approximately 6 months. The present work is the same previously presented to OBSAT.

Keywords: OBSAT, cubesat, ozone, nanosatellite, measurement

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que satélites utilizados em missões espaciais envolvem altos investimentos, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento de novas tecnologias, quanto no desdobramento do projeto - considerando concepção, projeto, implementação, operação e descarte. Por isso, surgem diversas iniciativas que vêm com o objetivo de inovar; essas propostas irrompem para diversificar e simplificar equipamentos e processos, além de prolongar a vida útil dos componentes e estruturas, promover a estabilidade dos sistemas e, por consequência, aumentar a confiabilidade de dados coletados para as pesquisas.

Visando evitar perdas financeiras desnecessárias, principalmente devido aos altos orçamentos comumente necessários, projetos aeroespaciais precisam estar bem embasados sob bancos de dados e desenvolvimentos teóricos corretos. Assim, em resposta ao enorme desafio de contornar altos orçamentos, principalmente envolvendo estudantes universitários interessados em pesquisas espaciais, Jordi Puig-Suari, da California Polytechnic State University, e Bob Twiggs, da Stanford University, propuseram, em 1999, um modelo de satélite de pequeno porte que segue um padrão mais simples, baseado em unidades de 10cm x 10cm x 10cm e com o objetivo de permitir aos alunos a oportunidade de participar de um projeto espacial completo, incluindo a construção, os testes e a operação de um equipamento com características similares aos primeiros satélites lançados. Dessa iniciativa, surgiram os CubeSats. (ESTRATÉGICOS, 2018).

CubeSats vêm para baratear custos de pesquisas e aumentar a proporção em que estas são feitas. Podem ser utilizados

em diversas órbitas para desempenhar missões variadas, permitindo maior desenvolvimento científico. Em um contexto brasileiro, de baixo orçamento designado à ciência, é possível observar a importância eminente dos CubeSats. Nesse sentido, a Olimpíada Brasileira de Satélites vem para fomentar o estudo na área aeroespacial, principalmente no que diz respeito a CubeSats.

Assim, frente à crescente necessidade de monitorar a ozonoesfera, - cobertura gasosa que envolve e protege a Terra da radiação ultravioleta emitida pelos raios solares-, surge o Projeto OzonoSat, um CubeSat pensado para participação na Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI com a missão de efetuar a medição do gás ozônio, por meio de interferômetros, a partir da assinatura espectral do gás, visando monitoramento da ozonoesfera e observação da dinâmica da atmosfera. Aproximadamente 90% do ozônio atmosférico encontra-se na estratosfera, entre 15 a 30km acima da superfície terrestre, formando uma camada essencial para a saúde dos seres vivos e proteção dos ecossistemas, e que tem gradativamente perdido a sua integridade (for the Exploitation of Meteorological Satellites , EUMETSAT). O "Buraco de Ozônio", assim chamado pela imprensa é o fenômeno da massiva destruição do ozônio estratosférico. Foi observado por um time liderado pelo cientista britânico J. Farman em 1985, na Antártida, durante a primavera polar.

Para fins do monitoramento que se faz necessário, é possível contar com os sensores a bordo de satélites. Pois eles conseguem medir radiancias ou irradiancias integradas em determinadas bandas espectrais que podem ser estreitas (por exemplo, com largura de alguns décimos de micrômetro) ou largas (por exemplo, em todo o espectro solar). A grandeza radiométrica de interesse, nos diferentes intervalos espectrais, é medida a partir de detectores independentes, genericamente denominados de canais. Observando essas medidas, pode-se compreender melhor o que ocorre na atmosfera.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos primários

1. Desenvolver um conceito de CubeSat que consiga cumprir a missão;
2. Monitorar a ozonoesfera em todo o hemisfério Sul com o CubeSat;
3. Fornecer dados brasileiros públicos e gratuitos sobre as condições da Camada de Ozônio aos pesquisadores locais, para estudo de química da atmosfera;
4. Permitir melhor compreensão dos impactos ambientais gerados pelo ser humano.

1.1.2 Objetivos secundários

1. Distribuir dados da química da atmosfera para a comunidade científica internacional;

2. Análise de stakeholders (STK)

2.1 Identificação dos stakeholders

Levando em consideração a missão apresentada neste documento, há a necessidade de encontrar os principais stakeholders. Para isso, faz-se necessário compreender os principais indivíduos e/ou organizações interessadas pelo projeto.

Considerando que o projeto do Ozonosat está nas mãos de estudantes de nível superior, percebe-se que as instituições universitárias de todo o Brasil podem se envolver na concepção e na operação do equipamento. Além disso, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui grupos de pesquisas para monitorar aerossóis na estratosfera, como o grupo FISAT (Física da alta Atmosfera), que faz parte da Divisão de Aeronomia. Além disso, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) possui um projeto em parceria com Universidade de Reims Champagne-Ardenne e a Universidade de La Réunion – ambas francesas –, conhecido como Meso - modelagem e previsão dos efeitos secundários do buraco de ozônio antártico.

Os autores realizaram entrevistas com stakeholders do projeto. As conversas evidenciaram a necessidade de um sistema espacial que possa contribuir com a obtenção de dados brasileiros sobre o gás ozônio. A mesma achou pertinente haver um CubeSat que consiga fazer essas medições de ozônio na estratosfera ou na LEO. A Figura 1 mostra os principais stakeholders de missão:

2.2 Requisitos dos stakeholders

Abaixo seguem os requisitos dos stakeholder de missão:

STK_R_001: O STK deve receber os dados quanto às medições sobre a quantidade de ozônio em todo hemisfério sul, incluindo o Polo Sul;

STK_R_002: O STK deve ter acesso aos dados de forma gratuita;

STK_R_003: O STK deve obter os dados com a maior frequência possível;



Figura 1: Principais stakeholders de missão. Fonte: Autores

STK_R_004: O STK deve poder avaliar o impacto ambiental gerado pelo ser humano, utilizando como parâmetro a degradação da Camada de Ozônio;

STK_R_005: O STK deve conseguir observar as influências da degradação da Camada de Ozônio na vida cotidiana da população.

3. Medidas de Efetividade (MoE)

Para que seja possível medir a efetividade da missão, são utilizadas as chamadas medidas de efetividade (MoE's), definidas preliminarmente.

Estão dispostas na Tabela 1 as formas de medir quantitativamente se a missão está sendo bem sucedida.

Tabela 1: Medidas de Efetividade do OzonoSat

Objetivos do OzonoSat	MoE's Preliminares
Exatidão dos dados, comparados com outros satélites	Porcentagem da exatidão (%)
Ampliar acesso dos dados sobre o gás ozônio	Número de artigos publicados com dados da missão
Medição do gás ozônio no hemisfério Sul	Quantidade de dados coletados semanalmente

4. Justificativa

Conforme (VOLKER W. J. H. KIRCHHOFF, 2014), para realizar as medições da Camada de Ozônio existem diversos instrumentos, como o espectrofotômetro Dobson, o espectrofotômetro Brewer, o GUV e balões de sondagem, principalmente.

A maior parte desses instrumentos permitem que as medições sejam feitas em terra, e alguns instrumentos podem ser usados apenas por um período curto de tempo e operados de forma manual - como o espectrofotômetro Dobson e os balões de sondagem. Um CubeSat capaz de fazer um monitoramento com uma constância maior pode contribuir para que os pesquisadores possam ter um panorama mais completo do que se passa com a Camada de Ozônio, visto que satélites coletam mais dados, cobrindo uma área maior em mesmo tempo, quando comparados com outros instrumentos (utilizados para medições *in situ*).

Atualmente, os pesquisadores brasileiros utilizam dados de satélites estrangeiros e de instrumentos locais operados manualmente. Contudo, não existem satélites brasileiros em órbita realizando a medição da degradação da Camada de Ozônio.

Conhecendo os impactos que a degradação da Camada de Ozônio pode causar, observa-se a necessidade de obtenção de dados captados por instrumentos brasileiros, para que pesquisadores locais tenham acesso pleno às informações, para que tenham mais comprovações do impacto antrópico na Camada de Ozônio. Assim, haverá base científica para propor possíveis acordos internacionais que tenha por objetivo a proteção da Camada de Ozônio.

5. Requisitos de Missão

Considerando o conceito da missão, inicia-se a análise de decisão em se desenvolver uma plataforma ou comprá-la pronta ("make it or buy it?").

Observando os objetivos da missão como científicos, e o menor risco como prioridade, a decisão tomada foi a de adquirir a plataforma COTS (subsistemas de prateleira), desenvolvendo e integrando o produto com a carga útil.

A carga útil será composta por um Interferômetro de Sondagem Atmosférica Infravermelha (IASI), como o utilizado no satélite GOME-2 (for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT).

Desse modo, os requisitos abaixo devem ser atendidos:

REQ_S_001: O CubeSat deve conseguir cumprir todos os requisitos determinados na norma CubeSat Design Specification (CDS) Rev 13 para um CubeSat do tipo 1U;

REQ_S_002: A carga útil deve ser capaz de medir, de maneira passiva, a quantidade de gás ozônio na estratosfera;

REQ_S_003: O CubeSat deve ser lançado em órbita polar ou quase polar, LEO (Low Earth Orbit), com altitude de 400km a 600km;

REQ_S_004: O CubeSat deve enviar, diariamente, dados sobre o ozônio no hemisfério Sul, realizando uma medida a cada cinco segundos;

6. Contextualização: sistemas e subsistemas

De acordo com o NASA System Engineering Handbook (NASA, 2007), engenharia de sistemas é definida como a abordagem metódica e multidisciplinar de projeto, gestão técnica, operações e, até, o descarte de um sistema. Um sistema é a combinação de elementos que funcionam juntos para produzir uma capacidade requerida para atender uma necessidade. Os elementos do sistema incluem todo o hardware, software, equipamento, instalações, pessoal e processos necessários para cumprir esse fim.

Para que um satélite, como CubeSat, possa cumprir sua missão, é necessária a utilização de subsistemas integrados entre si, de acordo com o conceito de engenharia de sistemas.

Os subsistemas são subdivididos entre: plataforma e carga útil (subsistemas essenciais).

A plataforma é composta pelos subsistemas necessários para o suporte da missão durante a sua operação - mantém o corpo em órbita, com a atitude adequada, tratam dados, transmitem informações e permitem que todos os subsistemas tenham energia. Enquanto isso, a carga útil compreende os subsistemas necessários para cumprir os requisitos de missão.

Dessa forma, os subsistemas e sistema de solo envolvidos na missão são descritos de forma preliminar nos subitens abaixo. (Hatch, 2016)

6.1 Sistema de Estação Terrena

As principais estações terrenas alvo para recepção dos dados são: COESU/INPE (Santa Maria-RS) e COENE/INPE (Natal-RN). A estação será responsável por pré-processar os dados e, enfim, redirecioná-los para os stakeholders. Além das estações citadas anteriormente, espera-se utilizar da colaboração de estações internacionais, além de rádio-amadores, que possam apoiar o satélite na coleta de dados.

6.2 Subsistema de estrutura

O subsistema de estrutura (STR) de um CubeSat é feita de alumínio, e comumente são utilizadas as ligas: 7075, 6061, 5005 and 5052, anodizadas para prevenir uma possível "soldagem fria" no espaço. Tem dimensões cúbicas, com 10 centímetros de aresta, podendo chegar a pesar, no total (contando com todas as cargas e estrutura), 1,33kg.

6.3 Subsistema de comunicação

O subsistema de comunicação (COM ou TT&C) é baseado em ondas de rádio dos tipos VHF e UHF. O subsistema utiliza de antenas, geralmente implementada uma vez que o CubeSat já se encontra em órbita. A implementação da antena varia do estilo de fitas métricas comerciais, mais simples, a antenas impressas na própria PCB, do tipo Microstrip.

Esse subsistema costuma ser bastante limitado pela quantidade de energia disponível, que costuma estar por volta de 2W.

6.4 Subsistema de potência

O subsistema de energia elétrica (EPS) consiste em painéis solares, baterias, conversores de potência e cablagem. Os painéis solares utilizam células fotovoltaicas de tripla junção para converter luz solar em energia elétrica. As baterias ocupam grande parte do volume dentro da estrutura do satélite, e os conversores regulam a energia, atendendo às demandas dos subsistemas e carga útil.

6.5 Subsistema de determinação e controle de atitude

O subsistema de determinação e controle de atitude (ADCS) controla a orientação do CubeSat em relação a um referencial inercial e pode incluir rodas de reação, "magnetorquers", propulsores, sensores de estrelas, sensores de sol e terra, sensores de taxa angular, e receptores e antenas GPS. Este subsistema complexo é necessário para reduzir a velocidade angular de rotação do CubeSat (*detumble*) ou para realizar apontamentos específicos de cada missão. A missão do OzonoSat necessita que, durante a coleta dos dados, o satélite esteja apontando para a Terra.

6.6 Subsistema de computação de bordo

O subsistema de computação de bordo (CDHS ou OBDH) inclui seu próprio computador que faz interface com a carga útil para realizar várias tarefas que podem incluir processamento de imagem, análise de dados e compactação de dados.

6.7 Carga útil

A carga útil (payload) varia drasticamente, dependendo do tipo de missão necessária. Isso pode incluir câmeras para fotos ou vídeos ou qualificação espacial de certos componentes eletrônicos, teste de um sistema de controle de voo ou mesmo algum tipo de experimento biológico. No caso da missão aqui apresentada, serão utilizados interferômetros do tipo IV para medição do gás ozônio.

7. Conceito de operação (CONOPS)

A sequência de eventos que participam da operação são, portanto, os descritos na Figura 2:

- Lançamento: o CubeSat será lançado à atmosfera dentro de um Veículo Lançador;
- Ejeção: o CubeSat será ejetado do Veículo Lançador. Sendo retirado do *POD* (nicho dentro do qual o CubeSat fica inserido antes da ejeção), terá seu *Kill Switch* (que assegura que o CubeSat permaneça desligado durante o lançamento) desativado;
- Comissionamento: o sistema do CubeSat avalia a própria situação vital, buscando problemas antes de iniciar a missão (utilização do CDHS);
- Apontamento para Terra: como parte do processo de comissionamento, o CubeSat será capaz de reduzir sua atitude até que os elementos de missão estejam apontados para a Terra (utilização do ADCS e do CDHS);
- Missão principal: o CubeSat realizará a missão;
- Descarte: após a realização da missão e o fim da vida útil, num período estimado por simulações no GMAT de cinco a seis meses, o CubeSat irá fazer sua reentrada na atmosfera, se desintegrando.

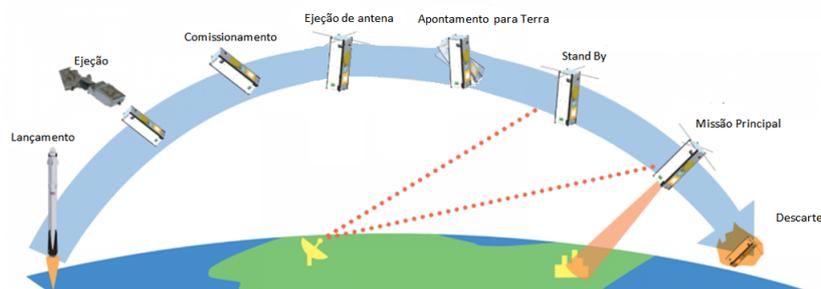


Figura 2: Esquema de fases de lançamento de um satélite Fonte: (University, 2020)
Traduzido e adaptado pelos autores

7.1 Modos de Operação

A partir do momento em que é ejetado, o CubeSat passa por modos de operação que passam de um para o outro a partir de gatilhos. Os principais modos são: Modo Safe, Modo Nominal, Modo Científico e Modo Stand-By.

7.1.1 Modo de Segurança

Inicialmente, o CubeSat deverá atingir uma velocidade angular suficiente para se manter em órbita (em média $10^{\circ}/s$). Assim que essa velocidade for atingida, e a atitude for reduzida o suficiente (*detumble*), o C&DH irá verificar a situação vital do CubeSat. Caso todos os sistemas estejam funcionando como devem, o ADCS irá passar para o modo para o Modo Nominal.

7.1.2 Modo Nominal

Após a observação da situação vital do CubeSat e redução da atitude, o satélite irá iniciar a missão científica, realizando, também, a comunicação com a Terra.

Caso seja necessário, o ADCS irá passar para o Modo de Segurança, definido para proteger o satélite, sem perder a comunicação com a Terra.

O OzonoSat, enquanto no Modo Nominal, irá transmitir dados para as Estações Terrenas, por meio de frequências rádio-amadoras UHF (entre 430 e 440MHz), para *uplink*, e VHF (entre 144MHz e 146MHz), para *downlink*.

7.1.3 Modo Científico

O Modo Científico ocorre enquanto o satélite passa pela região alvo da missão, no caso do OzonoSat, o hemisfério sul com ênfase nos polos. O satélite coletará dados que, durante o Modo Nominal, serão transmitidos às estações terrenas.

7.1.4 Modo Stand-By

Enquanto o satélite está passando por uma área diferente da região do hemisfério sul e não tem mais dados para enviar, irá entrar em Modo Stand-By. A forma de funcionamento dos modos pode ser observada no *State Machine Diagram* a seguir. É importante salientar que nos modos Nominal e Científico, deve estar sendo feito o apontamento para a Terra, enquanto nos demais modos apenas o *detumble* é suficiente. Para melhor compreensão dos modos, pode-se utilizar a Figura 3, que mostra um *State Machine Diagram* para o OzonoSat.

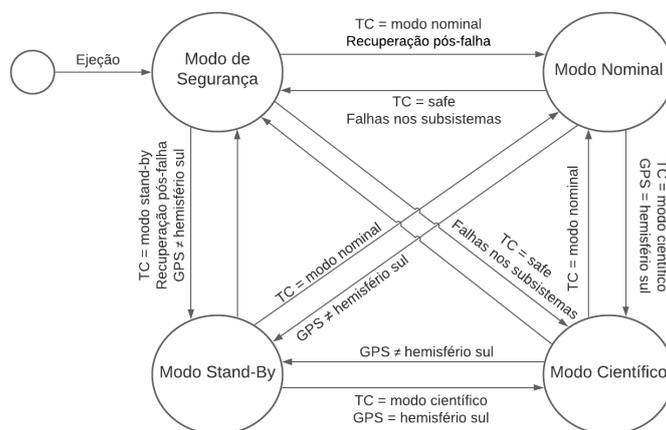


Figura 3: State Machine Diagram para o OzonoSat. Fonte: (Azhan, 2014)

8. Proposta de conceito de sistema

A partir da leitura do CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First Time Developers (Initiative, 2017), foi possível montar uma lista de materiais, utilizando como base o conceito de sistema de CubeSat, apresentado na Tabela 2

Tabela 2: Visão geral dos subsistemas do Ozonosat

Subsistema	Propriedade
STR	Estrutura principal feita de alumínio com dimensões 1U
COM	Transceptores de VHF e UHF e antenas
EPS	Painéis solares, células solares e baterias secundárias
ADCS	Magnetorquers, receptor GPS, sensor de sol, magnetômetro
CDHS	Unidade de micro-controle, de memória e de interface de carga útil
Carga Útil	Interferômetro de sondagem atmosférica infravermelha (IASI)

A Figura 4 apresenta um breve esquema dos sistemas e subsistemas de um satélite, de acordo com a tabela acima.

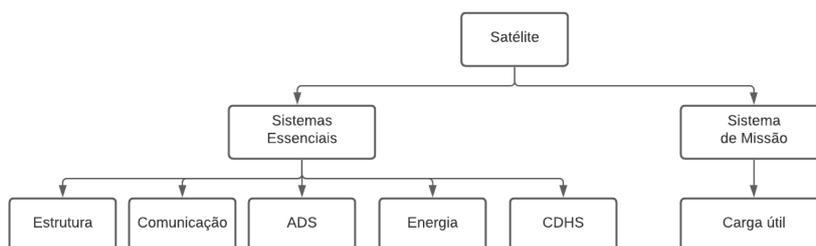


Figura 4: Esquema de sistemas essenciais e de missão em um satélite Fonte: (Azhan, 2014)

9. Gerenciamento do projeto

9.1 Fases da missão

Não existe somente uma forma pela qual uma missão deve ser iniciada, e pode partir de várias partes da comunidade - um indivíduo leigo, ou um grupo de leigos, ou até cientistas. Conforme há o desenvolvimento, é importante que a missão siga determinadas fases, apresentadas na Figura 5.

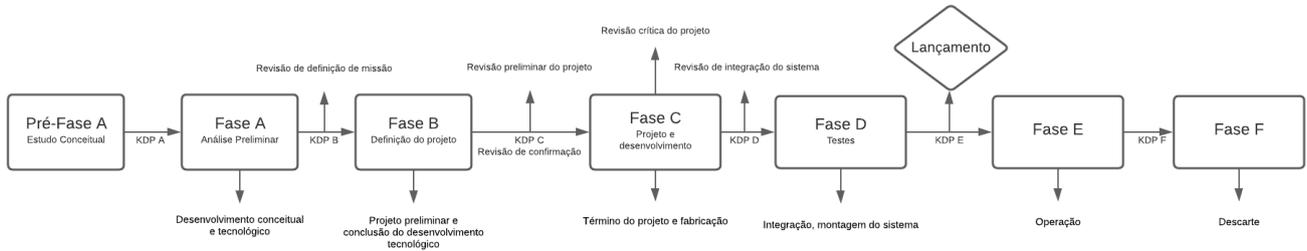
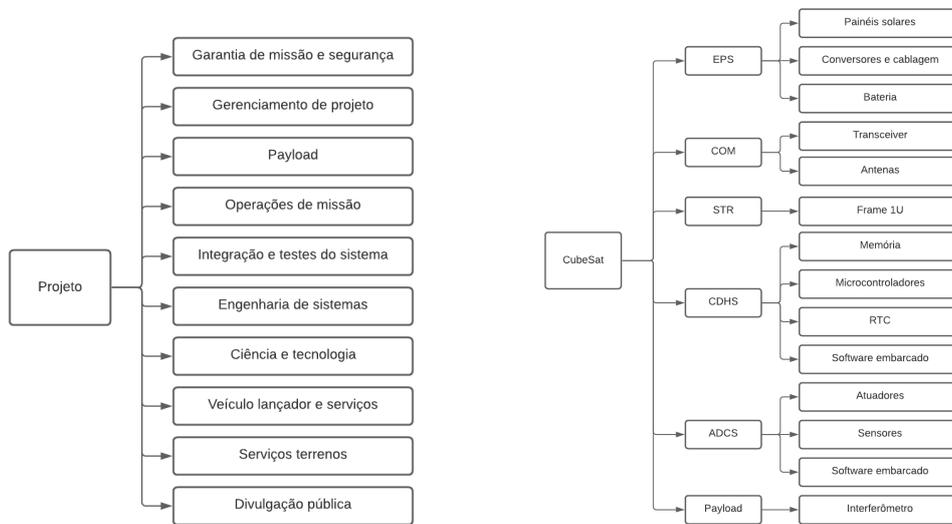


Figura 5: Esquema de fases de uma missão espacial, NASA. Fonte: (NASA, 1993) Traduzido pelos autores

Revisões formais são utilizadas para controlar o projeto em pontos críticos, determinando se o processo de desenvolvimento do sistema deve continuar a partir de um determinado ponto, ou avaliar possíveis modificações.

9.2 Estrutura Analítica do Trabalho (WBS)

O projeto é baseado na parte humana, que produz o conteúdo, e a produto produzido. A partir disso, foram construídas duas árvores, definindo a Estrutura Analítica do Trabalho (WBS) (Figura 6) e, sob ela, a Estrutura Analítica do Produto (PBS) (Figura 7). Definindo o produto e como se trabalhar nele, alcançar os resultados esperados se torna mais possível.



(a) Estrutura Analítica do Trabalho (WBS).
Fonte: elaborado pelos autores

(b) Estrutura Analítica do Produto (PBS) - Árvore do Produto. Fonte: elaborado pelos autores

Figura 6: Esquema de sistemas essenciais e de missão em um satélite. Fonte: (Azhan, 2014)

9.3 Restrições

9.3.1 Custos

Em uma entrevista dada à revista Fapesp em 2014, o doutor Otávio Durão, coordenador de engenharia e tecnologia espacial do projeto na sede do INPE em São José dos Campos, comenta que o custo total para o lançamento do NanoSatC-BR1 foi estimado em R\$ 800 mil, incluindo compra de componentes, desenvolvimento do software da estação terrena de rastreamento e controle de nanossatélites, construção da estação e dos experimentos que irão como carga útil, além do lançamento pelo veículo lançador *Dnepr*, que custou R\$ 280 mil reais. Corrigindo para valores atuais, o custo total ficaria próximo de R\$1,94 milhões. Considerar os gastos do lançamento é pertinente pois o NanoSatC-BR1, possui as mesmas dimensões no Ozonosat e os componentes também serão comprados. Logo, o custo final deve ficar semelhante.

Utilizando o método apresentado pelo CubeSat Handbook: From Mission Design to Operations (Chantal Cappelletti, 2020), os custos envolvendo o CubSat podem ser divididos de forma percentual conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa de custos

Fase (Custo%)	Momento da Missão
Pré Fase A (20% - 40%)	Análise da Missão
Fases A e B (15% - 35%)	Estudo de Viabilidade
Fase C (30% - 40%)	Definição dos Detalhes
Fases D, E e F (5% - 15%)	Produção e Operação

10. Conclusão

Pode-se concluir que o Ozonosat é capaz de cumprir a sua missão solicitada por um período mínimo de seis meses. E, embora este tempo pudesse ser insuficiente para coletar dados necessários para análise, o baixo custo associado aos *Cubesats* permite que mais modelos possam ser lançados de forma consecutiva a fim de dar continuidade às coletas iniciadas. Além disso, os dados coletados pelo equipamento serão de grande auxílio para os pesquisadores que os usarão para estudar e monitorar a ozonoesfera, garantindo assim a sua segurança e proteção.

Por fim, o Ozonosat pode ser a iniciativa para o desenvolvimento de novos *Cubesats* operando com diferentes payloads para integrar a mesma missão.

11. REFERÊNCIAS

- Azhan, S.; Sabri, S.F.I.M.e.K.M., 2014. *Preliminary Design of Nano-Satellite in ANGKASA for Demonstration Purpose*. Malaysia.
- Chantal Cappelletti, Simone Battistini, B.M., 2020. *CubeSat Handbook: From Mission Design to Operations*. Academic Press. ISBN 9780128178850. URL <https://pt.scribd.com/book/477449761/CubeSat-Handbook-From-Mission-Design-to-Operations>.
- ESTRATÉGICOS, C.D.G.E.E., 2018. *CubeSats - Resumo Executivo*. GCEE, Brasília.
- for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), E.O., 2016. *How and why are measurements of ozone taken from space?* ScienceDaily.
- Hatch, T.T., 2016. "Satellite 101: What is a cubesat?" *fictiv*.
- Initiative, N.C.L., 2017. *CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First Time Developers*.
- NASA, 1993. *Basics Of Space Flight - Solar System Exploration: NASA Science*. NASA.
- NASA, 2007. *NASA Systems Engineering Handbook*. NASA.
- University, A.S., 2020. *Phoenix Cubesat - Concept of Operations*.
- VOLKER W. J. H. KIRCHHOFF, N.P.L., 2014. "A camada de ozônio". Laboratório de Ozônio do INPE. 6 Feb. 2014 <<https://cetesb.sp.gov.br/prozonesp/wp-content/uploads/sites/16/2014/02/acamadaozonio.pdf>>.