



Modelo para seleção de portfólio de projetos de Cubesats

Priscila Renata Barros Cardoso¹, Christopher Shneider Cerqueira², Geilson Loureiro³

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

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil
Centro Espacial ITA.

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Professor no curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE.

priscila.barros@inpe.br

Resumo. *O aumento cada vez mais expressivo de projetos de pequenos satélites, tecnologia que vem permitindo a difusão do conhecimento em satélites, despertando o interesse e a introdução de novos atores na área espacial, tais como, universidades e empresas de desenvolvimento de tecnologias diversas, desponta a necessidade da seleção de projetos desejáveis e viáveis para desenvolvimento. Este artigo apresenta uma sugestão de método para seleção de portfólio de projetos de cubesats, que pode ser utilizado do mesmo modo a outros pequenos satélites, com o objetivo de auxiliar empresas com potencial de financiamento ou de desenvolvimento a escolherem de maneira estruturada a quais destinarem seus recursos e esforços. Para tal, propõe-se utilizar uma metodologia de auxílio à tomada de decisões, o AHP-Sort, uma variante da metodologia AHP, para classificação. Através de um exemplo de aplicação do método apresenta-se a proposta e salienta-se a necessidade da participação dos especialistas e stakeholders na definição dos critérios e nos julgamentos que irão propiciar a seleção adequada.*

Palavras-chave: AHP-Sort; Cubesats; MCDA; Portfólio de Projetos; Small satellites.

1. Introdução

Este artigo apresenta um modelo para seleção de portfólio de projetos, adaptável às características, valores e interesses da instituição que o use para este intuito.

A motivação inicial deste estudo foi a necessidade identificada de selecionar conjuntos de projetos de pequenos satélites, haja visto o crescente número de entrantes nesta vertente espacial, o que propiciará um número de propostas cada vez maior a serem avaliadas quanto a sua viabilidade e interesse. Nota-se o fato por exemplo, em iniciativas como as chamadas de projetos da *NASA's CubeSat Launch Initiative* [NASA 2020], que selecionam propostas de instituições educacionais, organizações sem fins lucrativos e centros da NASA para serem lançadas como carga úteis adicionais com as missões espaciais planejadas lideradas pela NASA, outras agências governamentais dos EUA ou organizações comerciais, onde até o momento, foram selecionadas 192 missões cubesat com mais de 100 lançamentos no espaço por meio de oportunidades de compartilhamento de viagens, certamente onde deve ter sido utilizada alguma metodologia para cada seleção.



E assim, o objetivo principal deste trabalho é auxiliar a tomada de decisão à respeito de quais projetos cubesats devem ser conduzidos prioritariamente, de acordo com a identificação da relevância de cada critério estabelecido pelos interessados no projeto.

Portifólio de projetos

Algumas organizações podem empregar o uso de um portfólio de projetos para efetivamente gerenciar vários programas e projetos em andamento num determinado momento. Sendo projeto definido como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único. [PMI 2017]

Existe vasta literatura a respeito de seleção de portfólio de projetos, muitos dos quais utilizam alguma Metodologia de Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) para incluir os interessados nos projetos no processo de escolha, reduzir a subjetividade e dar credibilidade e rastreabilidade às escolhas feitas.

MCDA

A Análise Multicritério de Apoio à Decisão, com suas metodologias, advém da Pesquisa Operacional, que busca encontrar soluções aos problemas do mundo através de modelos.

As metodologias podem auxiliar em diferentes problemáticas de decisão, descritas por [Roy and Bouyssou 1993]:

1. Problemas de escolha (*choice problem*), onde o objetivo é selecionar a melhor opção ou reduzir o grupo de opções.
2. Problemas de classificação (*sorting problem*), nos quais as opções são classificadas em grupos ordenados e predefinidos, chamados categorias ou classes. O objetivo é reagrupar as opções com comportamentos ou características semelhantes.
3. Problemas de ordenação (*ranking problem*), nesta as opções são ordenadas por meio de pontuações ou comparações.
4. Problemas de descrição (*description problem*), que tem como objetivo descrever opções e suas consequências.

Além destas tradicionais, existem outras problemáticas de decisão postuladas pelos pesquisadores da área ao longo do tempo ou até combinações delas, cada qual com metodologias dedicadas desenvolvidas para auxiliar seu tratamento.

AHP-Sort

Para problemas de classificação, como o problema que temos neste artigo, um dos métodos de possível utilização é o AHP- Sort, uma ainda pouco explorada variante do AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

O AHP original, foi desenvolvido por Thomas Saaty e apresentado no livro [Saaty 1980], sendo até hoje um dos métodos de análise de decisão mais difundidos e utilizados em problemas de escolha, como o de escolha de projetos, porém, este artigo apresenta uma nova proposta, a utilização do AHP-Sort por identificar que o problema de seleção de portfólio de projetos pode ser tratado como um problema de classificação ao invés do habitual problema de escolha de projetos, visto que podemos tratar como conjuntos de projetos, isto auxiliaria inclusive os julgamentos dos decisores quando possuem um número grande de propostas, agrupando-os pelas características semelhantes.



Cubesats

Neste artigo optou-se exemplificar o modelo proposto com pequenos satélites do tipo cubesats.

Os cubesats são satélites artificiais com tamanho bem reduzido, o tipo mais habitual dos nanosatélites (categoria de satélites com massa de 1 a 10kg) [Poghosyan and Golkar 2017], formado por cubos de 10 cm x 10 cm denominada unidade 1U, podendo ter tamanhos múltiplos a esta unidade sendo comuns 1U, 2U, 3U, 6U, 8U e 12U. A figura 1 apresenta os tipos de nanosatélites, entre os quais os cubesats, já lançados (em verde) e não lançados (em azul) até a presente data.

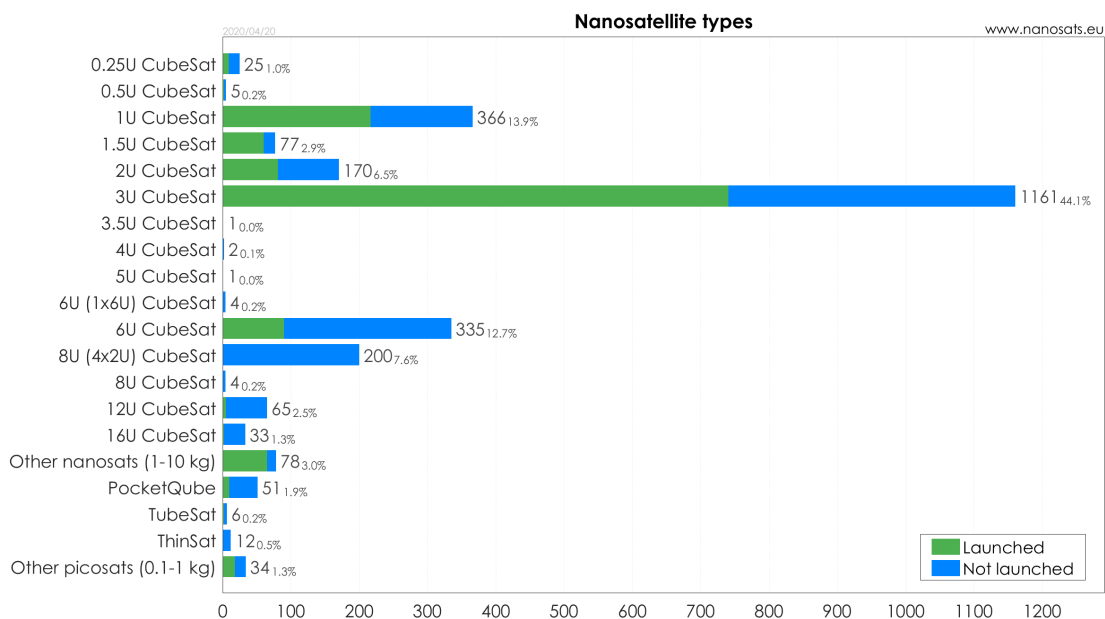


Figura 1. Tipos de Nanosatélites. Fonte: [Nanosats Database 2020]

Devido ao seu tamanho, são geralmente uma plataforma de baixo custo, que pode ser utilizada para uma variedade de aplicações, de maneira educacional atraindo alunos para as áreas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), de pesquisa ou industrial oferecendo soluções para alguns dos desafios atuais na área espacial.

Em síntese, este trabalho propõe um método utilizando uma metodologia de Apoio à Decisão (MCDA), que auxilie a seleção de portfólio de projetos de Cubesats.

2. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na aplicação do AHP-sort para a classificação de uma gama de projetos de cubesats, como ilustra a figura 2.

Foram seguidos os seguintes passos, conforme [Ishizaka and Nemery 2013]:

A) Definição do problema

- 1- Definição do objetivo, critérios e alternativas.
- 2- Definição de categorias (classes).
- 3- Definição do perfil de cada classe.

B) Avaliações

- 4- Avaliação par-a-par a importância dos critérios e derivação de pesos



- 5- Comparação em uma matriz pareada um único candidato a ser classificado com perfis limitantes ou centrais para cada critério para derivar prioridades locais para cada critério
- 6- Agregação das prioridades locais ponderadas, que fornecem uma prioridade global de cada alternativa.

C) Atribuição às classes

7- Atribuição da alternativa à sua classe, através da prioridade global.

8- Repetição das etapas 5 a 7 para cada alternativa a ser classificada.

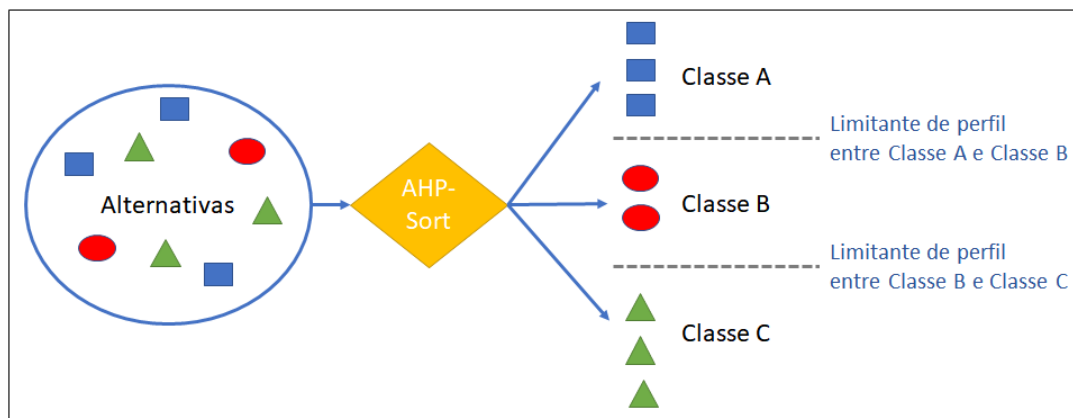


Figura 2. AHP-Sort para problemas de classificação. Adaptado de Fonte: [Ishizaka et al. 2012]

Para detalhamento dos passos e aprofundamento no método recomenda-se as referências [Ishizaka et al. 2012], [Ishizaka and Nemery 2013], [Gujansky 2014], [Gujansky and Belderrain 2014]

Para este artigo todos os passos foram feitos ilustrativamente, com sugestões e julgamentos hipotéticos, para a construção de um modelo que possa ser aplicado de forma real da mesma forma, porém utilizando o conhecimento dos especialistas para todas as definições e o julgamento dos stakeholders.

3. Resultados e Discussão

Esta seção apresenta a aplicação do modelo passo-a-passo com um exemplo.

Passo 1 - Definição do objetivo, critérios e alternativas.

Objetivo: Classificar projetos cubesats.

Critérios: Tipo de missão, Tamanho, Custo estimado, Órbita de interesse, nível de Maturidade Tecnológica. Estes critérios devem ser melhor definidos pelos especialistas segundo as características dos projetos que desejam.

Alternativas: Para exemplo serão utilizados Cubesats x, y, z, w, com características diferentes. A tabela 1 apresenta uma lista de cubesats fictícios usados neste teste do modelo, em um caso real, aqui seriam os dados verdadeiros das propostas de cubesats em estudo.



Tabela 1: Cubesats em estudo.

Alternativas	Critérios				
	Missão	Tamanho	Custo	Órbita de interesse	Maturidade
Cubesat x	Científica	4U	5.000	450Km	TRL6
Cubesat w	Científica	8U	100.000	200Km	TRL2
Cubesat y	Exploratória	3U	80.000	600Km	TRL4
Cubesat z	Desenv. tecnológico	2U	10.000	450Km	TRL3

Passo 2 - Definição de categorias (classes)

Classe A = Projetos prioritários, que seriam os mais indicados a serem conduzidos;

Classe B = Projetos secundários, que seriam os projetos que não são os que mais se adequam aos interesses dos decisores, mas que poderiam ser executados em uma próxima etapa ou em uma nova seleção.

Classe C = Projetos sobressalentes, que seriam os projetos a serem desqualificados.

Passo 3 - Definição do perfil de cada classe (Figura 3).

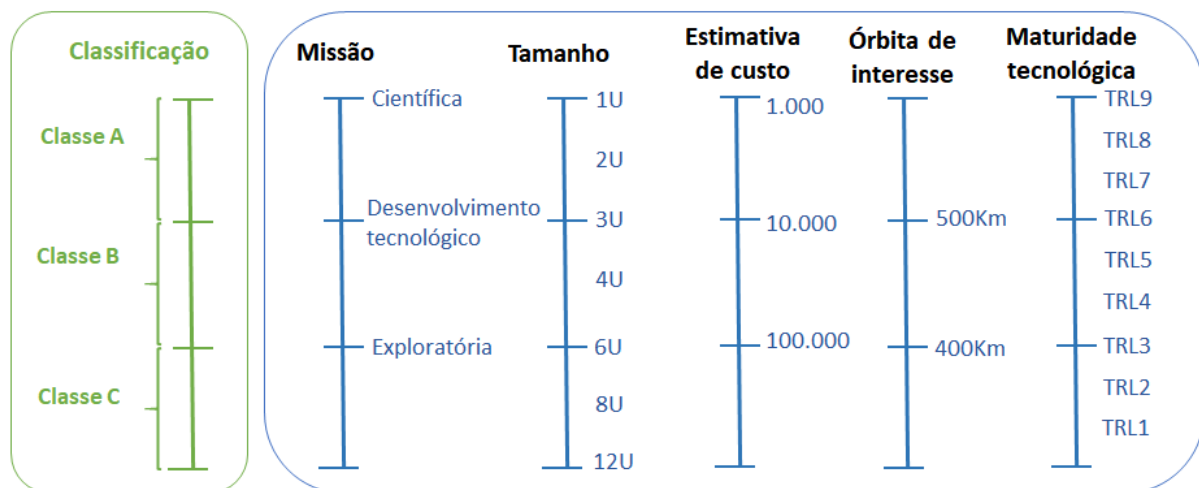


Figura 3. Definição dos perfis das classes.

Passo 4 - Avaliação par-a-par a importância dos critérios e derivação de pesos

Neste passo da metodologia, utilizou-se o apoio computacional do software Superdecisions [Creative Decisions Foundation 2020] (Figura 4) para facilitar visualmente o julgamento dos critérios de comparação pelos decisores.

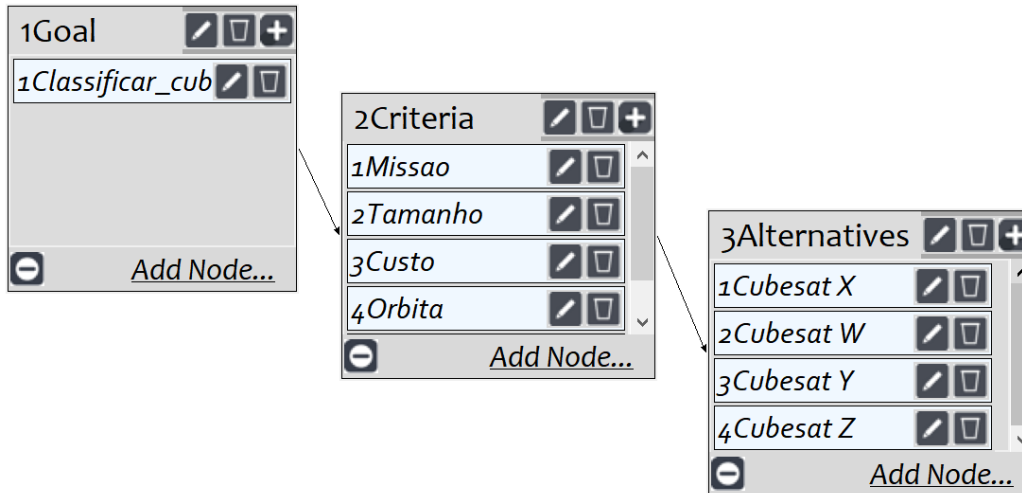


Figura 4. Hierarquia no software superdecisions.

1.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	2Tamanho
2.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Custo
3.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Orbita
4.	1Missao	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade
5.	2Tamanho	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	3Custo
6.	2Tamanho	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Orbita
7.	2Tamanho	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade
8.	3Custo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4Orbita
9.	3Custo	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade
10.	4Orbita	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5Maturidade

Figura 5. Julgamento dos critérios par-a-par.

Os critérios foram avaliados par-a-par (Figura 5), utilizando a Escala fundamental de Saaty (Tabela 2).

Tabela 2: Escala fundamental de Saaty

Importância	Definição
1	Igual preferência
2	Igual a moderadamente mais preferida
3	Moderadamente mais preferida
4	Moderadamente a fortemente mais preferida
5	Fortemente mais preferida
6	Fortemente a muito fortemente mais preferida
7	Muito fortemente preferida
8	Muito fortemente a extremamente mais preferida
9	Extremamente mais preferida



Gerando os seguintes pesos para os critérios (Figura 6).

Inconsistency: 0.04708		
1Missao		0.26125
2Tamanho		0.06105
3Custo		0.15336
4Orbita		0.40954
5Maturida~		0.11480

Figura 6. Pesos gerados de cada critério.

Estes pesos indicam a importância de cada critério, qual terá maior influência sobre o resultado final da classificação. A inconsistência é um índice que deve ser menor que 0.1, como no exemplo 0.04708, se fosse maior que 0.1 indicaria que as avaliações foram incoerentes.

Passo 5 - Comparação em uma matriz pareada, único candidato a ser classificado com perfis limitantes para cada critério derivando prioridades locais para cada critério (Figura 7).

		Limites Classe A/B										Limites Classe A/B																										
Alternativas	>	Missão Desenvolvimento Tecnológico											<	Tamanho 3U																								
		Cubesat x	científica	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	4U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	científica	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	8U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,111111111
Cubesat y	exploratória	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,166666667	3U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5
Cubesat z	desenv. tecn.	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	2U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333
...																																						
		Limites Classe B/C										Limites Classe B/C																										
Alternativas	>	Missão Exploratório											<	Tamanho 6U																								
		Cubesat x	científica	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889	4U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	científica	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889	8U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,166666667
Cubesat y	exploratória	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	3U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,875
Cubesat z	desenv. tecn.	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	2U	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,9
...																																						

		Limites Classe A/B										Limites Classe A/B																										
Alternativas	<	Estimativa de custo ~\$10.000											>	Órbita de interesse 500km																								
		Cubesat x	\$5000	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,833333333	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	\$100000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,1	200Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,142857143
Cubesat y	\$80000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,111111111	600Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,8
Cubesat z	\$10000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,25
...																																						
		Limites Classe B/C										Limites Classe B/C																										
Alternativas	<	Estimativa de custo ~\$100.000											>	Órbita de interesse 400Km																								
		Cubesat x	\$5000	9	8	7	6	5	4	3	2			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6
Cubesat w	\$100000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5	200Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,2
Cubesat y	\$80000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,666666667	600Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,888888889
Cubesat z	\$10000	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,875	450Km	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,8
...																																						

		Limites Classe A/B																	
Alternativas	>	Maturidade tecnológica 6																	
		Cubesat x	TRL6	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8
Cubesat w	TRL2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,111111111
Cubesat y	TRL4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,2
Cubesat z	TRL3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,142857143
...																			
		Limites Classe B/C																	
Alternativas	>	Maturidade Tecnológica 3																	
		Cubesat x	TRL6	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8
Cubesat w	TRL2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,2
Cubesat y	TRL4	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,75
Cubesat z	TRL3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0,5
...																			

Figura 7. Julgamentos das alternativas em relação aos limitantes.



Passo 6 - Agregação das prioridades locais ponderadas, que fornecem uma prioridade global de cada alternativa. **Passo 7** - Atribuição da alternativa à sua classe, através da prioridade global. E, **Passo 8** - Repetição das etapas 5 a 7 para cada alternativa a ser classificada.

Alternativas	Critérios (classe A)					Prioridade do limitante	Prioridade da alternativa	Classe
	Missão	Tamanho	Custo	Órbita	Maturidade			
	0,26125	0,06105	0,15336	0,40954	0,1148			
Cubesat x	0,83333	0,25000	0,83333	0,25000	0,50000	0,4794	0,5206	A
Cubesat w	0,83333	0,11111	0,10000	0,14286	0,11111	0,6889	0,3111	
Cubesat y	0,16667	0,50000	0,11111	0,80000	0,20000	0,5583	0,4417	
Cubesat z	0,50000	0,83333	0,50000	0,25000	0,14286	0,6230	0,3770	
...								

Alternativas	Critérios (classe B)					Prioridade do limitante	Prioridade da alternativa	Classe
	Missão	Tamanho	Custo	Órbita	Maturidade			
	0,26125	0,06105	0,15336	0,40954	0,1148			
Cubesat x	0,88889	0,83333	0,88889	0,80000	0,50000	0,1956	0,8044	A
Cubesat w	0,88889	0,16667	0,50000	0,20000	0,20000	0,5761	0,4239	C
Cubesat y	0,50000	0,87500	0,66667	0,88889	0,75000	0,2636	0,7364	B
Cubesat z	0,83333	0,90000	0,87500	0,80000	0,50000	0,2081	0,7919	B
...								

Figura 8. Avaliações finais dos vetores de prioridade e Classificação final.

Estes três últimos passos foram realizados na mesma tabela (Figura 8) por praticidade. Quando a prioridade global da alternativa é maior do que a prioridade do limitante do perfil, a alternativa pertence àquela classe. Gerando assim como resultado final a seguinte classificação (Tabela 3):

Tabela 3: Classificação final

Classe	Cubesats
A Projetos prioritários	x
B Projetos secundários	y e z
C Projetos sobressalentes	w

4. Conclusão

Este trabalho propôs um modelo para seleção de portfólio de projetos de cubesats, utilizando a metodologia AHP-Sort, e exemplificou o seu uso. Esta mesma metodologia pode ser utilizada para a seleção de quaisquer outros tipos de pequenos satélites.

Como resultado final obtivemos uma lista dos projetos classificados em prioritários, secundários e sobressalentes, o que ajuda os decisores na tomada de decisão de quais projetos devem ser conduzidos.

A vantagem do uso dos métodos AHP e do AHP-Sort é serem métodos de simples entendimento e com análises não complexas, fato que tornou o AHP tão popular e sempre é o método mais conhecido e lembrado logo que se fala em Apoio à Decisão, porém sua limitação de uso para portfólio de projetos é não poder ser aplicável a um número grande de alternativas, pois isto superaria o limite psicológico de avaliação dos decisores. Esta limitação é solucionada pelo AHP-Sort, que permite avaliar quantas alternativas forem necessárias, pois não são utilizadas avaliações par-a-par entre as alternativas.



Como trabalhos futuros, sugere-se aplicar o modelo a um caso real com a definição dos critérios, classes, perfis de classes e julgamentos verdadeiros pelos *stakeholders*, ou pode-se também utilizar um Método de Estruturação de problemas (PSM) para melhor condução na obtenção destas informações. Além de outras metodologias MCDA poderem ainda ser estudadas para comparação de facilidade de aplicação e repetibilidade a este problema de seleção de portfólio de projetos.

Agradecimentos: *Os autores gostariam de agradecer à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro na oportunidade de realizar este trabalho.*

Referências

- Creative Decisions Foundation (2020). Thomas L. Saaty and Rozann Whitaker Saaty - Super Decisions. <http://www.superdecisions.com/>. Acesso em: 01.07.2020.
- Gujansky, G. (2014). Determinação de municípios para implantação de unidades operacionais do senai utilizando modelo de apoio multicritério à decisão. Tese de mestrado. Instituto Tecnológico Aeroespacial.
- Gujansky, G. and Belderrain, M. C. N. (2014). Aplicação do método ahpsort para aquisição de um automóvel. *Revista Gestão em Engenharia*, São José dos Campos, v.1, n.1, p.1-17, jul./dez.
- Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis - Methods and Softwares*. Wiley & Sons.
- Ishizaka, A., Nemery, P., and Pearmana, C. (2012). Ahpsort: an ahp based method for sorting problems. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4767-4784.
- Nanosats Database (2020). Erik Kulu. <https://www.nanosats.eu/>. Acesso em: 01.07.2020.
- NASA (2020). About CubeSat Launch Initiative. <https://www.nasa.gov/content/about-cubesat-launch-initiative>. Acesso em: 01.07.2020.
- PMI (2017). Guia pmbok. In *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos - 6 edição*. Project Management Institute.
- Poghosyan, A. and Golkar, A. (2017). Cubesat evolution: Analyzing cubesat capabilities for conducting science missions. *Progress in Aerospace Sciences*.
- Roy, B. and Bouyssou, D. (1993). *Aide Multicritère à la Décision*. Economica: Paris.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchical Process*. McGraw-Hill International.