

Decisão em Grupo com PROMETHEE GDSS e GAIA: Priorização de Subsistemas no Projeto do Satélite ITA-SAT

Tiago José Menezes Gonçalves

Divisão de Engenharia Mecânica

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - e-mail: tiagojmg@ita.br

Mischel Carmen Neyra Belderrain

Divisão de Engenharia Mecânica

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - e-mail: carmen@ita.br

RESUMO

Os projetos de produtos de alta complexidade envolvem o desenvolvimento simultâneo de vários subsistemas, cujo andamento não sincronizado pode resultar no fracasso do projeto durante a fase de integração. Com o objetivo de minimizar tal problema, este trabalho propõe e investiga a aplicação de uma abordagem multicritério para direcionar os investimentos de recursos durante o desenvolvimento de produtos complexos, utilizando-se para tanto os métodos PROMETHEE GDSS e GAIA. Para tanto, foi realizado um estudo no projeto do satélite ITA-SAT, onde foi realizada uma análise da percepção dos integrantes do projeto em relação ao desenvolvimento de seus subsistemas. Depois de capturadas essas percepções, a abordagem proposta foi utilizada na identificação dos subsistemas com desempenho menos satisfatório. Por fim, os resultados foram analisados e levados para discussão em reunião com os gerentes e membros do projeto, obtendo um *feedback* para as conclusões deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: PROMETHEE GDSS, GAIA, Satélite ITA-SAT.

ABSTRACT

The projects of products of high complexity involve the simultaneous development of various subsystems, whose progress does not synchronized may result in failure of the project during the integration phase. In order to minimize this problem, this paper proposes and investigates the application of a multicriteria approach to guide the investment of resources during the development of complex products, using for it the PROMETHEE GDSS and GAIA methods. To achieve this objective, was conducted a study in the ITA-SAT satellite project, through an analysis of the perception of members of the project regarding the development of each subsystem. Once captured these perceptions, the proposed approach was used to identify subsystems with less satisfactory performance. Finally, the results were analyzed and taken for discussion at a meeting with managers and project members, getting feedback to the conclusions of this research.

KEYWORDS: PROMETHEE GDSS, GAIA, ITA-SAT Satellite.

1. Introdução

Nos projetos para o desenvolvimento de produtos complexos, compostos de muitos subsistemas e componentes que são desenvolvidos paralelamente para integrar o produto final, muitas vezes torna-se necessário priorizar os investimentos de recursos humanos e materiais em subsistemas cujos processos de desenvolvimento apresentem maiores riscos de não serem finalizados a tempo de atender as exigências de cronograma ou àquelas de integração entre componentes e subsistemas do projeto.

De acordo com Marmel (2008), existem dois tipos de tarefas em um projeto: tarefas orientadas a recursos e tarefas não orientadas a recursos. As tarefas orientadas a recursos são aquelas em que a adição ou subtração de recursos afeta diretamente a duração ou o quanto bem a tarefa é executada. Já as tarefas não direcionadas a recursos possuem características especiais que fazem com que sua duração independa da adição ou subtração de recursos.

Em vista dos tipos de tarefas mencionados acima, o desenvolvimento de qualquer subsistema ou componente de um produto pode ser priorizado adicionando-se (ou subtraindo-se) recursos quando estes são compostos inteira ou parcialmente por tarefas orientadas a recursos. Esta priorização torna-se necessária porque o alinhamento no desenvolvimento desses subsistemas é um fator que permite a posterior integração do produto como um todo, portanto existe a necessidade de investir maiores recursos em subsistemas onde o andamento das atividades esteja defasado em relação aos demais.

Para tanto, torna-se necessário o desenvolvimento de uma abordagem que permita identificar quais subsistemas/componentes apresentam maior criticidade em um determinado estágio do desenvolvimento do projeto, permitindo alocar os recursos naqueles com maior criticidade.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo propor uma abordagem multicritério para direcionar os investimentos de recursos durante o desenvolvimento de produtos complexos, utilizando-se para tanto os métodos PROMETHEE GDSS (BRANS; MACHARIS; MARESCHAL, 1998) e GAIA (HAYES; MARESCHAL; SMET, 2009).

Optou-se por utilizar um método de decisão em grupo neste trabalho devido à necessidade de adesão dos integrantes da equipe de projeto quando da realização de ações que visem minimizar a criticidade dos subsistemas identificados pelo método, cujos resultados são mais facilmente reconhecidos com a adoção de uma abordagem que maximize a participação dos membros do projeto e incorpore seus valores e preferências.

De forma sucinta, este trabalho está estruturado na seguinte forma: a seção 2 apresenta a fundamentação teórica referente ao Apoio Multicritério à Decisão, ao método PROMETHEE GDSS e GAIA; a seção 3 apresenta o estudo de caso realizado, onde é apresentada a aplicação da abordagem proposta ao projeto de desenvolvimento do satélite ITA-SAT; por fim, a seção 4 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2. Fundamentação teórica

2.1 Apoio Multicritério à Decisão

Grande parte dos problemas de decisão consistem em problemas envolvendo critérios múltiplos conflitantes, o que representa uma das características de um problema abordado pelo Apoio Multicritério à Decisão (AMD). Em vista de que raramente uma alternativa apresenta simultaneamente o melhor desempenho em todos os critérios considerados, o AMD pode ser definido como um esforço para solucionar o dilema dos critérios conflitantes (ZELENY, 1982).

O AMD envolve um conjunto de métodos que podem ser encontrados na literatura com diferentes denominações, entre elas (em inglês): *Multi-Attribute Decision Making* (MADM), *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), *Multi-Objective Decision Making* (MODM), *Multiple Objective Decision Aiding* (MODA) ou *Multi-Criteria Decision Aiding* (ou *Aid*) (MCDA) (GOMES, C.; GOMES, L., 2001).

De acordo Roy (1996) o AMD pode ser utilizado para abordar quatro tipos de problemáticas de decisão, conforme listadas abaixo:

- Tipo α (Problemática de Seleção – $P\alpha$): Nesta problemática busca-se selecionar a melhor alternativa entre aquelas consideradas.
- Tipo β (Problemática de Classificação – $P\beta$): Nesta problemática procura-se classificar cada ação em classes conforme seu desempenho.
- Tipo γ (Problemática de Ordenação – $P\gamma$): Nesta problemática busca-se ordenar as ações consideradas, segundo seu desempenho.
- Tipo σ (Problemática de Descrição – $P\sigma$): Nesta problemática busca-se alcançar uma melhor compreensão do problema abordado através de sua descrição.

Muitas vezes as decisões são tomadas através da incorporação dos valores e preferências de um grupo de decisores. Para tanto, diversos métodos foram desenvolvidos visando este fim, tais como o ELECTRE-GD (LEYVA-LÓPEZ; FERNÁNDEZ-GONZALEZ, 2003) e o PROMETHEE GDSS (BRANS; MACHARIS; MARESCHAL, 1998), sendo este último mais consolidado na literatura sobre o assunto e foi escolhido para ser aplicado neste trabalho.

2.2 PROMETHEE GDSS e GAIA

O PROMETHEE GDSS (*Preference Ranking Organization METHOD for Enrichment Evaluations – Group Decision Support System*) pertence à família dos métodos de sobreclassificação (do inglês *outranking*, traduzido também como: subordinação, prevalência ou superação). Esses métodos visam construir uma relação de sobreclassificação para representar as preferências dos decisores e resolver a problemática de ordenação ($P\gamma$).

De acordo com Le Teno e Mareschal (1998), o princípio básico dos métodos de sobreclassificação é que se uma alternativa apresenta um desempenho maior que outra na maioria dos critérios, e não apresenta um desempenho fortemente menor em outro, então a primeira alternativa será a alternativa preferida. Além disso, esses métodos consideram que pequenas diferenças nas avaliações das alternativas nem sempre significam um impacto significativo para o decisor (VINCKE, 1992).

Segundo Silva, Morais e Almeida (2010) uma das vantagens dos métodos PROMETHEE (I, II, III, IV, V, VI e GDSS) é a maneira como cada critério é avaliado através de funções de preferência, possibilitando captar de forma mais fidedigna as diferenças de percepção do(s) decisor(es) nas avaliações de cada alternativa, além de não permitir uma compensação ilimitada de grandes vantagens entre as alternativas.

Para a realização desses métodos, dois tipos de informação são necessários: informações entre critérios e informações dentro de cada critério. As informações entre critérios são constituídas pelos pesos atribuídos a cada um deles. Já as informações dentro de cada critério referem-se às funções de preferência relativas a cada critério e seus parâmetros (ver Quadro 1), onde “q” representa o limite de indiferença, “s” representa o limite de preferência estrita e “ σ ” um valor entre “q” e “s” (BRANS; MARESCHAL, 2005).

Neste sentido, depois de definidos os pesos e escolhidas às funções de preferência para cada critério (bem como seus parâmetros), realiza-se o cálculo do módulo dos desvios $d_j(a, b)$ entre os julgamentos para cada par de alternativas “a” e “b”, segundo cada critério “j” considerado, de acordo com a equação $d_j(a, b) = |r_j(a) - r_j(b)|$. Os valores retornados por essa equação são as entradas para as funções de preferência.

Os valores retornados pelas funções de preferência são denominados intensidades de preferência, e são a base para o cálculo do índice de preferência, que representa a intensidade em que uma alternativa “a” é preferida em relação à alternativa “b” levando-se em consideração o peso ω_j de cada critério “j” para todos os “k” critérios analisados. Seu cálculo é realizado de acordo com o equação 1:

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^k \omega_j p_j(d_j)}{\sum_{j=1}^k \omega_j} \quad (1)$$

Depois de calculados os índices de preferência, são calculados os fluxos positivo, negativo e líquido para cada alternativa. De acordo com Brans e Mareschal (2005), esses fluxos são calculados respectivamente conforme as equações 2, 3 e 4, onde “a” representa a alternativa para a qual o fluxo está sendo calculado e “x” varia representando as n-1 alternativas diferentes de “a”.

$$\varphi^+(a) = \frac{\sum_{x \neq a} \pi(a, x)}{n-1} \quad (2)$$

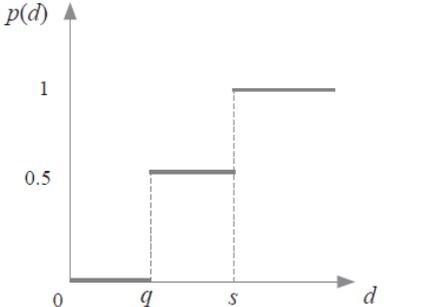
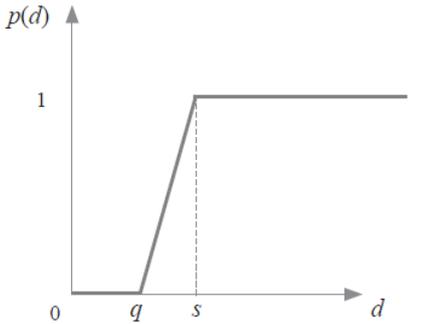
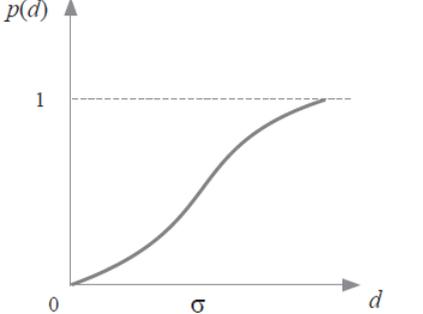
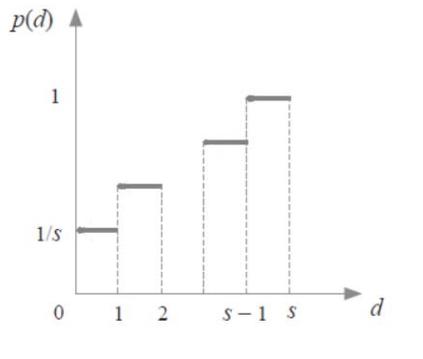
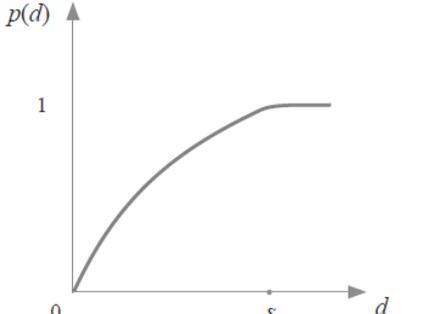
$$\varphi^-(a) = \frac{\sum_{x \neq a} \pi(x, a)}{n-1} \quad (3)$$

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (4)$$

O fluxo positivo representa a intensidade em que uma alternativa é preferida ou supera todas as outras. Já o fluxo negativo representa a intensidade em que uma alternativa é superada pelas demais (BELTON; STEWART, 2002).

Quadro 1: Funções de preferência utilizadas pelos métodos PROMETHEE.

Critério	Função de preferência	Representação gráfica
Usual	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ 1, & \text{se } d > 0 \end{cases}$	
Forma U	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d \leq q \\ 1, & \text{se } d > q \end{cases}$	
Forma V	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ \frac{d}{s}, & \text{se } 0 < d \leq s \\ 1, & \text{se } d > s \end{cases}$	

<p>Com níveis</p>	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d \leq q \\ 0,5, & \text{se } q < d \leq s \\ 1, & \text{se } d > s \end{cases}$	
<p>Linear</p>	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d \leq q \\ \frac{d - q}{s - q}, & \text{se } q < d \leq s \\ 1, & \text{se } d > s \end{cases}$	
<p>Gaussiano</p>	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right), & \text{se } d > 0 \end{cases}$	
<p>Multi-estágios</p>	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ \frac{1}{s}, & \text{se } 0 < d \leq 1 \\ \frac{2}{s}, & \text{se } 1 < d \leq 2 \\ \dots \\ \frac{s-1}{s}, & \text{se } s-2 < d \leq s-1 \\ 1, & \text{se } s-1 < d \leq s \leq \max r_j(\cdot) \end{cases}$	
<p>Forma C</p>	$p(d) = \begin{cases} 0, & \text{se } d = 0 \\ \sqrt{\frac{d}{s}}, & \text{se } 0 < d \leq s \\ 1, & \text{se } d > s \end{cases}$	

Fonte: Adaptado de Valentinas Podvezko e Askoldas Podvezko (2010).

Depois de obtidos os fluxos líquidos de todas as alternativas segundo cada decisor com os procedimentos do PROMETHEE I e II, a ordenação final com o PROMETHEE GDSS pode ser realizada repetindo-se os mesmos procedimentos e considerando cada decisor como um critério, sendo os fluxos líquidos referentes a cada alternativa utilizados como julgamentos (BRANS; MARESCHAL, 2005).

Uma das vantagens na utilização dos métodos da família PROMETHEE é a possibilidade de interpretar os resultados geometricamente através do método GAIA (*Graphical Analysis for Interactive Assistance*) (MARESCHAL; BRANS, 1988; HAYES; MARESCHAL; SMET, 2009). Esta representação consiste em um plano onde são projetados vetores representando critérios e pontos representando as ações.

Segundo Alencar e Almeida (2010), o método GAIA provê informações gráficas sobre os aspectos conflitantes dos critérios e sobre o impacto dos pesos na decisão final, enriquecendo a visão do decisor sobre o problema.

De acordo com Brans e Mareschal (2005) a análise do plano GAIA ajuda a entender a estrutura do problema, sendo realizada da seguinte forma:

- Critérios representados por vetores mais longos no plano GAIA representam critérios com maior variância. Ou seja, são critérios que influenciam mais na ordenação das alternativas caso os pesos dos critérios sejam homogêneos e, caso se queira alterar a ordem obtida, deve-se investir na alteração dos valores desses critérios.
- Critérios que expressam preferências similares são representados por vetores que apresentam as mesmas direções ou que estão orientados aproximadamente na mesma direção.
- Critérios expressando conflitos de preferência são representados por vetores que apresentam direções opostas.
- Critérios que não estão relacionados aos demais em termos de preferências são representados por vetores com direções ortogonais.
- Alternativas similares são representadas por pontos localizados próximos uns dos outros.
- Alternativas que se destacam por serem boas em determinado critério são representadas por pontos localizados na direção do vetor referente ao critério em questão.

Com o objetivo de atingir os objetivos deste trabalho, foi realizada a aplicação da abordagem proposta no projeto para o desenvolvimento do satélite ITA-SAT, conforme apresentado na próxima seção.

3. Projeto do satélite ITA-SAT

O projeto para o desenvolvimento do satélite ITA-SAT foi criado pela Ação 4934 - Desenvolvimento e Lançamento de Satélites Tecnológicos de Pequeno Porte, da Agência Espacial Brasileira (AEB). Essa atividade envolve a AEB, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e o ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica), podendo outras Instituições de ensino superior se associar ao projeto por intermédio de um termo de cooperação com o ITA.

A ação criada pela AEB prevê uma série de missões destinadas a realizar experimentos, desenvolver e testar inovações de tecnologia de satélites e cargas úteis, e capacitar à indústria espacial brasileira neste segmento.

A primeira fase do programa foi criada em 2003 com a participação do ITA e do INPE, para estudar a) as possíveis formas da interação entre Universidades, Institutos de Pesquisas, Indústria e Governo na implementação de tal programa, e b) os principais aspectos tecnológicos envolvidos na realização de uma missão no programa: satélite, subsistemas, integração e testes, lançamento, segmento-solo, operação, gestão e documentação do projeto. Este trabalho concentra-se no segmento satélite, sendo apresentados nas próximas seções os procedimentos realizados para a priorização dos subsistemas analisados.

3.1 Identificação e análise do contexto decisório

O projeto do satélite ITA-SAT, cuja estrutura preliminar pode ser vista na Figura 1, envolve o desenvolvimento dos subsistemas de Controle de Atitude, Computador de Bordo, Potência, Controle Térmico, Estrutura e Telecomando e Telemetria.

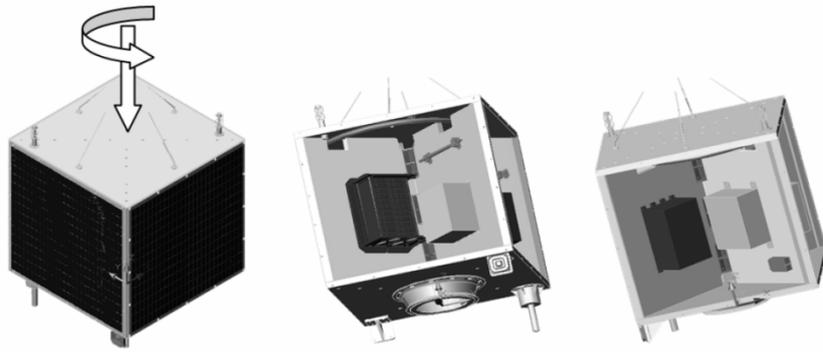


Figura 1: Estrutura preliminar do satélite ITA-SAT. Fonte: Silva e Garcia (2010).

De acordo com Larson e Wertz (1999) *apud* Shibuya *et al.* (2009), esses subsistemas desempenham as seguintes funções:

- **Controle de Atitude (CA):** Este subsistema é responsável por controlar a direção na qual o satélite deve estar apontado, devido à necessidade de alguns de seus instrumentos estarem apontados para um ponto específico.
- **Computador de Bordo (CB):** Este subsistema possui as funções de comunicação interna, controle do satélite e processamento dos dados de bordo. Dois tipos de dados são tratados por este subsistema, os dados de *Housekeeping* e dados científicos. Os primeiros são informações sobre tensão elétrica, posicionamento, estado dos subsistemas ligados, temperatura, *etc.*, que são utilizados pelo segmento solo para atuar sobre o funcionamento dos subsistemas. Já os dados científicos são coletados por instrumentos de bordo para fins de estudos, como imagens e medições de radiação. Devido a diferenças existentes na natureza das atividades do subsistema Computador de Bordo, neste trabalho este subsistema foi dividido em Computador de Bordo – *Software* (CB-S) e Computador de Bordo – *Hardware* (CB-H).
- **Potência (PT):** Este subsistema é encarregado da geração, armazenamento, condicionamento e distribuição de energia para os subsistemas do satélite.
- **Controle Térmico (CT):** Este subsistema tem a função de assegurar que todos os subsistemas e componentes que integram o satélite irão funcionar dentro das faixas de temperatura determinadas pelo projeto, sendo o controle de temperatura realizado por meio de troca de calor entre os componentes do satélite.
- **Estrutura (ET):** Este subsistema representa a ligação mecânica entre os diversos subsistemas e componentes do satélite. Deve ser capaz de suportar os esforços durante o lançamento e no desacoplamento do veículo lançador, consistindo em uma superfície onde os equipamentos são montados. Além disso, deve fornecer proteção contra radiação, ter uma interface de acoplamento com o veículo lançador e desempenhar a função de aterramento para fins térmicos e elétricos.
- **Telecomando e Telemetria (T&T):** Este subsistema permite a troca de informações entre o satélite e a estação de controle em solo.

Em relação aos decisores, foram selecionados quatro representantes entre os integrantes do projeto, os quais foram considerados pelo gerente geral como aqueles com maiores conhecimentos sobre o mesmo.

3.2 Estruturação do problema e do modelo multicritério

Após uma análise da literatura referente a indicadores de desempenho em gerenciamento de projetos, foram selecionados os seguintes critérios: Gestão de Tempo (GT), Efetividade de Comunicação (EC), Gerenciamento de Riscos (GR), Gerenciamento de Integração (GI), Gerenciamento de Custos (GC) e Gerenciamento da Qualidade (GQ). Entretanto a aplicabilidade desses critérios foi discutida com os decisores, onde foi verificado que o conhecimento dos decisores não era suficiente para realizar julgamentos referentes aos critérios GC e GQ, os quais foram excluídos do modelo de decisão.

A escala de julgamento foi formulada com base nos trabalhos de Miller (1956), que constatou os limites do cérebro humano em processar informações, sendo ele capaz de realizar julgamentos sobre aproximadamente 7 ± 2 categorias. Considerando esta informação, neste trabalho foram utilizadas cinco categorias que variaram de 1 (para Muito Ruim) até 5 (para Muito Bom), conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Escala de julgamento.

Escala Verbal	Escala Numérica
Muito Bom (MB)	5
Bom (B)	4
Médio (M)	3
Ruim (R)	2
Muito Ruim (MR)	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a determinação das funções de preferência, foram apresentadas aos decisores as funções presentes no Quadro 1, sendo a função com multi-estágios considerada a mais adequada para todos os critérios utilizados e por todos os decisores participantes deste estudo. Durante as entrevistas, os decisores disseram que segundo a escala adotada qualquer diferença entre os julgamentos representava um valor significativo para eles, devendo ser considerada no resultado final da decisão. Portanto foi utilizado como limite de preferência a menor diferença possível entre dois julgamentos, ou seja, $s = 1$.

Depois de definidas as funções de preferência e a escala de avaliação, foi solicitado que cada decisor realizasse a ponderação dos critérios. Além disso, foi solicitado ao gerente geral do projeto que ponderasse cada decisor, de acordo com o conhecimento sobre o projeto que o mesmo percebia que cada decisor tinha. As ponderações podem ser conferidas no Quadro A5 do Apêndice 1.

3.3 Avaliação individual

Para realizar a ordenação dos subsistemas segundo sua prioridade de intervenção primeiramente foram realizadas avaliações individuais. Para tanto, foram coletados os julgamentos dos decisores sobre cada subsistema avaliado em relação a cada critério, conforme os Quadros A1, A2, A3 e A4 do Apêndice 1.

Depois de coletados os julgamentos, os subsistemas foram avaliados individualmente, sendo os fluxos líquidos de cada subsistema apresentados na Tabela 1 para cada decisor DM_i ($i = 1,2,3,4$), juntamente com a ordem de priorização de cada subsistema. Cabe mencionar que quando houveram empates nos fluxos líquidos, o número correspondente a ordem de prioridade foi repetido para todos os subsistemas empatados.

Tabela 1: Fluxos líquidos de cada subsistema para cada decisor.

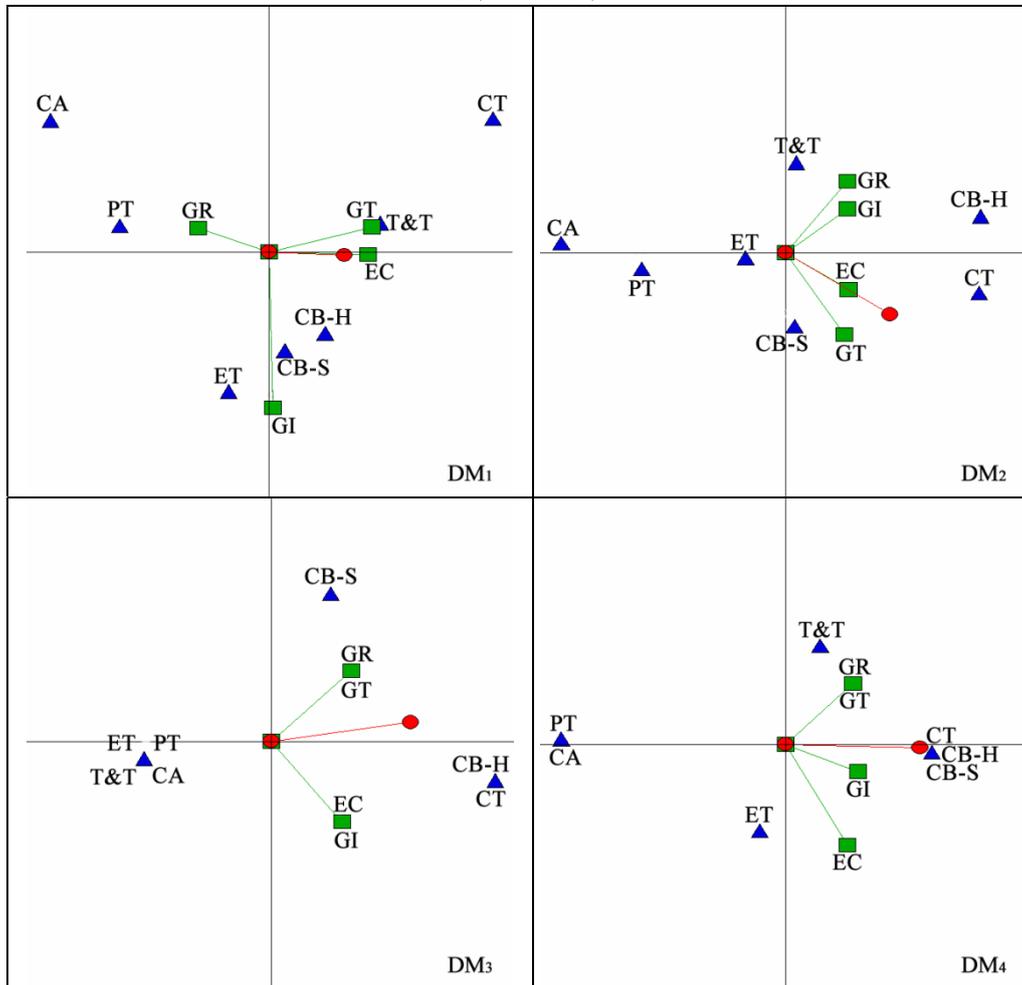
Subsistemas	DM_1	Ordem	DM_2	Ordem	DM_3	Ordem	DM_4	Ordem
Controle de Atitude (CA)	-0.3833	2	-0.9167	1	-0.4333	1	-0.8333	1
Controle Térmico (CT)	0.1667	5	0.8667	7	0.7333	3	0.5417	4
Estrutura (ET)	-0.4833	1	-0.1167	4	-0.4333	1	-0.0833	2
CB – Hardware (CB-H)	0.5667	7	0.7167	6	0.7333	3	0.5417	4
CB – Software (CB-S)	0.0167	4	0.2167	5	0.2667	2	0.5417	4
Potência (PT)	-0.1167	3	-0.5833	2	-0.4333	1	-0.8333	1
T&T (T&T)	0.2333	6	-0.1833	3	-0.4333	1	0.1250	3

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a priorização dos subsistemas, foi realizada uma análise de sensibilidade através da alteração dos valores dos pesos. Nesta análise foi constatado que a alteração dos pesos em 8% em qualquer um dos critérios analisados não altera a ordenação obtida.

Além disso, foi realizada a análise dos planos GAIA para cada decisor, apresentada no Quadro 3. Nesses planos os vetores com a extremidade quadrada representam os critérios, os triângulos representam as alternativas e o vetor com a extremidade circular representa o vetor de peso dos critérios.

Quadro 3: Plano GAIA dos decisores DM_i ($i=1, 2, 3,4$)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o decisor 1 (DM_1), a análise do plano GAIA evidencia que os critérios com julgamentos mais heterogêneos foram Gerenciamento de Integração (GI), Efetividade de Comunicação (EC) e Gestão de Tempo (GT). Além disso, ao analisar a direção dos vetores, nota-se a presença de conflitos entre os critérios de Gerenciamento de Riscos (GR), contra Gestão de Tempo (GT) e Efetividade de Comunicação (EC), o que significa que segundo o decisor 1 os subsistemas que apresentaram melhores desempenhos no primeiro critério não apresentaram conjuntamente bons resultados nos dois últimos critérios e vice-versa.

Em relação aos decisores 2, 3 e 4, observa-se que o tamanho dos vetores dos critérios indicam que estes apresentam variâncias aproximadas, influenciando de forma mais homogênea a ordenação final. Nota-se também que muitos critérios expressam preferências parecidas, apontando todos os vetores para a direita. Além disso, observa-se que os subsistemas Controle de Atitude (CA), Estrutura (ET) e Potencia (PT) estão sempre localizados em direção oposta àquelas dos vetores dos critérios, o que representa conflitos de preferência (julgamentos de menor valor) e conseqüente maior criticidade, o que pode ser observado em 3 das 4 ordenações expostas na Tabela 1.

Especificamente em relação ao decisor 2, os vetores referentes ao GR e GI apresentam direções aproximadas, assim como os vetores referentes aos critérios de EC e GT, refletindo julgamentos mais parecidos quando ambos os grupos de critérios são comparados.

Em relação ao decisor 3, nota-se a presença de dois grupos de critérios cujos julgamentos foram iguais, sendo os julgamentos referentes ao GR iguais aos julgamentos de GT e os julgamentos referentes a EC iguais aos julgamentos de GI. Além disso, observam-se dois grupos de alternativas semelhantes, o primeiro composto por PT, T&T, ET e CA, e o segundo composto por CT e CB-H. Algo parecido acontece em relação ao plano GAIA do decisor 4, tendo dois critérios com julgamentos iguais (GR e GT) e dois grupos de alternativas com os mesmos julgamentos, sendo o primeiro CT, CB-H e CB-S, e o segundo PT e CA.

Analisando conjuntamente os dados obtidos pelos planos GAIA de todos os decisores, observa-se que o plano dos decisores 2, 3 e 4 apresentam grandes semelhanças. Os agrupamentos de critérios observados nesses planos podem levar a conclusão de que muitos dos decisores associam o critério Gerenciamento de Riscos (GR) ao critério Gestão de Tempo (GT) (decisores 3 e 4), o que também vem acompanhado de semelhanças entre os critérios EC e GI.

3.4 Avaliação global

Depois de realizadas as avaliações individuais, a análise global foi realizada com o procedimento do PROMETHEE GDSS, onde cada decisor passou a representar um critério e os julgamentos de cada decisor foram substituídos pelo fluxo líquido obtidos nas avaliações individuais.

A Tabela 2 apresenta os fluxos obtidos com a realização do procedimento e a ordem de prioridade global de cada subsistema.

Tabela 2: Ordem de prioridade e fluxos positivos, negativos e líquidos globais.

Subsistemas	φ^+	φ^-	φ	Ordem
Controle de Atitude (CA)	0.0063	0.5805	-0.5742	1
Controle Térmico (CT)	0.5318	0.0296	0.5022	6
Estrutura (ET)	0.0850	0.4551	-0.3701	3
CB – <i>Hardware</i> (CB-H)	0.6599	0.0045	0.6554	7
CB – <i>Software</i> (CB-S)	0.3540	0.1330	0.2210	5
Potência (PT)	0.0501	0.4601	-0.4100	2
T&T (T&T)	0.2223	0.2466	-0.0243	4

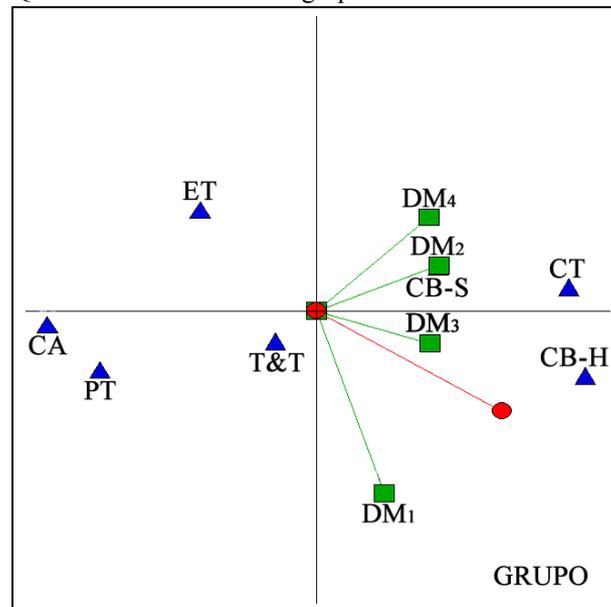
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ressalta-se que assim como na maioria das avaliações individuais, os subsistemas CA, ET e PT foram considerados os mais críticos, o mesmo resultado foi obtido na avaliação global.

O Quadro 4 apresenta o plano GAIA da decisão em grupo. Pode-se perceber que todos os decisores apresentam preferências aproximadamente similares, não havendo conflitos de preferência entre eles. Além disso, o decisor 1 se apresentou como aquele que realizou os julgamentos com maior impacto no resultado final.

A decisão em grupo também evidencia como os subsistemas mais críticos CA, PT e ET, seguido pelo subsistema de T&T, o que coincide em grande parte com análise das prioridades individuais.

Quadro 4: Plano GAIA do grupo de decisores.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo investigar a aplicação dos métodos PROMETHEE GDSS e GAIA na priorização de investimento de recursos no desenvolvimento de subsistemas em projetos de produtos de alta complexidade.

A utilização dos métodos PROMETHEE GDSS e GAIA neste trabalho apresentou diversas vantagens:

- Participação de diversos decisores, o que possibilitou a obtenção de maior adesão aos resultados obtidos. Posteriormente esta característica se mostrou crítica quando os resultados foram apresentados em reunião com os demais membros do projeto. Neste aspecto, houveram questionamentos se participaram na pesquisa membros do projeto cujos pontos de vista refletiam a diversidade dos grupos de trabalho presentes no mesmo.
- Obtenção de uma maior fidedignidade na análise dos julgamentos realizados pelos decisores através da utilização de funções de preferência.
- Possibilidade de interpretar geometricamente os dados através do plano GAIA, o que permitiu a identificação de semelhanças e conflitos de preferência entre decisores e entre critérios.

Em relação ao resultado do trabalho, notou-se uma grande homogeneidade em relação aos critérios nos julgamentos de todos os decisores. Destaca-se também os resultados da análise do plano GAIA referentes ao decisor 1 aponta o critério GI como o de maior variância e portanto aquele cujo desempenho mais varia entre os subsistemas, devendo ser priorizado os subsistemas mais críticos neste critério quando do investimento de recursos ou tomadas de ações corretivas.

Além disso, a abordagem proposta evidenciou os subsistemas CA, PT e ET como os mais críticos no projeto para o desenvolvimento do satélite ITA-SAT, tanto na análise global quando na análise individual para cada decisor. Esses resultados foram levados ao conhecimento dos integrantes do projeto através de reuniões, na qual o gerente geral afirmou acreditar que estes resultados estão em consonância com as percepções da maioria de seus membros, inclusive com as dele próprio. Por fim, recomenda-se o direcionamento de recursos para atender e superar a defasagem no desenvolvimento desses subsistemas.

Referências

- ALENCAR, L. H.; ALMEIDA, A. T.** (2010) A model for selecting project team members using multicriteria group decision making, *Pesquisa Operacional*, 30(1), p. 221-236.
- BELTON, V.; STEWART, T. J.** Multiple criteria decision analysis, Kluwer, Dordrecht, 2002.
- BOUGON, M. G.; KOMOCAR, J. M.** Directing strategic change: a dynamic wholistic? approach. In: HUFF, A. S. Mapping strategic thought, New York, John Wiley & Sons, 1990.
- BRANS, J. P.; MACHARIS, C.; MARESCHAL, B.** (1998) The GDSS PROMETHEE procedure: a PROMETHEE-GAIA based procedure for group decision support, *Journal of Decision Systems*, 7, p. 283-307.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B.** PROMETHEE methods. In: **FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M.** Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys, Springer Science, Boston, 2005.
- GOMES, C. F. S.; GOMES, L. F. A. M.** (2001) A função de decisão multicritério - Parte I: Dos conceitos básicos à modelagem multicritério, *Revista do Mestrado em Administração e Desenvolvimento Empresarial*, 2(3).
- HAYES, Q.; MARESCHAL, B.; SMET, Y. D.** New GAIA Visualization Methods. In: 13th International Conference Information Visualisation, Belgium, 2009.
- LARSON, W. J.; WERTZ, J. R.** Space Mission Analysis and Design. 3. ed., Microcosm, Pennsylvania State University, 1999.
- LE TÊNO, J. F.; MARESCHAL, B.** (1998) An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on environmental quality, *European Journal of Operations Research*, 109, p. 522-529.
- LEYVA-LÓPEZ, J.; FERNÁNDEZ-GONZALEZ, E.** (2003) A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology, *European Journal of Operational Research*, 26(3), p. 14-27.
- MARESCHAL, B.; BRANS, J. P.** (1988) Geometrical representations for MCDA, *European Journal of Operational Research*, 34, 69-77.
- MARMEL, E.** Microsoft Office Project 2007: A Bíblia, Alta Books, Rio de Janeiro, 2008.
- MILLER, G. A.** (1956) The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information, *The Psychological Review*, 63, p. 81-97.
- PODVEZKO, V.; PODVIEZKO, A.** (2010) Dependence of multi-criteria evaluation result on choice of preference functions and their parameters, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), p. 143-158.
- ROY, B.** Multicriteria methodology for decision aiding, Kluwer Academic Publishers, London, 1996.
- SHIBUYA, L. H.; SATO, S. S.; BASTOS, M. P.; VINCI, E.; SAOTOME, O.** ITASAT – Desenvolvimento de um computador de bordo tolerante a falhas com comunicação padrão CDSS. In: Brazilian Symposium on Aerospace Engineering & Applications, AAB, São José dos Campos, 2009.
- SILVA, D. S.; GARCIA, E. C.** (2010) Initial thermal study of the ITASAT satellite in transient regime, *International Review of Aerospace Engineering*, 3(2), p. 109-114.
- SILVA, V. B. S.; MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T.** (2010) A multicriteria group decision model to support watershed committees in Brazil, *Water Resource Management*, 24, p. 4075-4091.
- VINCKE, P.** Multicriteria decision-aid, Wiley, Bruxelas, 1992.
- ZELNY, M.** Multiple criteria decision making, McGraw Hill, Nova York, 1982.

Apêndice 1: Julgamentos e pesos dos decisores

Quadro A1: Julgamentos do Decisor 1

Critérios	GT.	EC	GR	GI
Controle de Atitude (CA)	2	1	3	2
Controle Térmico (CT)	4	4	1	2
Estrutura (ET)	2	2	1	4
CB – <i>Hardware</i> (CB-H)	3	4	3	4
CB – <i>Software</i> (CB-S)	3	2	2	4
Potência (PT)	2	2	3	3
T&T (T&T)	3	4	2	3

Quadro A2: Julgamentos do Decisor 2

Critérios	GT.	EC	GR	GI
Controle de Atitude (CA)	1	1	1	1
Controle Térmico (CT)	4	4	3	4
Estrutura (ET)	2	3	2	2
CB – <i>Hardware</i> (CB-H)	3	4	4	4
CB – <i>Software</i> (CB-S)	3	3	2	2
Potência (PT)	2	1	1	2
T&T (T&T)	2	2	3	3

Quadro A3: Julgamentos do Decisor 3

Critérios	GT.	EC	GR	GI
Controle de Atitude (CA)	1	1	1	1
Controle Térmico (CT)	2	2	2	2
Estrutura (ET)	1	1	1	1
CB – <i>Hardware</i> (CB-H)	2	2	2	2
CB – <i>Software</i> (CB-S)	2	1	2	1
Potência (PT)	1	1	1	1
T&T (T&T)	1	1	1	1

Quadro A4: Julgamentos do Decisor 4

Critérios	GT.	EC	GR	GI
Controle de Atitude (CA)	1	1	1	1
Controle Térmico (CT)	3	4	3	4
Estrutura (ET)	2	4	2	3
CB – <i>Hardware</i> (CB-H)	3	4	3	4
CB – <i>Software</i> (CB-S)	3	4	3	4
Potência (PT)	1	1	1	1
T&T (T&T)	3	3	3	3

Quadro A5: Pesos dos critérios e dos decisores

Decisores	GT.	EC	GR.	GI	Peso dos decisores
DM ₁	0,30	0,30	0,30	0,10	0,38
DM ₂	0,40	0,40	0,10	0,10	0,18
DM ₃	0,20	0,30	0,40	0,10	0,26
DM ₄	0,25	0,25	0,25	0,25	0,18