

Aplicação do método ANP para seleção de análise de falhas de *software* espacial

Tamara M. Arruda, Amanda C. Simões da Silva, Leila Paula Nascimento, Mischel Carmen Neyra Belderrain

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vilas das Acácias – CEP 12228-900 - São José dos Campos - SP, Brasil

Resumo — O objetivo deste trabalho é apresentar uma aplicação do Método de Apoio Multicritério à Decisão, *Analytic Network Process* (ANP) para a escolha de análises que objetivam alcançar a dependabilidade de *software* espacial ao longo de um ciclo de desenvolvimento. Ao contrário do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o ANP usa uma rede (ao invés de hierarquia) sem necessidade de especificar níveis, além de permitir relações de dependência entre seus *clusters* e elementos. O ANP mostrou-se um método recomendado para o uso no apoio à decisão para problemas da área de sistemas espaciais. Utilizou-se o *software Super Decisions* para a aplicação do método.

Palavras-chave — Apoio Multicritério à Decisão (AMD), *Analytic Network Process* (ANP), Análises de Modo de Falha de Software.

I. INTRODUÇÃO

O processo de tomada de decisão é caracterizado por sua complexidade, pela incerteza dos resultados, pela análise sob diferentes perspectivas e pela possibilidade de alcançar múltiplos objetivos. Processos complexos de tomada de decisão, presentes em uma infinidade de áreas do conhecimento, ainda são abordados de modo a encontrar a melhor alternativa para solucionar um problema.

Vários métodos surgiram para solucionar problemas de decisão e, na década de 70, os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), os quais se destinam a esclarecer o processo decisório, de modo a apoiar e conduzir o decisor (ou decisores) na avaliação e escolha das alternativas do problema em questão.

De acordo com Gomes *et al.* [1], “o AMD é uma área dinâmica do conhecimento e da pesquisa, orientada para apoiar os decisores e os negociadores, auxiliando na estruturação dos problemas, permitindo expandir a argumentação e ampliando a capacidade de aprendizagem e compreensão”.

O *Analytic Network Process* (ANP), integrante da Escola Americana de Apoio Multicritério à Decisão, é um método multicritério discreto (que possui número finito de alternativas), desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1996.

O ANP caracteriza-se pela decomposição de um problema em uma estrutura de rede, sem relações hierárquicas entre seus elementos. Na verdade, o método permite relações de dependência e *feedback* entre critérios e alternativas.

Dessa forma, o ANP propicia ao decisor uma representação mais realista do problema, pelo fato de que no mundo real há, geralmente, dependência entre critérios.

No contexto de sistemas computacionais embarcados, a análise de dependabilidade tem recebido uma importância cada vez maior. Em particular, em aplicações espaciais, a confiabilidade dos componentes de *hardware* não é mais suficiente para garantir a qualidade e segurança desejada ao computador de bordo de um satélite. Dada a crescente complexidade do *software* embarcado, é necessário também analisar a confiabilidade relacionada ao projeto do *software*. Uma vez que a eliminação completa da probabilidade de ocorrência de falhas é considerada impossível, busca-se eliminar as conseqüências dessas falhas nos sistemas através do uso de técnicas de tratamento de falhas. Neste sentido, as análises de falhas apresentadas facilitam a identificação de estratégias de prevenção ou mitigação de falhas, ou seja, elas expõem as causas prováveis de problemas de forma que possam ser aplicadas técnicas para preveni-los ou suavizar suas conseqüências prováveis.

Quantificar as preferências de usuários e desenvolvedores de sistemas é uma tarefa difícil e representa uma forma de decisão multicritério. A parte crítica da decisão é atribuir pesos aos diferentes critérios. O objetivo deste trabalho é aplicar o método ANP para selecionar a melhor análise de falhas de *software* espacial para alcançar a dependabilidade do mesmo ao longo de seu ciclo de desenvolvimento.

Este trabalho está estruturado em cinco seções. A Seção 2 apresenta uma descrição do contexto do problema expandindo-o no conceito de dependabilidade e na definição do problema. A Seção 3 apresenta o método ANP. A Seção 4 descreve a aplicação do ANP para solucionar o problema. A seção 5 apresenta as considerações finais.

II. ANÁLISE DE MODOS DE FALHA

Para sistemas destinados a aplicações espaciais, nos quais as ambigüidades, a não completude e a falta de requisitos podem provocar acidentes graves que envolvem prejuízos econômicos e materiais, torna-se essencial à aplicação dos requisitos de dependabilidade.

O termo dependabilidade indica a qualidade do serviço fornecido por um dado sistema e a confiança depositada neste serviço. Neste sentido, o objetivo do desenvolvimento de sistemas tolerantes a falhas é alcançar a dependabilidade. Os conceitos associados à dependabilidade podem ser agrupados em atributos da dependabilidade e ameaças para obtenção da dependabilidade.

Tamara M. Arruda, tamarautam_menezes@hotmail.com, Tel +55-12-39475907; Amanda C. Silva, amanda@ita.br, Tel +55-12-39475907; Leila Nascimento, leila@ita.br, Tel. +55-12-39475907; Mischel Carmen N. Belderrain, carmen@ita.br, Tel. +55-12-39475800

Os atributos da dependabilidade caracterizam as propriedades esperadas ou desejadas para um sistema. Através dos atributos avalia-se a qualidade resultante da utilização dos meios empregados para atingir a dependabilidade. Segundo Camargo [2], os principais atributos (medidas) de dependabilidade são: a) confiabilidade (*reliability*) - a probabilidade de que um programa venha a operar sem falhas durante um tempo em um ambiente operacional especificado; b) disponibilidade (*availability*) - é a probabilidade de o software ser capaz de realizar uma determinada função em um determinado instante de tempo (ou durante um determinado intervalo) e sob determinadas condições; c) segurança de funcionamento (*safety*) - é a probabilidade de o sistema estar operacional e executar sua função corretamente ou de descontinuar suas funções de forma a não provocar danos a outros sistemas ou pessoas; d) manutenibilidade (*maintenability*) - é a probabilidade que um sistema com defeitos seja restaurado a um estado operacional dentro de um período determinado [3]; e, e) testabilidade (*testability*) - a capacidade de testar certos atributos internos ao sistema ou facilidade de realizar certos testes. A ênfase colocada em cada um dos atributos pode ser diferente de uma aplicação para outra.

Os meios de obtenção da dependabilidade baseiam-se na identificação, análise e tratamento de falhas que possam afetar o funcionamento correto do sistema. [4]. A falha está associada a uma imperfeição que atinge um componente de *hardware* ou *software* [5]. A falha é a causa do erro, que é caracterizado pela produção de um resultado discrepante do resultado correto. O defeito é a manifestação do erro para um usuário do sistema. Um sistema apresenta defeito quando não é capaz de prestar um serviço correto, ou seja, seu serviço se desvia da especificação do sistema. O defeito é o evento que causa a transição de estado do serviço de um sistema correto para serviço incorreto (não implementa corretamente a especificação do sistema). Esta relação entre as ameaças (falha, erro e defeito) à dependabilidade está ilustrada na Fig. 1.



Fig. 1. Relação entre as ameaças à dependabilidade.

Os tipos de falhas e as suas origens são bastante variados. As falhas de *software* podem originar-se da especificação, do projeto do sistema ou do processo de codificação. Existem também as falhas de interação entre *hardware/software*, como o de inversões de *bits* que ocorrem principalmente devido à incidência de radiação ionizante sobre os componentes eletrônicos que são controlados através do *software* (por exemplo, as memórias).

A ocorrência de tais falhas é inevitável, mas suas consequências no sistema podem ser evitadas pelo uso de análises de modo de falha. Essas análises podem ser utilizadas em todo ciclo de vida do sistema/subsistema. Entretanto, sugere-se que as mesmas sejam aplicadas logo após a fase de especificação dos requisitos, de modo a considerar todos os possíveis modos de falha que podem levar o sistema a um estado inseguro antes da sua implementação. As análises abordadas neste trabalho são: a) SFMEA (*Software Failure Modes and Effects Analysis*), que

é uma análise indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a(s) causa(s) e efeitos de cada modo de falha de *software* [6]; b) SFMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), que consiste em identificar e direcionar a remoção de defeitos e falhas de *software*, e pode ser aplicada como uma técnica preventiva já na fase inicial do projeto. Utiliza da criticidade na sua análise; c) SFTA (*Software Fault Tree Analysis*), cujo procedimento básico é assumir que já tenha ocorrido a falha, e então determinar as possíveis causas. A árvore de falha produzida descreve a relação lógica entre falhas básicas do *software* que conduzem à causa de falha ou eventos de falhas que são eventos no topo da árvore de falha de *software*; e, d) HSIA (*Hardware Software Interaction Analysis*), que é usada para verificar se o *software* foi especificado para reagir às falhas de *hardware* [7]-[9].

A seção seguinte descreve o método *Analytic Network Process* (ANP) que será aplicado neste trabalho para seleção da melhor análise.

III. ANALYTIC NETWORK PROCESS (ANP)

O método ANP é considerado uma generalização do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Este método, o ANP, fornece uma estrutura geral para tomada de decisão sem necessidade de assumir independência entre elementos de níveis mais altos com os elementos dos níveis mais baixos e também entre elementos de mesmo nível. Outra característica é que o ANP adota uma estrutura em rede sem a necessidade de especificar níveis, como em uma hierarquia [10]. Ou seja, o ANP supera a limitação da estrutura hierárquica linear e contraria o Axioma da Independência [11]. Segundo Saaty [10], o ANP “sintetiza o efeito da dependência e *feedback* dentro e entre conjuntos (*clusters*) de elementos”.

O ANP para Whitaker [12], “é fundamentalmente um caminho para medir fatores intangíveis utilizando comparações par a par com julgamentos que representam a dominância de um elemento sobre outro com respeito a uma propriedade que eles compartilham”.

Conforme Fig. 2, que mostra a diferença entre rede e hierarquia, observa-se que uma rede é uma estrutura não-linear - estrutura do ANP - que se expande em todas as direções, possui *clusters* não organizados em uma ordem pré-definida, e apresenta relações de influência que são transmitidas dentro de um mesmo conjunto de elementos (*inner dependence*) e também entre conjuntos (*outer dependence*).

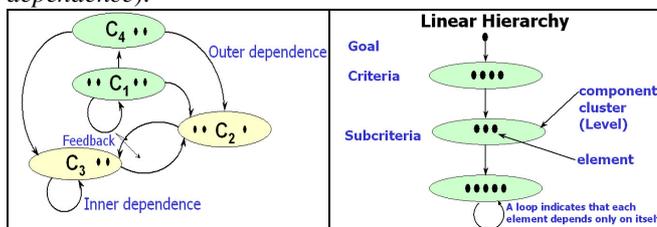


Fig. 2. Comparação entre rede e hierarquia [11].

Ao contrário da hierarquia linear - estrutura do AHP - que possui o objetivo no nível superior e as alternativas no último nível, ou seja, uma estrutura linear *top down* sem *feedback* dos níveis inferiores para os níveis superiores. Neste caso os elementos de cada nível apenas sofrem influência dos elementos do nível imediatamente superior. Vale salientar,

que o *loop* existente no último nível (alternativas) indica que cada alternativa depende apenas de si própria, sendo consideradas, portanto, independentes umas das outras [11].

A Fig. 3 mostra às relações de dependência existentes no ANP entre os conjuntos de elementos (*outer dependence*). Os conjuntos podem ser classificados em: 1) *source component*, o qual influencia qualquer outro *cluster* mas não sofre influência; 2) *intermediate component*, que podem sofrer influência de outro *cluster* e transmiti-la para outro; e 3) *sink component*, que apenas sofre influência de outro *cluster* [11].

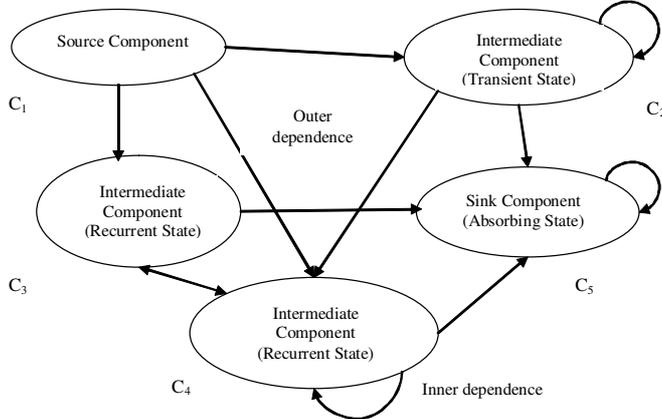


Fig. 3. Conexões em uma rede [11].

Taslicali e Ercan [13] apresentam vantagens do AHP/ANP sobre outros métodos de análise de decisão multicritério: 1) Não são métodos tão complicados; 2) Fatores qualitativos e quantitativos podem ser utilizados; 3) Podem ser utilizados com outros métodos de solução, como otimização e programação objetiva; 4) Têm sido validados por tomadores de decisão, bem como por estudos empíricos recentes; e 5) Auxiliam as múltiplas partes a alcançarem a uma solução agradável devido às suas estruturas e podem ser usadas como ferramentas para o consenso. Os mesmos autores ainda citam vantagens do ANP sobre o AHP: 1) O fato de possuir uma estrutura em rede e permitir relações de dependência e *feedback* entre os elementos torna o ANP mais poderoso que o AHP em ambientes de decisão com incerteza; 2) O ANP tem o problema da reversão de *ranking* abrandado, tornando-o mais exato e útil que o AHP; 3) O ANP permite representar o problema mais realisticamente segundo Garuti e Sandoval (2005) *apud* Taliscali e Ercan [13]; e 4) Citando Dagdeviren *et al.* (2005) *apud* Taliscali e Ercan [13], muitos problemas não podem ser representados hierarquicamente por existir dependência entre os elementos.

Apesar de ser um método de análise de decisão ainda pouco explorado na literatura, o ANP tem se mostrado útil para resolver problemas de decisão. Suas características estruturais de rede e a admissão da dependência entre *clusters* e elementos, além de permitir o uso de critérios qualitativos e quantitativos, fazem com que o método se aproxime mais dos problemas reais, apresentando resultados mais realísticos. A seção seguinte apresenta a aplicação do ANP para seleção de análise de falhas de *software* espacial.

I V. APLICAÇÃO DO ANP PARA SELEÇÃO DE ANÁLISE DE FALHAS DE SOFTWARE ESPACIAL

A utilização de métodos AMD permite organizar problemas complexos em uma estrutura que pode ser melhor analisada pelo decisor.

O problema de decisão em questão consiste em estabelecer um *ranking* de prioridades das análises mais apropriadas para identificar e/ou antecipar modos de falha conhecidos ou potenciais do *software* espacial do computador de bordo embarcado no satélite.

A aplicação do método ANP será apresentada em três etapas: 1) Formulação do problema de decisão, 2) Julgamentos e 3) Desenvolvimento algébrico. Utilizar-se-á o *software Super Decisions* para aplicação do método.

Etapa 1 – Formulação do problema de decisão

- Passo 1 – Estruturação do problema

Neste passo é aconselhável o uso de um método de estruturação de problema que dará suporte ao tomador de decisão, para definir o objetivo do processo decisório, os *clusters*, elementos ou nós e as alternativas para a solução do problema. Neste trabalho não foi utilizado um método específico de estruturação de problema. Os *clusters*, elementos e alternativas foram definidos por especialistas na área espacial. O objetivo global foi de selecionar uma análise de modos de falhas.

- Passo 2 – Construção da rede

Identifica-se a rede de *clusters* e elementos, e estabelecem-se as relações de dependência e *feedback* entre eles.

Foram considerados os seguintes *clusters* na construção da rede:

- *Cluster* Custo da aplicação da análise – quanto vale para uma empresa de *software* a aplicação dessa análise. Os elementos que compõem este *cluster* são: custo de elaboração (CE), custo de ferramentas (CF) e custo de treinamento (CT).

- *Cluster* Desempenho da análise – se a análise tem um desempenho indicado para detecção de modos de falhas conhecidos ou potenciais, detecção de falhas únicas ou falhas múltiplas. Os elementos (ou nós) que compõem este *cluster* são: correções dos modos de falha (CMF), identificação do nº de falhas (IF), e investigação do efeito (IE).

- *Cluster* Outros – engloba os elementos Complexidade (Co), Qualidade (Q) e Tempo Total (TT) (elaboração e execução da análise). Por Complexidade, entende-se o quão difícil é a aplicação da análise. Qualidade diz respeito ao quão confiável é a análise para detecção de falhas. Por Tempo Total, entende-se o tempo mínimo necessário para aplicação total da análise.

- *Cluster* Alternativas - as alternativas apontadas foram as quatro análises de falha com diferentes características designadas por SFMEA, SFMECA, SFTA e HSIA.

As relações de dependência e *feedback* entre *clusters* e elementos foram definidas por especialista da área. Cada elemento influencia um ou mais elementos conforme esquema a seguir. Por exemplo, o elemento CE influencia os elementos CF, CT e TT.

CE → CF, CT e TT
 CF → CE, CT, IF, IE e Q
 CT → CE, CT, CMF, IF, IE, Q e TT
 CMF → CT, IF, IE, Q e TT
 IF → CE, CF, CT, CMF, IE, Q e TT
 IE → CE, CT, CMF, IF, Q e TT
 Co → CE, CF, CT e TT
 Q → ninguém
 TT → CE, CT, CMF, IF, IE e Q

A Fig. 4 esquematiza os passos da Etapa 1.

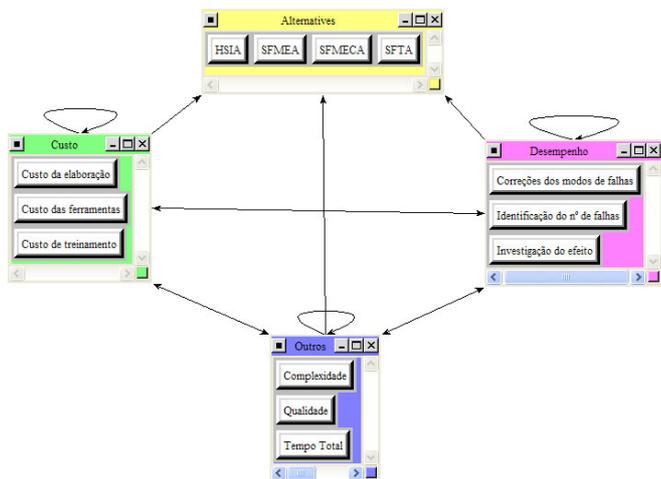


Fig. 4. Estrutura em rede do problema (saída do software Super Decisions).

Etapa 2 – Julgamentos

- Passo 1 – Identificação das matrizes binárias de alcance global e local

O objetivo destas matrizes é visualizar a existência das relações de dependência na rede, estabelecidas na etapa 1. A matriz de alcance global mostra se há ou não a existência de relações de dependência entre dois clusters distintos ou em um mesmo cluster (loop). Já a matriz de alcance local mostra a existência de relações de dependência entre elementos de todos os clusters da rede. Em ambas as matrizes, serão atribuídas os valores zero e um. Valor 1 se houver relação ou dependência e zero, caso contrário (matrizes não apresentadas neste trabalho).

- Passo 2 – Comparações par a par

As comparações par a par são realizadas para todas as conexões existentes na rede, de acordo com a Escala Fundamental de Saaty. As comparações dividem-se em dois casos: a) comparações entre elementos (ou nós) de cada cluster; e, b) comparações entre clusters. No primeiro caso, as comparações a serem feitas são aquelas em que um nó possui relação de dependência com no mínimo dois nós de um cluster. Já no segundo caso, a comparação é feita entre os clusters nos quais exista relação de dependência.

Os julgamentos não mostrados neste trabalho foram realizados por um especialista da área de sistemas espaciais.

- Passo 3 – Verificação da consistência dos julgamentos

Após as comparações, é relevante a verificação da consistência dos julgamentos do (s) decisor (es) em ambos os casos. Caso os julgamentos (em ambos os casos) não sejam consistentes, pode ter havido erro nos julgamentos ou na formulação do problema, necessitando de correções. Porém, sendo os julgamentos consistentes, executa-se o próximo passo.

Verificou-se que o valor da Razão de Consistência (RC) para todas as tabelas referentes às comparações par a par existentes estava dentro do limite permitido de acordo com a ordem $n \times n$ da matriz.

- Passo 4 – Obtenção dos autovetores de prioridades e matriz de peso dos clusters

A partir de tais comparações, obtêm-se os autovetores de prioridades e matriz de peso dos clusters, respectivamente.

Etapa 3 – Desenvolvimento algébrico

- Passo 1 – Construção da Supermatriz sem Pesos
A Supermatriz sem Pesos é composta por vetores de prioridades dispostos em colunas, obtidos por meio das comparações par a par oriundas das relações de dependência entre os elementos.

- Passo 2 – Obtenção da Supermatriz ponderada
Origina-se multiplicando a Matriz de peso dos clusters (matriz formada pelos autovetores de prioridades das comparações entre clusters) pela Supermatriz sem peso. A mesma deve ser estocástica com relação às colunas (soma dos elementos da coluna seja 1).

- Passo 3 – Verificação se a Supermatriz ponderada é estocástica

Caso a Supermatriz ponderada obtida não seja estocástica com relação às colunas, deve-se normalizar a mesma com relação à coluna para torná-la estocástica. Neste trabalho a matriz obtida é estocástica.

- Passo 4 – Obtenção da Matriz Limite

Obtida elevando-se a Supermatriz Ponderada à potência até a sua convergência, isto é, todas as colunas na matriz possuem os mesmos valores. A Matriz Limite (Fig. 5) também deverá ser estocástica com relação às colunas e nela já é possível observar o resultado final.

Cluster Node Labels	Custo			Desempenho			Outros	
	Custo da elaboração	Custo das ferramentas	Custo de treinamento	Correções dos modos de falhas	Identificação do nº de falhas	Investigação do efeito	Complexidade	Qualidade
Alternativas	H5IA	0.044530	0.044530	0.044530	0.044530	0.044530	0.044530	0.000000
	SFMEA	0.083393	0.083393	0.083393	0.083393	0.083393	0.083393	0.000000
	SFMECA	0.144096	0.144096	0.144096	0.144096	0.144096	0.144096	0.000000
	SFTA	0.066277	0.066277	0.066277	0.066277	0.066277	0.066277	0.000000
Custo	Custo da elaboração	0.087630	0.087630	0.087630	0.087630	0.087630	0.087630	0.000000
	Custo das ferramentas	0.021900	0.021900	0.021900	0.021900	0.021900	0.021900	0.000000
	Custo de treinamento	0.134678	0.134678	0.134678	0.134678	0.134678	0.134678	0.000000
Desemp	Correções dos modos de falhas	0.133036	0.133036	0.133036	0.133036	0.133036	0.133036	0.000000

Fig. 5. Matriz Limite (saída do software Super Decisions).

- Passo 5 – Resultado final

Realizado os passos anteriores, obtém-se o resultado final com o ranking de prioridades das alternativas. A Tabela I apresenta as prioridades de cada elemento.

TABELA I PRIORIDADES DOS ELEMENTOS.

	Elementos	Normalizado por cluster	Limites
Cluster Custo	Custo de treinamento	0,55131	0,134678
	Custo de ferramentas	0,08998	0,021980
	Custo de elaboração	0,35872	0,087630
Cluster Desempenho	Identificação do nº de falhas	0,36873	0,107861
	Correções dos modos de falha	0,45480	0,133036
	Investigação do efeito	0,17647	0,051620
Cluster Outros	Complexidade	0,00000	0,000000
	Qualidade	0,57542	0,071870
	Tempo Total	0,42458	0,053029

Observa-se que Custo de treinamento, Correções dos modos de falha e Qualidade são os elementos dos Clusters Custo, Desempenho e Outros, respectivamente, que obtiveram as maiores prioridades; isto é, seriam os elementos de maior importância para a seleção da melhor análise de modos de falha. O Custo de treinamento é realmente de suma relevância já que investir na capacitação da equipe de modo que ela seja capaz de identificar, investigar e corrigir as

falhas com qualidade e precisão é o que se pretende com a utilização das análises. As Correções dos modos de falha são importantes para evitar que ocorram os erros e defeitos. E, qualidade, é o que se deseja em uma análise dos modos de falha de um *software* espacial. Entretanto, o elemento Complexidade do *Cluster* Outros não recebeu prioridade, o que se revelou uma surpresa, já que as análises em questão são de diferentes dificuldades e isto é um fator relevante.

A classificação das análises é apresentada na Tabela II (SFMECA > SFMEA > SFTA > HSIA).

TABELA II RANKING DE PRIORIDADES DAS ALTERNATIVAS.

Graphic	Alternatives	Raw	Normal	Ideal	Ranking
	HSIA	0.0445	0.1316	0.3090	4
	SFMEA	0.0834	0.2465	0.5787	2
	SFMECA	0.1441	0.4259	1.0000	1
	SFTA	0.0663	0.1959	0.4600	3

A coluna *Raw* representa as prioridades das alternativas e é obtida a partir da supermatriz limite. A coluna *Normal* é obtida pela normalização da coluna *Raw*, ou seja, divide-se cada valor da coluna *Raw* pela soma de todos os valores da referida coluna. A coluna *Ideal* é obtida dividindo-se todos os elementos da coluna *Normal* pelo seu maior valor.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de apoio multicritério à decisão (AMD) caracterizam-se por englobar critérios qualitativos e quantitativos. Entre estes métodos, encontra-se o método ANP cuja estruturação em rede permite relações de dependências entre os elementos. Tais características são vantajosas na medida em que permitem a representação de um problema, tornando-o mais realista.

O método ANP utilizado para seleção de análise de falhas de *software* espacial, mostrou-se um método apropriado para a tomada de decisão do estudo de caso. Apesar de ser trabalhoso e requerer conhecimento técnico (do método e do *software Super Decisions*), permite relações de dependência e *feedback* entre os nós e *clusters*, o que não ocorre em outros métodos de decisão.

O uso do método de decisão ANP permitiu estabelecer um *ranking* de prioridades das análises de modos de falhas de *software* espacial do computador de bordo embarcado no satélite. Portanto, o ANP mostrou-se um método recomendado para problemas de decisão da área de sistemas espaciais

REFERÊNCIAS

- [1] Gomes, L. F. A. M; Gomes, C. F. S.; Almeida, A. T. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*, 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- [2] Camargo, J. B. J., *Metodologia de Análise de Riscos em Sistemas Computacionais de Aplicações Críticas*, Tese (Livre Docência), EPUSP, São Paulo, 2002.
- [3] Souza, B. J., *Confiabilidade de Sistemas Digitais*, Apostila, 2005.
- [4] Weber, T. S., *Tolerância a falhas: conceitos e exemplos*. Programa de Pós-Graduação em Computação, Instituto de Informática, UFRGS, 2005.
- [5] Azevedo, I. A., *Confiabilidade de Componentes e Sistemas*. Apostila, Divisão de Engenharia Eletrônica, ITA, São José dos Campos, 2005.
- [6] Laffraia, J. R., *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*, Quality Mark, Rio de Janeiro, 2006.
- [7] European Cooperation for Space Standardization - ECSS-Q-30-02A – *Space Product Assurance – Failure modes, effects and criticality analysis (FMECA)*. 2001. 52p.
- [8] European Cooperation for Space Standardization - ECSS-Q-30: *Space Product Assurance – Dependability*, 2002. 46p.
- [9] Draft, ECSS-Q-80-03 – *Space Product Assurance – Methods and techniques to support the assessment of software dependability and safety*. 2006. 122p.
- [10] Saaty, T. L., *Fundamentals of the Analytic Network Process*, Proceedings of the ISAHP, August 12 -14, Kobe, Japan, 1999.
- [11] Saaty, T. L., *Theory and Applications of the Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh, 2005.
- [12] Whitaker, R., Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process, *Mathematical and Computer Modelling*, 46, 2007, 840-859.
- [13] Talisicali, A. K. e Ercan, S., The Analytic Hierarchy & the Analytic Network Processes in multicriteria decision making: a comparative study, *Journal of Aeronautics and space technologies*, 2 (4), 2006, 55-65.