

Seleção de Redes Heterogêneas no Contexto da ATN-BR

Marco Aurélio Sernagiotto¹, Valério Rosset² e Mariá C. V. Nascimento²

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

²Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo – A rede de telecomunicações aeronáuticas (ATN – *Aeronautical Telecommunication Network*) atual tem o objetivo de oferecer uma infraestrutura de comunicação eficiente, segura e robusta para suportar as novas aplicações e serviços aeronáuticos. Nesse contexto, a ATN Brasileira (ATN-BR) emerge como um desafio para o Comando da Aeronáutica (COMAER), que é a instituição responsável pela implantação dessa rede em todo o território brasileiro. As restrições que impedem a disponibilidade de enlaces de rede nas diversas localidades prestadoras de serviços aeronáuticos em terra conduzem ao cenário desafiador de oferecer uma rede de comunicações segura, robusta e eficiente para uso aeronáutico com recursos limitados. Além disso, o uso otimizado dos enlaces de comunicação disponíveis em cada localidade torna-se essencial para implantar essa nova rede com sucesso e a seleção ótima de enlaces é uma das ferramentas disponíveis para atingir esse objetivo. Neste artigo são analisados alguns métodos de seleção de enlaces, apresentada uma proposta de algoritmo para aplicação na ATN-BR e sugerida uma pesquisa futura no tema.

Palavras-Chave – ATN-BR, COMAER, seleção ótima de enlaces.

I. INTRODUÇÃO

Com o crescimento mundial da aviação, o uso das telecomunicações aeronáuticas entre os diversos órgãos prestadores de serviço aeronáutico (órgãos ATS) e as aeronaves acompanha esse crescimento e impõe um novo paradigma: a troca de informações digitais [1]. Nesse contexto, a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) responsável pela padronização das comunicações aeronáuticas emitiu um manual para padronização do uso do protocolo de comunicação em rede IPv6 (*Internet Protocol v6*) na ATN (*Aeronautical Telecommunication Network*). Nesse manual estão definidos os padrões e protocolos para a ATN/IPS (*Aeronautical Telecommunication Network using IP suite*) [2].

O Brasil, que segue a padronização da OACI, tem adotado medidas para a implantação dessa nova rede ATN/IPS no SISCEAB (Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro) através do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), conforme os requisitos básicos das redes de comunicações do Comando da Aeronáutica (COMAER) [3]. A mudança dos atuais enlaces dedicados para os diversos serviços e informações que trafegam na rede aeronáutica para uma canalização única digital traz o desafio do gerenciamento eficiente dos pacotes de dados e dos enlaces disponíveis para garantir a continuidade nas

comunicações. Diante desse desafio, as atuais redes de telecomunicações aeronáuticas (ATN) têm utilizado o recurso de seleção automática de enlaces a fim de oferecer um ambiente confiável para as comunicações, de maneira a torná-las adequadas para os serviços aeronáuticos [4].

Porém, os métodos existentes na literatura de seleção de enlaces são direcionados ao uso em redes sem fio (*wireless*) [5][6][7][8] como solução para seleção de enlaces *wireless* heterogêneos. O enfoque no ambiente das redes aeronáuticas (em específico na ATN/IPS) foi tratado no artigo [4], no qual os autores utilizam um algoritmo chamado *i-TRUST* para a seleção ótima de enlaces no ambiente interno de uma aeronave. Nas propostas observadas, tanto o balanceamento no uso dos enlaces quanto o tempo limite (janela de tempo) para envio de um pacote de dados não são considerados como parâmetros prioritários nos critérios de seleção e não é feita a abordagem da aplicação de seleção de enlaces entre órgãos ATS (com tecnologias como o MPLS e E1, utilizadas na ATN-BR).

Este artigo faz uma revisão das propostas existentes de métodos ótimos para seleção de enlaces e como esses métodos podem ser utilizados na rede ATN. Como contribuição, é feita uma proposta de aplicação para análise em trabalhos futuros, para o gerenciamento dos enlaces terrestres da ATN-BR (ATN no âmbito do SISCEAB) a fim de tornar o tráfego de dados adequado ao tipo de informações e serviços aeronáuticos. O restante deste documento está organizado como descrito seguir. Na Seção II são analisados alguns métodos de seleção de redes em geral, abordados na literatura. Na Seção III é feita uma sugestão de aplicação para o caso específico da ATN-BR, com propostas para futuras pesquisas. Na Seção IV são apresentadas as conclusões; e, por fim, as referências bibliográficas.

II. MÉTODOS ÓTIMOS DE SELEÇÃO DE REDES

Em uma rede composta por dispositivos interconectados por múltiplos enlaces heterogêneos operando em condições adversas (por exemplo, grande intensidade de tráfego), pode existir a necessidade de escolha do melhor enlace, baseado em medidas do desempenho dos enlaces (por exemplo, latência), para transmitir os dados de aplicações críticas. Nesse contexto, o processo de escolha do enlace deve considerar os requisitos das aplicações para fornecer uma solução de comunicação eficiente, segura, confiável e economicamente viável [4].

Em comunicações móveis, a seleção de enlaces heterogêneos é normalmente baseada na intensidade do sinal [9]. Porém, segundo [10], no caso da seleção de enlaces heterogêneos em que há a necessidade de considerar várias características de cada rede, o uso de métodos de decisão com múltiplos atributos (*multiple attribute decision making* –

M. A. Sernagiotto, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). E-mail: sermagiottomas@fab.mil.br.

V. Rosset, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). E-mail: vrosset@unifesp.br.

M. C. V. Nascimento, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). E-mail: mcv.nascimento@unifesp.br.

MADM) são necessários para a avaliação correta dos parâmetros do enlace e da política de administração da informação (prioridades definidas para os possíveis cenários) - MADM é o modo pelo qual toma-se uma decisão de seleção de enlace entre as alternativas disponíveis considerando as características próprias do enlace como critério de seleção.

A. MADM na seleção de enlaces

O MADM é uma das variações dos métodos de decisão baseados em multicritério (*multiple criteria decision making - MCDM*) e os problemas que envolvem a tomada de decisão usando o MADM trazem aspectos característicos [10]: vários atributos (necessidade de análise de vários parâmetros), opções restritas (número definido de alternativas), parâmetros (representados numa matriz em que as linhas e colunas indicam os valores respectivos às opções disponíveis), pesos relativos (ponderações sobre cada um dos parâmetros em relação aos demais), e a normalização (ajuste dos valores dos parâmetros dentro de limites pré-definidos).

Devido ao fato de os diferentes parâmetros possuírem diferentes unidades de medidas, para tornar viável uma comparação entre esses parâmetros faz-se necessário lançar mão de um método para normalizar os valores. Há vários métodos de normalização, aplicados a depender do tipo de parâmetro - considerando um determinado parâmetro j , e adotando a notação x_{ij} para o valor do parâmetro j no i -ésimo enlace e considerando N o número de enlaces, com o respectivo valor normalizado (v_{ij}) [10]:

- Máximo-Mínimo (*Max-Min*): método no qual a normalização é calculada tomando os valores máximos e mínimos do respectivo enlace, sem considerar o significado em módulo do valor do parâmetro. Nesse sentido, a Eq. (1) apresenta como calcular v_{ij} seguindo este critério[10].

$$v_{ij} = (x_{ij} - \min(x_{ij})) / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})), \text{ para } 0 < i \leq N \quad (1)$$

- Máximo-Mínimo aprimorado (*enhanced Max-Min*): método aprimorado baseado no cálculo Máximo-Mínimo, em que é considerado o significado semântico do parâmetro - se em valor absoluto um aumento ou diminuição é mais favorável, transforma-se o parâmetro na forma crescente, ou seja, quanto maior o valor normalizado por este método, maior o valor a ser considerado para a decisão. Também é analisado o valor do parâmetro em comparação ao conjunto Λ_j de valores considerados nominalmente os melhores do respectivo parâmetro j . O valor real do parâmetro é analisado conforme a semântica e, após, é calculado o valor normalizado (v_{ij}), apresentado na Eq. (2), para $0 < i \leq N$ [10].

$$v_{ij} = \begin{cases} 1 - |x_{ij} - \max(x_{ij})| / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})) \\ 1 - |x_{ij} - \min(x_{ij})| / (\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})) \\ 1 - |x_{ij} - \Lambda_j| / \max\{(\max(x_{ij}) - \min(x_{ij}))\} \end{cases} \quad (2)$$

- Soma (*Sum*): método em que são utilizados os valores do mesmo parâmetro dos outros enlaces a fim de calcular o valor normalizado, conforme apresenta a Eq. (3)[10].

$$v_{ij} = x_{ij} / \sum_{k=1}^N x_{kj} \quad (3)$$

- Raiz quadrada (*Square root*): método semelhante ao da soma, em que são utilizados os quadrados dos valores do mesmo parâmetro dos outros enlaces para o cálculo do valor normalizado, conforme a Eq. (4)[10].

$$v_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{k=1}^N x_{kj}^2} \quad (4)$$

Outro aspecto analisado no MADM são os pesos relativos, utilizados para fazer uma comparação objetiva entre os parâmetros com o objetivo de auxiliar na decisão pelo melhor enlace. Esses pesos devem retratar da melhor forma as características envolvidas em cada parâmetro analisado e por isso são calculados tendo como referência valores objetivos e subjetivos: os primeiros referentes a parâmetros físicos bem definidos que retratam características físicas dos enlaces; os parâmetros subjetivos, por sua vez, refletem características administrativas e políticas do processo decisório.

Para o cálculo dos valores dos pesos objetivos (w_j), entre outros, são utilizados os métodos da entropia e da variância seguindo as relações (5) e (6) [10].

$$\text{Entropia: } w_j = 1 - \frac{1}{\ln N} \sum_{i=1}^N [x_{ij} \ln(x_{ij})] \quad (5)$$

$$\text{Variância: } w_j = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / N \bar{x}_j}, \bar{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} \quad (6)$$

Para o cálculo dos valores subjetivos, entre outros, utiliza-se o método do vetor característico (*eigenvector*) [8], no qual o valor dos pesos é obtido através da relação entre a matriz que contém todos os valores de comparação, o autovalor (*eigenvalue*), e a matriz identidade.

Porém, o método do vetor característico necessita de um processo de comparação não-automatizado que pode atrasar a tomada de decisão. O método TRUST (*TRigger-based aUtomatic Subjective weighTing*) [11] utiliza os relacionamentos entre eventos que motivam a troca de enlace e o resultado da seleção para calcular de forma automatizada os pesos (w_j) (7), em que \mathbf{R} é uma matriz ($e \times p$) contendo relacionamento entre os e eventos e os p parâmetros, em que cada r_{ij} representa o efeito da mudança do j -ésimo parâmetro com o i -ésimo evento (como exemplo de evento, pode-se ter um aumento momentâneo na banda de determinado enlace); \mathbf{M} é um vetor binário ($1 \times p$) contendo valores que indicam se cada evento inicia uma mudança de enlace; \mathbf{I} é a matriz identidade e \mathbf{V} é um vetor ($1 \times e$) contendo valores que representam o peso de cada evento[10].

$$w = \mathbf{V} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{I}) \times \mathbf{R} \quad (7)$$

Há, por fim, uma variação do método TRUST na literatura: o *i-TRUST - intelligent TRUST* [4], no qual a inteligência inserida no algoritmo do método TRUST permite priorizar necessidades do usuário conforme a importância relativa determinada pelo usuário, adicionando uma variável em cada parâmetro para alcançar esse objetivo.

Seguindo a classificação de algoritmos para MADM [7], os algoritmos compensatórios não se limitam a fixar um valor único e sim, a utilizar vários parâmetros para buscar o melhor enlace. A seguir são analisados alguns desses algoritmos.

B. Algoritmo TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)

O algoritmo TOPSIS [12][13] também oferece um coeficiente para análise comparativa entre os enlaces. Esse coeficiente é calculado [10] pelo quociente entre os valores que representam a diferença entre os parâmetros do enlace atual e de outros dois enlaces de referência (um é o melhor enlace e o outro é o pior enlace). O coeficiente, portanto, representa uma relação do enlace analisado e os dois enlaces classificados como melhor e pior enlace.

C. Algoritmo SAW (Simple Additive Weighting)

O algoritmo SAW [12] é utilizado em problemas de seleção de enlaces ao representar em um valor único a combinação dos atributos do enlace e os respectivos pesos. O cálculo desse valor [10] é realizado tendo como referência os pesos combinados a fatores de ajuste (obtidos de uma matriz de parâmetros dos enlaces): cada elemento da matriz está relacionado a um parâmetro e a um determinado enlace.

D. Algoritmo GRA (Grey Relational Analysis)

O objetivo da teoria do Sistema Grey é oferecer ferramentas para permitir uma análise e direcionar à solução de sistemas confusos, problemáticos [14]. Para isso, o algoritmo GRA faz uso de conceitos subjetivos e objetivos, para a comparação de parâmetros e seleção ótima do enlace [8] [15]. O coeficiente Grey é calculado [10] pelo inverso do somatório das diferenças dos parâmetros do enlace analisado e outro enlace classificado como referência de melhor enlace. Assim, o coeficiente quantifica em um valor único as diferenças dos parâmetros do enlace analisado e os parâmetros do melhor enlace já analisado pelo algoritmo. Em comparação a outros métodos (SAW, TOPSIS) o método GRA destaca-se por oferecer características como menores atrasos para o tráfego de dados [16] e pode ser aplicado na seleção de enlaces [17].

E. Algoritmo ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité)

O algoritmo ELECTRE [18] tem uma sequência de ações bem definidas: 1° Montar uma matriz com os parâmetros de cada enlace; 2° Definir um enlace ideal; 3° Calcular a diferença absoluta entre cada enlace real e o ideal; 4° Normalizar a diferença encontrada; 5° Multiplicar o peso pelos atributos e calcular as matrizes de concordância e discordância; 6° Escolher o enlace com base nas matrizes de concordância e discordância.

O algoritmo realiza uma comparação de todos os enlaces (tomados dois a dois) em relação aos parâmetros correspondentes (de mesma grandeza) para verificar o

relacionamento entre esses enlaces (concordância e discordância). Porém não há uma comparação com valores pré-definidos, o que torna o algoritmo inadequado caso seja necessária a comparação com valores de referência [15].

F. Lógica Fuzzy na seleção de enlaces

A lógica Fuzzy traz uma forma de referenciar gradualmente uma decisão (por exemplo, de pertencer ou não a um dado conjunto), emitindo como saída da lógica não apenas “0” ou “1”, mas também valores no intervalo entre 0 e 1, conforme a aplicação de uma função pré-definida [19]. Os valores clássicos da lógica são classificados como valores nítidos que, ao passar pelo módulo mapeador da lógica Fuzzy, são inseridos dentro de um determinado conjunto Fuzzy - o processo permite evidenciar um grau de pertinência do elemento a um determinado conjunto [19].

Uma aplicação básica adaptada da lógica Fuzzy na seleção de redes foi proposta conforme a Fig. 1 [20] [10]. O módulo “Fuzificador” recebe parâmetros estatísticos das redes (como perda de pacotes, tempo de indisponibilidade) e aplica uma função para transformar esses valores em um conjunto de valores Fuzzy (no intervalo [0,1]). O módulo de inferência Fuzzy faz uso de regras base de associação condicional (if...then...) para associar um valor de saída a cada parâmetro de entrada e constrói o novo conjunto de valores Fuzzy global. Esses valores são “defuzificados” e a saída pode assumir valores como “0” (zero) ou o valor máximo esperado de atraso para um determinado enlace. Como os parâmetros são dinâmicos, a retroalimentação (feedback) permite a atualização dos cálculos com uma certa persistência referente ao histórico de valores (simulando um aprendizado do comportamento de cada enlace).

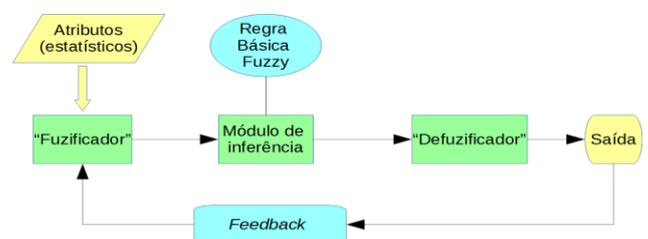


Fig. 1. Modelo combinado de lógica Fuzzy para seleção de rede. Adaptado de [10].

Outra aplicação sugerida da lógica Fuzzy para seleção de redes é combinada ao MODM (multiple objective decision making) [5]. Os parâmetros da rede passam pelo módulo Fuzzy e a saída é combinada a matriz de pesos relativos dos critérios subjetivos, conforme a Fig. 2.



Fig. 2. Modelo de lógica Fuzzy e MODM para seleção de rede. Adaptado de [5].

G. Teoria de Jogos na seleção de enlaces

A teoria dos jogos aborda jogos cooperativos e não cooperativos – nesses últimos, visa analisar um cenário em que atores tomam decisões dentro de um sistema a fim de maximizar seu interesse (pagamento) mas afetam outros atores que também tomam decisões com o mesmo interesse e assim a situação gera conflitos; o equilíbrio (NE – *Nash equilibrium*) é atingido quando uma nova decisão não causar impacto no interesse (pagamento) para os demais atores [21].

Uma aplicação de teoria dos jogos proposta para seleção de enlaces é a de utilizá-la integrada ao método SAW (utilizado como recurso de pontuação para o jogo não-cooperativo) e ao método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para estimar o peso dos parâmetros que afetam a seleção do enlace [6]. A Fig. 3 retrata a proposta. Os autores em [6] definem a seleção de enlaces como um modelo de jogo de negócios competitivo, no qual os jogadores são os enlaces e a reação dos jogadores diante dos pesos dos parâmetros (políticas do usuário) são as estratégias. Nesse caso, a recompensa é o quanto cada enlace atende a política do usuário.

O método SAWG (*Simple Additive Weighting Game*) proposto em [6] funciona da seguinte forma: inicialmente é construída a matriz de decisão SAWG com os dados dos respectivos parâmetros de cada enlace. Após, são inseridos os dados de preferências do usuário (políticas administrativas) e utilizado o método AHP para o cálculo da nova matriz com os pesos relativos às preferências de usuário para cada parâmetro. O valor de vantagem de jogo para cada alternativa é inserido no cálculo a fim de obter em cada linha da matriz uma série de valores que serão somados para representar numericamente a vantagem de cada enlace, e então é feita a seleção pelo maior valor - enlace mais vantajoso (Fig. 3).

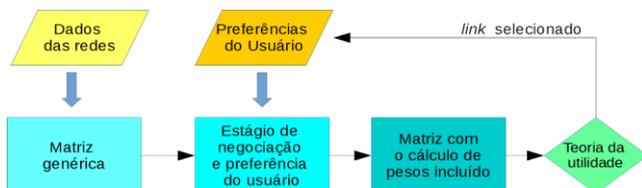


Fig. 3. Modelo de uso da teoria dos jogos para a seleção ótima de redes heterogêneas. Adaptado de [6].

H. Otimização Combinatória na seleção de enlaces

A otimização combinatória tem como objetivo encontrar um resultado ótimo em um conjunto finito de opções – normalmente o número de opções cresce exponencialmente, impossibilitando a seleção por análise de cada opção individualmente [22]. Uma das abordagens para seleção de enlaces é pelo problema de empacotamento [23], utilizando alguns métodos, entre eles:

- 1) algoritmo *FirstFit*: seleciona o primeiro enlace adequado;
- 2) algoritmo *BestFit*: seleciona o enlace que fica com a menor sobra de recurso após a seleção;
- 3) algoritmo *WorstFit*: seleciona o enlace que permanece com a maior sobra de recursos após a alocação.

III. SELEÇÃO DE REDES NO CONTEXTO DA ATN-BR

No âmbito do SISCEAB, as redes de comunicação possuem a padronização de utilização de enlaces redundantes [3], conforme a Fig. 4.

Os enlaces que conectam os sistemas (TF1, TF2, radar, VHF) com o centro de controle (Posto Operador, Servidores CCAM) são distintos (satelital, operadora de telecomunicações): cada um possui características próprias de propagação para os sinais (enlaces heterogêneos).



Fig. 4. Topologia da rede de controle de tráfego aéreo e da sub-rede de operações militares [3].

Apesar de os métodos apresentados na Seção II serem contextualizados para redes sem fio, os conceitos de seleção podem ser aplicados no contexto da ATN-BR para gerenciar o tráfego de pacotes de dados no protocolo IPv6 nos enlaces terrestres e satelital disponíveis. Nesse caso, os “clientes” para os métodos de seleção são as demandas de envio e recebimento de pacotes de dados - dos serviços de voz/dados da rede aeronáutica.

O objetivo principal da utilização de um método para o gerenciamento das redes é manter a maior disponibilidade possível de comunicação para os diversos serviços da rede ATN, conservando a redundância ao menor custo para que, em caso de falha de enlaces, haja a possibilidade de o sistema priorizar o tráfego de dados seguindo a política operacional de degradação (determinada pelo COMAER) específica para cada local (nó) da rede. Assim, há necessidade de uma seleção que busque a otimalidade, analisando parâmetros da rede e a política local de degradação para sugerir o melhor enlace disponível ou, na falta dele, abra uma janela de tempo para a decisão pelo descarte da informação; e tenha, ainda, uma função de balanceamento entre as redes disponíveis (a fim de minimizar a banda contratada e o custo de contratação dos enlaces), respeitando o tempo máximo exigido em cada tipo de serviço.

O algoritmo proposto por [4] visa atender a demanda de seleção de enlace na ATN em uma aeronave (cenário de um nó móvel, utilizado pelo passageiro) e é baseado no modelo de algoritmo de seleção de enlace otimizado: o processo é iniciado com uma pré-seleção de enlaces em que são analisados os atributos de cada enlace “i” em relação à fase do voo (1º critério); na sequência, é analisado o QoS (2º critério); e, por fim, o requisito de segurança (3º critério). Existindo um enlace que atenda a esses critérios pré-definidos, a fase de pré-seleção gera o número de alternativas para o próximo algoritmo de seleção do enlace.

Para a seleção, o algoritmo analisa inicialmente o número de enlaces pré-selecionados: se esse número for 0 (zero) significa que nenhum enlace disponível atende aos requisitos e o envio do pacote é cancelado (requisição perdida). Caso

haja apenas um enlace disponível, não há necessidade de seleção e o pacote é enviado por esse único enlace que atende aos critérios (fase do voo, QoS e segurança). Apenas quando há dois ou mais enlaces que atendam aos critérios da pré-seleção é que existe uma seleção utilizando os processos de prioridade (linha base) e de seleção MADM (ótimo): no final há uma decisão de escolha pelo critério da lista de prioridades ou pela seleção ótima (MADM) conforme a política dos *stakeholders* (partes interessadas e gestoras do sistema).

A. Proposta de Algoritmo para a ATN-BR

No âmbito do sistema de controle do espaço aéreo brasileiro (SISCEAB) a continuidade das comunicações é prioridade, haja vista não haver controle aéreo sem comunicação entre as aeronaves e os controladores de voo. Assim, a etapa de pré-seleção dos enlaces disponíveis deve levar em conta a importância desse primeiro critério que é definido pelo tempo máximo permitido de atraso (conforme o tipo de informação a ser enviada pela rede – voz, dados radar, dados de planos de voo, entre outros). Com o primeiro critério definido, visando a interconexão entre os nós da ATN-BR, os dois outros critérios (QoS e segurança) são verificados para garantia da integridade da informação e é aplicado um método de decisão multicritério (MADM) para avaliação dos pesos objetivos (parâmetros das redes) e subjetivos (política operacional) na escolha final do enlace.

A sequência de eventos proposta na Fig. 5 é semelhante ao modelo de [4].



Fig. 5. Proposta de Algoritmo de pré-seleção e seleção de enlace.

Porém, na etapa de pré-seleção de enlaces foi acrescentada a decisão de janela de tempo (limite de validade da informação) específica para cada aplicação (para cada tipo de serviço aeronáutico) com o objetivo de alcançar a maior disponibilidade possível para comunicação, descartando o pacote de dados apenas caso haja interrupções superiores ao limite temporal definido (T_{max}). Ao final da pré-seleção, o valor $i=1$ (existência de enlace que satisfaz os requisitos mínimos) ou o tempo limite ($T=T_{max}$) são as duas condições que provocam o início do algoritmo de seleção.

Tendo em vista a necessidade de otimização dos meios (maximizar a disponibilidade) e de respeitar a política operacional (definida pelos envolvidos com a gerência operacional do sistema - *stakeholders*), a “linha base” [4] foi retirada e o processo de seleção é exclusivo pelo MADM, agilizando a seleção final e evitando outros cálculos que possam retardar desnecessariamente o envio dos pacotes.

Analisando o algoritmo de pré-seleção proposto, a primeira decisão é em relação ao tempo requerido para a comunicação (após o tempo máximo o pacote perde a utilidade): caso o tempo esteja no limite e haja enlace disponível, o processo de seleção MADM é preterido face à necessidade de entrega do pacote no destino, dentro da validade (objetivo de maximizar a disponibilidade).

Na sequência, são verificados os parâmetros de qualidade (QoS) e segurança para confirmar se a rede está adequada ao tipo de informação a ser transmitida. Se a rede atender aos requisitos, completa-se a pré-seleção e passa-se à etapa de seleção baseada nos demais parâmetros e políticas operacionais.

O algoritmo de seleção recebe a informação (os parâmetros) do enlace candidato e, caso o tempo verificado na pré-seleção tenha ultrapassado o limite para envio, haverá falha na transmissão; caso o tempo estiver no limite máximo, a seleção MADM será ignorada e feito o envio pelo enlace disponível. Somente quando houver uma disponibilidade de tempo para envio é que será feita a seleção otimizada de enlace. Essa adequação evita a perda de informação em situações críticas, nas quais a voz ou os dados são críticos e podem ocasionar incidentes ou acidentes aeronáuticos.

O método sugerido para a normalização no MADM é o “máximo-mínimo aprimorado”, no qual os parâmetros dos enlaces (atributos com valores crescentes e decrescentes) são transformados em valores escalonados numa sequência lógica única (em que o maior valor revele necessariamente o melhor enlace naquele determinado critério). A normalização permite realizar a comparação de todos os atributos dos enlaces de forma combinada [24] e escolher o melhor enlace.

Para a atribuição de pesos subjetivos (definidos pelos *stakeholders*), o método sugerido é o *i*-TRUST [4] que mostra-se eficiente ao automatizar o processo de cálculo dos pesos de forma a alcançar um resultado ponderado. Assim, a decisão final também estará sujeita aos conceitos subjetivos (políticas operacionais) ou a alguma outra regra específica para uma determinada localidade (como exemplo, uma prioridade maior para os dados do radar de defesa aérea). No método *i*-TRUST é utilizado um vetor de importâncias relativas para cada requisito dos *stakeholders* e o cálculo feito em um produto dos pesos subjetivos com esse vetor, obtendo

um novo vetor ao qual é aplicada uma função de normalização. Após a normalização, os valores dos pesos objetivos e subjetivos são combinados para ordenar os enlaces candidatos conforme esse valor (o enlace com maior valor de utilidade será o enlace selecionado).

Por fim, em relação ao balanceamento de carga, é sugerido o uso de um método para o gerenciamento de VHO (*vertical handover*) para fazer o balanceamento de carga [10] após a seleção do enlace ótimo. As opções de VHO não estão no foco deste artigo, mas são necessárias para complementar o processo decisório final de seleção.

IV. CONCLUSÕES

A implantação da rede ATN-BR é uma realidade no âmbito das telecomunicações aeronáuticas no Brasil. O Comando da Aeronáutica já possui normas a serem seguidas para tal implantação, porém, devido a restrições físicas e financeiras, há necessidade de gerenciar os enlaces disponíveis a fim de otimizar os recursos contratados e garantir a maior disponibilidade possível, balanceando a carga de dados em cada um dos enlaces contratados, em cada localidade atendida pela rede.

O presente artigo teve como objetivo revisar os métodos de seleção de redes presentes na literatura e propor uma aplicação para gerenciar os enlaces na ATN-BR, a fim de otimizar a disponibilidade da rede com o uso de métodos já disponíveis na literatura. Entre as várias opções foi sugerida uma aplicação em particular, baseada e adaptada dos estudos e resultados obtidos por [4]. Há, ainda, a necessidade da aplicação de um método de VHO para o balanceamento de carga entre as redes e, por fim, obter os resultados através de simulações para verificar se os resultados práticos da aplicação da teoria no caso do gerenciamento dos enlaces terrestres da ATN-BR apresentam otimização em comparação a utilização de uma técnica mais simples de seleção (por exemplo, com critério fixo pré-definido de prioridade de enlaces).

Assim, fica a proposta de complementar a análise deste artigo com um método para o balanceamento e uma simulação do algoritmo de seleção final em cenários que simulem situações reais de inoperâncias de um ou mais enlaces alternadamente e ao mesmo tempo, para a análise e conclusões sobre os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- [1] M. S. Ben Mahmoud, A. Pirovano, and N. Larriue, "Aeronautical communication transition from analog to digital data: A network security survey," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 11–12, pp. 1–29, 2014.
- [2] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Manual on the Aeronautical Telecommunication Network (ATN) using Internet Protocol Suite (IPS) Standards and Protocols," Doc 9896. 2010.
- [3] Comando da Aeronáutica (COMAER), "Requisitos Básicos das Redes de Comunicações do COMAER," DCA 102-1. 2011.
- [4] A. S. Alam, Y. F. Hu, P. Pillai, K. Xu, and J. Baddoo, "Optimal Datalink Selection for Future Aeronautical Telecommunication Networks," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 53, no. 5, pp. 2502–2515, 2017.
- [5] P. M. L. Chan, Y. F. Hu, and R. E. Sheriff, "Implementation of Fuzzy Multiple Objective Decision Making Algorithm in a Heterogeneous Mobile Environment," *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. 2002. WCNC2002.*, vol. 00, no. c, pp. 332–336, 2002.
- [6] Y. K. . Salih, O. H. . See, R. W. . Ibrahim, S. . Yussuf, and A. . Iqbal, "A user-centric game selection model based on user preferences for the selection of the best heterogeneous wireless network," *Ann. des Telecommun. Telecommun.*, vol. 70, no. 5–6, pp. 239–248, 2015.
- [7] F. Bari and V. Leung, "Automated network selection in a heterogeneous wireless network environment," *IEEE Netw.*, vol. 21, no. 1, pp. 34–40, 2007.
- [8] Q. Song and a. Jamalipour, "Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 3, pp. 42–48, 2005.
- [9] S. Deswal, and A. Singhrova, "Handover algorithm for heterogeneous networks," in: *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, pp. 3358–3364, 2016.
- [10] L. Wang and G.-S. G. S. Kuo, "Mathematical Modeling for Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks — A Tutorial," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 271–292, 2013.
- [11] L. Wang and D. Binet, "TRUST: A trigger-based automatic subjective weighting method for network selection," *Proc. 2009 5th Adv. Int. Conf. Telecommun. AICT 2009*, pp. 362–368, 2009.
- [12] W. Z. W. Zhang, "Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks," *2004 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. (IEEE Cat. No.04TH8733)*, vol. 2, pp. 653–658, 2004.
- [13] F. Bari and V. Leung, "Multi-attribute network selection by iterative TOPSIS for heterogeneous wireless access," *2007 4th Annu. IEEE Consum. Commun. Netw. Conf. CCNC 2007*, pp. 808–812, 2007.
- [14] D. Julong, "Introduction to Grey System Theory," *J. Grey Syst.*, vol. 1, pp. 1–24, 1989.
- [15] F. Bari and V. C. M. Leung, "Use of Non-monotonic Utility in Multi-Attribute Network Selection," in *Wireless Technology: Applications, Management, and Security*, S. Powell and J. P. Shim, Eds. Boston, MA: Springer US, 2009, pp. 21–39.
- [16] E. Stevens-Navarro and V. W. S. Wong, "Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2, no. c, pp. 947–951, 2006.
- [17] K. Zhu, D. Niyato, and P. Wang, "Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks: Evolution with Incomplete Information," *2010 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf.*, pp. 1–6, 2010. [18] F. Bari and V. Leung, "Application of ELECTRE to network selection in a heterogeneous wireless network environment," *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC*, pp. 3813–3818, 2007.
- [19] L. A. Zadeh, "Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 90, no. 2, pp. 111–127, 1997.
- [20] J. Hou and D. C. O'Brien, "Vertical handover-decision-making algorithm using fuzzy logic for the integrated Radio-and-OW system," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 5, no. 1, pp. 176–185, 2006.
- [21] E. Rasmusen, "Game and information: an introduction to game theory," *Blackwell Publishing*, 2007.
- [22] A. Schrijver, "Combinatorial optimization," *Springer-Verlag*, 2003.
- [23] D. Mariz, I. Cananea, D. Sadok, and G. Fodor, "Simulative analysis of access selection algorithms for multi-access networks," *Proc. Int. Symp. a World Wireless, Mob. Multimed. Networks - WoWMoM'06*, pp. 219–227, 2006.
- [24] Q.-T. Nguyen-Vuong, Y. Ghamri-Doudane, and N. Agoulmine, "On utility models for access network selection in wireless heterogeneous networks," *IEEE Netw. Oper. Manag. Symp. (NOMS)*, pp. 144–151, 2008.