

# Priorização do QoS na Seleção de Redes Heterogêneas sem Fio com um Método Multicritério

Marco Aurélio Sernagiotto<sup>1</sup>, Valério Rosset<sup>2</sup>, Mischel C. N. Belderrain<sup>1</sup>, Mariá C. V. Nascimento<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil  
<sup>2</sup>Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São José dos Campos/SP – Brasil

**Resumo** – A crescente demanda dos aplicativos de comunicação em dispositivos móveis traz a necessidade de seleção da melhor rede disponível para alcançar a satisfação do usuário. A qualidade de serviço (QoS) é utilizada como parâmetro para a comparação entre as redes. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a seleção de redes heterogêneas por meio de um método multicritério em duas etapas, visando a oferecer a melhor qualidade de serviço (QoS) para o usuário. O método selecionado foi o SAW (*Simple Additive Weighting*) em duas combinações distintas em cenários pré-definidos, com quatro redes, no qual as preferências do usuário estão bem definidas. A conclusão é que a combinação do método SAW com a Entropia apresenta a limitação de não considerar as preferências do usuário e das aplicações, enquanto a combinação com o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) evidenciou mais a rede com melhor QoS perante as demais redes. A contribuição do trabalho é o uso do método SAW como ferramenta gerencial, mostrando possíveis melhorias no QoS para o usuário.

**Palavras-Chave** – Qualidade de serviço (QoS). Seleção de redes heterogêneas. SAW. Método multicritério.

## I. INTRODUÇÃO

A necessidade de conexão a redes de acesso à Internet nos diversos locais com várias redes disponíveis traz uma nova demanda para os dispositivos que contam com várias interfaces de rede – a seleção entre redes heterogêneas.

Vários trabalhos apresentam análises de métodos de seleção entre redes heterogêneas sem fio [1] [2] [3] [4] com sugestões de combinações entre os métodos para obter resultados aprimorados, de acordo com os serviços utilizados (voz – *conversational*, vídeo – *streaming*, navegação na Internet – *interactive* e mensagens de e-mail – *background*) [5] [6]. Dentre os vários artigos consultados, no tema de métodos de seleção de redes, a maioria sugere a utilização de métodos multicritérios [7] [8] [9] [10].

Em particular, o método SAW (*Simple Additive Weighting*) é um método clássico de multicritério que expressa a ideia básica de realizar uma avaliação das alternativas (opções) por meio da média ponderada dos respectivos critérios – é conhecido, também, como combinação linear ponderada e método de pontuação. De acordo com [11] [12], o SAW é um método simples e o mais frequentemente utilizado em problemas de seleção de redes. Em publicações recentes [12] [13] [14] [15] e [16], os autores afirmam que o método apresenta um bom desempenho para problemas de seleção.

A razão principal do uso do SAW neste trabalho, além das citadas, é o fato de os coeficientes  $C_{saw}$  representarem uma medida do “lucro” ou da “recompensa” que é obtida para cada escolha feita entre as alternativas disponíveis (redes de comunicação).

Analisando esses coeficientes com uma visão gerencial do sistema de comunicação é possível concluir qual seria a rede existente no sistema com o maior QoS (maior “lucro”) possível para o usuário e, com essa informação, apresentar uma meta de aumento do QoS em determinados cenários (em que há um QoS maior que o da rede selecionada). Essa visão proporcionada pelo SAW permite a extrapolação do problema de seleção, obtendo informações úteis para a gestão do sistema com o objetivo de melhorar (aumentar) o QoS oferecido ao usuário.

Os cenários com os dados do problema para simulação foram extraídos de [1] a fim de permitir uma comparação dos resultados com os obtidos naquele trabalho em que os autores utilizaram os métodos AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e o GRA (*Grey Relational Analysis*). Neste trabalho foram utilizados os métodos SAW com os dados do AHP de [1] e também um método diferente do AHP (a Entropia) para o cálculo dos “pesos” com a finalidade de avaliar o efeito de considerar apenas os parâmetros das redes nesse cálculo.

As comparações dos resultados comprovaram que o método SAW (em relação ao GRA) aumenta as diferenças entre os coeficientes das redes e, assim, facilita a comparação para seleção do maior coeficiente (melhor QoS). Em relação aos “pesos”, foi possível concluir que a falta da informação dos requisitos (pela aplicação da Entropia) impede a seleção da rede que fornece o melhor QoS em determinados cenários.

A contribuição para a literatura é a utilização de um método de seleção de redes (SAW) para a gestão do sistema em relação ao QoS oferecido ao usuário – comparando os coeficientes obtidos ( $C_{saw}$ ) há casos em que existe um QoS melhor para o usuário se for disponibilizada uma outra rede do sistema que não oferecia cobertura naquele cenário. Essa informação permite ao gestor do sistema implementar ações para melhorar o QoS em determinados cenários.

Após esta introdução, o presente trabalho traz na Seção II a contextualização dos métodos de decisão multicritério com uma aplicação no processo de seleção em redes heterogêneas, seguida da descrição do método SAW; na Seção III, a definição da metodologia e a aplicação do método SAW; na Seção IV, a análise dos resultados; e na Seção V, a conclusão do trabalho, seguida pelas referências bibliográficas.

## II. MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E A SELEÇÃO DE REDES HETEROGÊNEAS

O problema de seleção de redes heterogêneas para utilização por dispositivos com múltiplas interfaces de rede

M. A. Sernagiotto, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). E-mail: marcomas@ita.br.

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

M. C. N. Belderrain, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). E-mail: carmen@ita.br

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

(computadores *desktop*, dispositivos móveis, entre outros) em ambientes sem fio, assim como outras situações em que um decisor tenha que fazer a opção por uma alternativa analisando diversos critérios (objetivos e subjetivos), pode ser tratado como um problema de análise de decisão [17].

Partindo dessa premissa, o problema de seleção de redes pode ser analisado por meio de um método multicritério (MCDM - *Multiple Criteria Decision Making*) para que as decisões indicadas sejam fundamentadas em critérios específicos e o decisor possa avaliar a alternativa recomendada no contexto da situação problemática [18].

Os métodos de decisão multicritério têm evoluído ao longo do tempo para poder contemplar as complexidades envolvidas nos cenários problemáticos, dadas as incertezas associadas ao contexto [19].

Dessa forma, os métodos podem oferecer ao decisor uma opção cuja avaliação contempla mais elementos, servindo como uma ferramenta eficiente na solução de problemas que envolvam diversas alternativas e critérios relacionados [20]. Especificamente no contexto da seleção de redes, os autores em [3] descrevem o processo de seleção em quatro etapas bem definidas, com duas delas (2ª e 3ª) dedicadas ao julgamento com multiatributo (MADM - *Multiple Attribute Decision Making*) – um tipo de abordagem multicritério [3] com objetivo de comparar e selecionar a melhor entre as várias alternativas do problema (Figura 1).

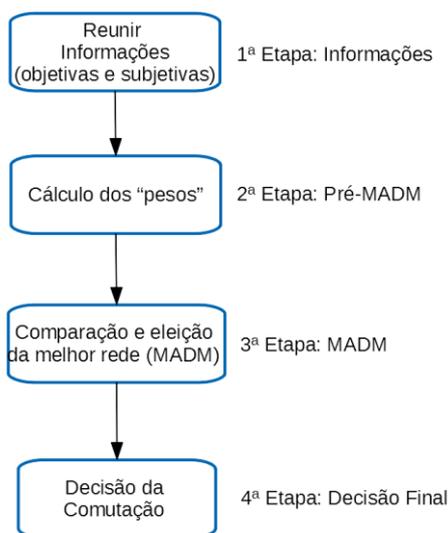


Fig. 1. Seleção de redes em quatro etapas. Adaptado de [3].

A primeira etapa consiste em reunir as informações das redes, dos serviços a serem utilizados (demandas de tráfego dos dados) e das políticas do usuário. Caso essas informações não estejam disponíveis ou ainda haja dúvidas sobre quais informações e quais políticas são importantes para a seleção, podem ser utilizados métodos de estruturação de problemas (PSM - *Problem Structuring Methods*) [19] e [21] para organizar essas informações e estruturar o problema.

A segunda etapa consiste no cálculo das taxas de compensação (ou “pesos”) dos critérios e normalização dos dados. Há diversos métodos para o cálculo desses pesos na literatura, como o do Autovetor (*Eigenvector Method*), do

Mínimo Quadrado Ponderado (WLS - *Weighted Least Square Method*) e da Entropia (*Entropy Method*) [22]. No trabalho de referência deste artigo [1] foi utilizado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) com a finalidade de definir os “pesos” dos critérios. O AHP é um método que consiste na divisão de um problema em níveis hierárquicos (facilitando a compreensão e avaliação) e determinação de uma medida global para cada uma das alternativas por meio da síntese dos valores dos decisores, priorizando as alternativas na conclusão do método. Esse método foi desenvolvido nos anos 1980, por Thomas Saaty [11] e os valores dos julgamentos do AHP utilizados neste trabalho foram extraídos de [1].

Neste trabalho também será utilizado o método da Entropia [23] para obter os “pesos” de cada critério utilizando os dados disponíveis das redes, para fins de comparação.

O cálculo dos “pesos” pela Entropia é iniciado com a construção de uma matriz  $A$  (matriz de decisão) constituída pelos elementos com “pesos” normalizados  $a_{ij}$ , em que  $i$  representa a rede e  $j$  representa o critério. Foi adotada a normalização pela soma (*Sum*) [3] conforme as relações (1) e (2), nas quais  $m$  representa o total de redes (alternativas para a solução) e  $n$  representa o total de critérios.

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \begin{cases} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

$$a_{ij} = (1 - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}) / (m - 1), \begin{cases} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

Baseado na matriz  $A$ , o cálculo do valor dos “pesos” pelo método da Entropia é realizado conforme a relação (3), em que cada elemento ( $e_j$ ) corresponde a um dos critérios do problema de seleção das redes [3].

$$e_j = 1 - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m [a_{ij} * \ln(a_{ij})], \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

E para definir os pesos  $w_j$  da Entropia a ser utilizada no cálculo do coeficiente para classificação das redes, é feita uma normalização pela soma entre os “pesos” dos critérios ( $e_j$ ) (4):

$$w_j = \frac{e_j}{\sum_{j=1}^n e_j} \quad (4)$$

A terceira etapa no processo de seleção de redes (Figura 1) consiste no julgamento para a indicação da melhor rede através de um método multiatributo (MADM). Os autores em [1] utilizaram o método GRA, que é baseado na teoria do sistema *Grey* (*Grey System Theory*) criado por Julong Deng [24].

Neste artigo será utilizado o método SAW, que permite obter um resultado ponderado entre as alternativas e os critérios utilizados nas ponderações – a rede que reunir as características com maior pontuação final, considerando os “pesos” para os critérios do sistema, deverá ser escolhida como a rede preferencial.

A aplicação do método SAW consiste em quatro passos [2]:

1º- Acessar uma matriz de dados  $D$  (5) que contém a relação entre as redes ( $i$ ) e os critérios ( $j$ ) utilizados para a

classificação. Um dos métodos de obtê-la é pela aplicação de funções de utilidade pelas quais um critério é representado por um valor numérico que representa o parâmetro da rede. Nessa matriz bidimensional cada item representa o valor do critério em determinada rede. Nesse primeiro passo os valores são normalizados de acordo com a grandeza que representam, em cada critério  $j$ : para grandezas do tipo “lucro” (6) (que melhoram conforme aumenta o valor) e para grandezas do tipo “custo” (7) (nos quais um valor menor corresponde ao melhor resultado, como por exemplo o critério de atraso – *delay*).

$$D = \begin{bmatrix} d_{1,1} & \cdots & d_{1,j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{i,1} & \cdots & d_{i,j} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$d_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{d_j^{max}}, \forall i \quad d_j^{max}: \text{maior valor da coluna } j \quad (6)$$

$$d_{i,j} = \frac{d_j^{min}}{d_{i,j}}, \forall i \quad d_j^{min}: \text{menor valor da coluna } j \quad (7)$$

2º- Obter os “pesos” ( $w_j$ ) dos critérios das redes. Esses pesos podem ser obtidos por métodos MCDM, como por exemplo o AHP [1].

3º- Calcular os índices  $C_{saw}^i$  (8) referentes a cada rede de acordo com os critérios e os respectivos pesos.

$$C_{saw}^i = \sum_{j=1}^n w_j * d_{i,j}, \forall i \quad (8)$$

4º- Retornar ao decisor a rede ( $i$ ) cujo coeficiente foi o maior entre todos os valores (9), indicando-a como aquela que fornecerá o melhor QoS ao usuário.

$$i \in \{1..m\} | C_{saw}^i \geq C_{saw}^k, \forall k \in \{1..m\} \quad (9)$$

A decisão da comutação entre as redes (da atual para uma nova rede selecionada) é a quarta e última etapa no modelo. Nessa etapa ocorre o julgamento e a decisão de manter a conexão de rede atual ou utilizar uma nova rede – nesse caso, realizando um VHO (*Vertical HandOver*) [25] [14]. Um decisor verificará se é ou não vantajoso o custo da comutação diante do benefício da utilização de uma nova rede, o que não está no escopo deste trabalho.

### III. METODOLOGIA E APLICAÇÃO DE SAW EM UM PROBLEMA DE REDES SEM FIO

A Seção 2 trouxe a contextualização dos métodos de decisão multicritério e uma aplicação no processo de seleção em redes heterogêneas, seguida da descrição do método SAW (*Simple Additive Weighting*).

Para atingir o objetivo proposto, inicialmente foi aplicado o método SAW em conjunto com o método da Entropia para a seleção entre quatro redes sem fio ( $m=4$ ) ( $i=1,..,4$ ) – em serviços de transmissão de voz/vídeo e *download/upload* de

arquivos, no mesmo contexto proposto por [1]. E foi verificado se a sugestão de rede obtida é diferente das encontradas pelos autores do trabalho original, no qual eles utilizaram a normalização ideal, os “pesos” definidos por meio do AHP e o método GRA para classificação das redes.

Para normalização dos dados foi utilizado o método da soma (*Sum*) com o complemento para “1” para representar os critérios de “custo” como critério de “lucro”, de forma a permitir a comparação de todos os parâmetros. Não foi possível utilizar a normalização ideal (utilizada em [1]) pelo fato de ela atribuir valores nulos (zero) para alguns atributos, tornando-os incompatíveis com os cálculos da Entropia.

Os dados do problema (Tabelas I, II e VII) foram extraídos de [1]: os atributos das redes nos nove critérios e subcritérios ( $n=9$ ) ( $j=1,..,9$ ) e os “pesos” dos critérios atribuídos a cada um dos casos em relação à demanda de serviços foram justificados na Tabela VII. O caso 2\_1 refere-se a uma situação em que o usuário precisa da rede para um aplicativo de comunicação por voz e vídeo em tempo real. Já no caso 2\_2, o usuário precisa fazer *download* de arquivos. E no caso 4, a demanda do usuário é pelo envio de arquivos (*upload*).

A seleção das redes (Figura 1) é iniciada com a obtenção dos valores de cada parâmetro (Tabela I) nas respectivas redes (Tabela II).

TABELA I. PARÂMETROS CONSIDERADOS NAS REDES

Critérios		código
banda		A
pontualidade	atraso	B
	tempo de resposta	C
	jitter	D
confiabilidade	erro BER	E
	erro burst	F
	retransmissões	G
segurança		H
custo		I

TABELA II. PARÂMETROS INICIAIS DAS REDES [1]

alternativas	parâmetros originais								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
UMTS	2	20	10	5	$10^{-3}$	0,4	0,5	9	1
WLAN-0	25	30	30	10	$10^{-5}$	0,2	0,2	7,5	0,1
WLAN-A1	25	50	30	10	$10^{-5}$	0,25	0,3	6	0,5
WLAN-A2	23	45	28	10	$10^{-6}$	0,25	0,2	7	0,2

A segunda etapa consiste na normalização e obtenção dos “pesos”. Como o método *Sum* não oferece uma relação diferenciada para os parâmetros de “custo” (nos quais o melhor valor é o numericamente menor), foi efetuado o complemento para 1 (o valor 1 representa 100% em “peso”), conforme as relações (1) e (2), obtendo a matriz A (Tabela III).

Após ser definida a matriz A, é feito o cálculo do valor da informação  $e_j$  (Entropia) das alternativas de rede através da equação (3) utilizando os valores normalizados em A, obtendo os valores da Tabela IV.

Por fim, a Tabela V revela os “pesos” normalizados dos critérios, obtidos com a equação (4).

TABELA III. PARÂMETROS NORMALIZADOS PELO MÉTODO SUM (MATRIZ A)

alternativas	parâmetros normalizados (método Sum)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
UMTS	0,027	0,287	0,299	0,286	0,007	0,212	0,194	0,305	0,148
WLAN-0	0,333	0,264	0,231	0,238	0,330	0,273	0,278	0,254	0,315
WLAN-A1	0,333	0,218	0,231	0,238	0,330	0,258	0,250	0,203	0,241
WLAN-A2	0,307	0,230	0,238	0,238	0,333	0,258	0,278	0,237	0,296

TABELA IV. VALOR DA INFORMAÇÃO  $e_j$  (ENTROPIA DAS REDES)

$e_j$	parâmetros (diversidade)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$e_j$	0,860	0,996	0,995	0,998	0,817	0,997	0,993	0,992	0,974

TABELA V. "PESOS" NORMALIZADOS CALCULADOS PELO MÉTODO DA ENTROPIA

$w_j$	pesos normalizados para os parâmetros (Entropia)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$w_j$	0,371	0,011	0,012	0,006	0,484	0,008	0,018	0,020	0,069

Essa tabela de "pesos" não muda (é fixa) para todas as classes de serviço (aplicativos) que demandem recursos da rede - não há mudança nos "pesos" devido à alteração nas preferências do usuário sobre as características da rede para adequá-la ao uso (o tipo de aplicação do usuário não altera os "pesos"). Isso é uma característica do método da Entropia: uma mudança no requisito de QoS dos serviços não produz alterações na seleção das redes.

Os "pesos" (Tabela V) são aplicados aos parâmetros normalizados (Tabela III) de forma a obter os valores dos parâmetros ponderados e o valor do coeficiente  $C_{saw}$  para a classificação das redes (Tabela VI).

TABELA VI. CRITÉRIOS PONDERADOS ( $w_j A_{ij}$ ) E  $C_{saw}$

	parâmetros ponderados									$C_{saw}$
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
UMTS	0,010	0,003	0,004	0,002	0,003	0,002	0,004	0,006	0,010	0,044
WLAN-0	0,124	0,003	0,003	0,001	0,160	0,002	0,005	0,005	0,022	0,325
WLAN-A1	0,124	0,002	0,003	0,001	0,160	0,002	0,005	0,004	0,017	0,317
WLAN-A2	0,114	0,003	0,003	0,001	0,161	0,002	0,005	0,005	0,020	0,314

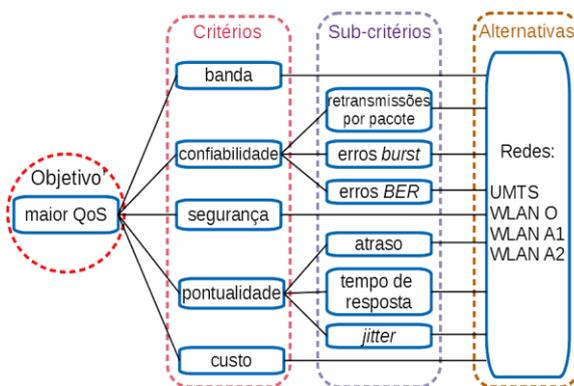


Fig. 2. Estrutura Hierárquica do Problema.

O resultado obtido pela Entropia e SAW (preferência pela rede WLAN-0) é definitivo, ou seja, não se altera com

mudanças no serviço a ser atendido pela rede – caso o usuário tenha uma nova demanda (por exemplo, precise de um nível de segurança maior para enviar dados sensíveis) a combinação Entropia e SAW não mudará a rede selecionada (no caso analisado, permanecerá a seleção da rede WLAN-0).

Devido a essa característica, foi feita uma nova simulação, alterando o método para obtenção dos pesos para o AHP, aproveitando os dados obtidos pelos autores em [1]. A estrutura hierárquica para a seleção de redes utilizada no método AHP (Figura 2) permitiu a definição dos pesos dos critérios (Tabela VII).

A fim de permitir uma posterior comparação aos resultados de [1], foi feita a normalização ideal [11] dos parâmetros das redes. Os valores obtidos estão na Tabela VIII.

TABELA VII. "PESOS" EXTRAÍDOS COM USO DO AHP [1]

	A	Pesos dos critérios e subcritérios de QoS							
		CONJ. 1				CONJ. 2			
		B	C	D	E	F	G	H	I
CASO 2_1	0,246	0,427			0,245			0,039	0,042
		0,043	0,043	0,341	0,065	0,165	0,015		
CASO 2_2	0,397	0,048			0,397			0,11	0,042
		0,021	0,021	0,007	0,258	0,091	0,048		
CASO 4	0,238	0,048			0,238			0,238	0,238
		0,021	0,021	0,007	0,154	0,055	0,029		

TABELA VIII. NORMALIZAÇÃO PELO MÉTODO DA NORMALIZAÇÃO IDEAL

matriz A	parâmetros normalizados (normalização ideal)								
$a_{ij}$	A	B	C	D	E	F	G	H	I
UMTS	0.080	1.000	1.000	1.000	0.001	0.500	0.400	1.000	0.100
WLAN-0	1.000	0.667	0.333	0.500	0.100	1.000	1.000	0.833	1.000
WLAN-A1	1.000	0.400	0.333	0.500	0.100	0.800	0.667	0.667	0.200
WLAN-A2	0.920	0.444	0.357	0.500	1.000	0.800	1.000	0.778	0.500

O resultado da nova simulação (tabela IX), em que a matriz A (obtida pela normalização ideal) é utilizada no cálculo do produto ( $w_j a_{ij}$ ) de cada termo com os "pesos" fornecidos pelo AHP (para o caso 2\_1), permite obter os valores de decisão (coeficientes  $C_{saw}$  – última coluna da Tabela IX).

TABELA IX. "PESOS" DOS CRITÉRIOS ASSOCIADOS A DETERMINADO SERVIÇO (CASO 2\_1)

matriz A	parâmetros									$C_{saw}$
$a_{ij}$	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
UMTS	0,020	0,043	0,043	0,341	0,000	0,083	0,006	0,039	0,004	0,579
WLAN-0	0,246	0,029	0,014	0,171	0,007	0,165	0,015	0,033	0,042	0,722
WLAN-A1	0,246	0,017	0,014	0,171	0,007	0,132	0,010	0,026	0,008	0,631
WLAN-A2	0,226	0,019	0,015	0,171	0,065	0,132	0,015	0,030	0,021	0,694

TABELA X. "PESOS" DOS CRITÉRIOS ASSOCIADOS A DETERMINADO SERVIÇO (CASO 2\_2)

Matriz A	parâmetros									$C_{saw}$
$a_{ij}$	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
UMTS	0,032	0,021	0,021	0,007	0,000	0,046	0,019	0,110	0,004	0,260
WLAN-0	0,397	0,014	0,007	0,004	0,026	0,091	0,048	0,092	0,042	0,721
WLAN-A1	0,397	0,008	0,007	0,004	0,026	0,073	0,032	0,073	0,008	0,628
WLAN-A2	0,365	0,009	0,008	0,004	0,258	0,073	0,048	0,086	0,021	0,872

O mesmo procedimento foi adotado para os dados dos casos 2\_2 e 4 resultando em duas novas tabelas (Tabelas X e XI) com os respectivos valores de decisão (coeficientes  $C_{saw}$ ).

TABELA XI. “PESOS” DOS CRITÉRIOS ASSOCIADOS A DETERMINADO SERVIÇO (CASO 4)

matriz A $a_{ij}$	parâmetros									C <sub>saw</sub>
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
UMTS	0,019	0,021	0,021	0,007	0,000	0,028	0,012	0,238	0,024	<b>0,370</b>
WLAN-0	0,238	0,014	0,007	0,004	0,015	0,055	0,029	0,198	0,238	<b>0,798</b>
WLAN-A1	0,238	0,008	0,007	0,004	0,015	0,044	0,019	0,159	0,048	<b>0,542</b>
WLAN-A2	0,219	0,009	0,008	0,004	0,154	0,044	0,029	0,185	0,119	<b>0,771</b>

#### IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A opção pela combinação de Entropia e SAW pode atender ao requisito de QoS, mas não garante o melhor QoS devido ao fato de o método da Entropia não considerar os requisitos de cada serviço (aplicação) ou preferências do usuário no cálculo dos “pesos”. Observando os resultados apresentados na Tabela VII, pode-se afirmar que essa combinação de métodos resulta sempre na rede WLAN-0 como a melhor opção, independentemente da demanda do usuário.

Em comparação aos resultados obtidos pelos autores em [1] (Tabela XII), nota-se que naquele trabalho os valores de decisão (coeficientes) obtidos para a mesma rede são diferentes em cada um dos casos simulados (caso 2\_1, caso 2\_2, caso 4). Em particular, observando os resultados do caso 4, a rede WLAN-A2 obteve o melhor QoS.

TABELA XII. RESULTADOS DO AHP+GRA [1]

CASO		parâmetros normalizados									GRC
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
CASO 2_1	UMTS	0	1	1	1	0	0	0	1	0	<b>0,654</b>
	WLAN-0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	<b>0,680</b>
CASO 2_2	UMTS	0	1	1	1	0	0	0	1	0	<b>0,543</b>
	WLAN-0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	<b>0,864</b>
CASO 4	UMTS	0	1	1	1	0	0	0	1	0	<b>0,668</b>
	WLAN-A1	1	0	0	0	0,99	0,75	0,667	0	0,625	<b>0,714</b>
	WLAN-A2	0,913	0,167	0,1	0	1	1	1	0,333	1	<b>0,818</b>

Dessa forma, o objetivo de selecionar a rede que pudesse oferecer a melhor qualidade de serviço (QoS) disponível para o usuário não foi alcançado totalmente com o uso da Entropia nos casos em estudo. Outro detalhe foi que esse método ofereceu a restrição de não aceitar valor nulo (zero) nos cálculos dos “pesos” para os critérios.

Com a outra implementação (o AHP e o SAW) foi possível utilizar a mesma normalização feita em [1] (normalização ideal) e aproveitar os “pesos” resultantes da aplicação do AHP naquele trabalho. Nessa nova configuração, os resultados (Tabelas IX, X e XI) mostraram uma variação no valor de decisão obtido para cada caso: nos casos 2\_1 e 2\_2 a rede selecionada foi a WLAN-0; e no caso 4, a rede WLAN-A2.

Comparando os resultados obtidos com os do trabalho de referência [1] (Tabela VII), é possível afirmar que as redes selecionadas foram as mesmas nos três casos. Porém, a diferença entre os valores de decisão das redes selecionadas

perante as demais foi maior na proposta deste artigo (combinação do AHP com o SAW) (figura 3).

E essa diferença maior é uma vantagem para a 4ª etapa (Figura 2), evitando mudanças frequentes entre as redes devido a pequenas variações nos valores dos parâmetros. O *handover* (VHO) em redes sem fio gera um atraso (“custo”) indesejado para qualquer tipo de serviço de comunicação [15] e, dessa forma, quanto maior a diferença entre as redes avaliadas, mais imune a variações torna-se a conexão (Figura 3).

Diferenças entre os valores de decisão

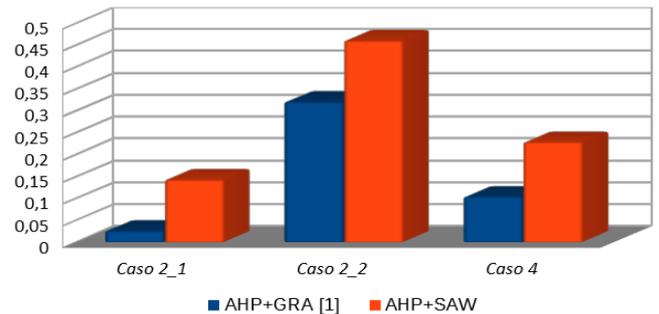


Fig. 3. Diferenças entre os valores de decisão.

Ainda analisando as Tabelas IX, X e XI; como o problema envolve redes que podem ter variação no alcance (redes sem fio), foi proposta a comparação de todas as redes em todos os cenários, mesmo em locais onde algumas das redes não estavam disponíveis nos casos propostos em [1]. Com isso, foi observado que há redes com valores maiores de QoS se comparados aos das redes selecionadas. Por exemplo: no caso 4, a rede com maior coeficiente foi a WLAN-0, mas não oferecia cobertura no local da demanda do usuário. Isso sugere uma análise de possibilidades para melhoria no QoS disponível – ou com um estudo de viabilidade de ampliação da área de cobertura da rede WLAN-0 ou ainda verificando quais os parâmetros da rede selecionada deveriam ser alterados para atingir o mesmo QoS da WLAN-0. Essas informações são úteis para os gestores do sistema que podem implementar modificações e alcançar níveis maiores de QoS para os usuários.

As duas possibilidades de aumento no QoS (ampliação de cobertura ou alteração de parâmetros) também poderiam ser úteis ao próprio usuário, caso tivesse conhecimento e meios para realizar essas alterações.

Observando as tabelas de resultados, há possibilidade de aumento do QoS no caso 2\_2 (na troca da rede WLAN-0 pela WLAN-A2) e no caso 4 (na troca da rede WLAN-A2 pela WLAN-0).

#### V. CONCLUSÕES

A aplicação do método SAW combinado ao da Entropia e depois ao AHP permitiu extrair informações de seleção das redes pré-definidas nos três casos estudados. Ambas as combinações resultaram na sugestão das redes WLAN-0, WLAN-0 e WLAN-A2 para os casos 2\_1, 2\_2 e 4 respectivamente, considerando os alcances originais das redes descritas no artigo de referência [1].

Porém, foram observados dois óbices na aplicação do método da Entropia: o primeiro foi o cálculo de critérios com valor nulo e o segundo, a impossibilidade de representar mudanças em critérios objetivos (características dos serviços) ou subjetivos (preferências do usuário) no cálculo do melhor QoS.

A combinação dos métodos AHP e SAW conseguiu obter os resultados compatíveis com os de [1] considerando as demandas dos aplicativos e do usuário. Portanto, foi a combinação mais adequada para a seleção de redes considerando todos os critérios de cada caso estudado.

As diferenças relativamente maiores entre os coeficientes de decisão da rede selecionada perante as demais, obtidas com a combinação do AHP e SAW (e a normalização ideal), quando comparadas às obtidas em [1], facilitam a seleção da melhor rede e deixam a seleção mais imune a pequenas variações nos parâmetros das redes. Assim, diminui a possibilidade de aumento no número de *handover* e dos atrasos indesejados decorrentes dessas comutações entre as redes.

Com a abordagem de usar todas as redes no cálculo dos valores de decisão em todos os casos simulados, foi possível analisar o QoS de forma abrangente e identificar se em algum cenário haveria interesse em estender a cobertura de alguma das redes ou melhorar o QoS da rede selecionada atuando nos parâmetros da rede – uma forma de gestão no sistema para aumento do QoS para os usuários.

Assim, pode-se afirmar que em casos semelhantes aos estudados, é possível extrair informações de gestão para o sistema com a aplicação do método SAW e utilizar esses dados com objetivo de melhorar o QoS oferecido aos usuários.

Como sugestões de pesquisas futuras, pode-se avaliar a combinação de outros métodos multicritério que já foram sugeridas em outros trabalhos exclusivamente para a seleção de redes [2][3] também para gestão do sistema (em relação ao QoS) e avaliar o impacto da alteração dos requisitos de determinado serviço que causem uma mudança na seleção das redes (uma análise de sensibilidade), tanto na combinação do AHP com GRA [1] quanto na combinação do AHP com SAW proposta neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Q. Song, A. Jamalipour, "Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques", *IEEE wireless communications*, v. 12, n. 3, p. 42-48, 2005.
- [2] E. Obayiuwana, O. E. Falowo, "Network selection in heterogeneous wireless networks using multi-criteria decision-making algorithms: a review", *Wireless Networks*, v. 23, n. 8, p. 2617-2649, 2017.
- [3] L. Wang, G.-S. Kuo, "Mathematical modeling for network selection in heterogeneous wireless networks - A tutorial", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v.15, n.1, p.271-292, 2013.
- [4] Q.-T. Nguyen-vuong, Y. Ghamri-doudane, N. Agoulmine. "On utility models for access network selection in wireless heterogeneous networks", In: *NOMS 2008-2008 IEEE Network Operations and Management Symposium*, p. 144-151. IEEE, 2008.
- [5] M. Lahby; S. Baghla, A. Sekkaki, "Survey and comparison of MADM methods for network selection access in heterogeneous networks", In: *2015 7th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, p. 1-6. IEEE, 2015.
- [6] M. Lahby, A. Attioui, A. Sekkaki, "An optimized vertical handover approach based on M-ANP and TOPSIS in heterogeneous wireless networks." In *International Symposium on Ubiquitous Networking*. Springer, Singapore. pp. 15-29. 2016.
- [7] L. Wang, D. Binet, "MADM-based network selection in heterogeneous wireless networks: A simulation study", In: *2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology*, p. 559-564. IEEE, 2009.
- [8] M. Mansouri, C. Leghris, "The use of MADM methods in the vertical handover decision making context", In: *2017 International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*, p. 1-6. IEEE, 2017.
- [9] A. F. Almutairi, M. A. Landolsi, H. Q. Al-mashmoum, "Performance of different weighting techniques with DIA MADM method in heterogeneous wireless networks", In: *2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, p. 921-925. IEEE, 2016.
- [10] H.-W. Yu, B. Zhang, "A heterogeneous network selection algorithm based on network attribute and user preference", *Ad Hoc Networks*, v. 72, p. 68-80, 2018.
- [11] A. Ishizaka, P. Nemery, "Multi-criteria decision analysis: methods and software", John Wiley & Sons, 2013.
- [12] W. Zhang, "Handover decision using fuzzy MADM in heterogeneous networks", In: *2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE Cat. No. 04TH8733)*, p. 653-658. 2004.
- [13] Y. K. Salih et al, "A user-centric game selection model based on user preferences for the selection of the best heterogeneous wireless network", *Annals of telecommunications-Annales des télécommunications*, v. 70, n. 5-6, p. 239-248, 2015.
- [14] J. D. M. Morales, U. P. Rico, E. S. Navarro "Performance comparison between MADM algorithms for vertical handoff in 4G networks", In: *2010 7th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control*, IEEE, p. 309-314. 2010.
- [15] P. Goyal, D. K. Lobiyal, C. P. Katti, "Vertical handoff in heterogeneous wireless networks: A tutorial", In: *2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, IEEE, p. 551-566, 2017.
- [16] R. K. Goyal, S. Kaushal, A. K. Sangaiah, "The utility based non-linear fuzzy AHP optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks", *Applied Soft Computing*, v. 67, p. 800-811, 2018.
- [17] E. M. Malathy, V. Muthuswamy, "State of art: vertical handover decision schemes in next-generation wireless network", *Journal of Communications and Information Networks*, v. 3, n. 1, p. 43-52, 2018.
- [18] P. Goodwin, G. Wright, "Decision Analysis for Management Judgment", 5th ed. John Wiley and sons, 2014.
- [19] G. Montibeller, A. Franco, "Multi-criteria decision analysis for strategic decision making", In: *Handbook of multicriteria analysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 25-48, 2010.
- [20] M. Velasquez, P. T. Hester, "An analysis of multi-criteria decision making methods", *International Journal of Operations Research*, v. 10, n. 2, p. 56-66, 2013.
- [21] J. Rosenhead, "Past, present and future of problem structuring methods", *Journal of the operational research society*, v. 57, n. 7, p. 759-765, 2006.
- [22] C.-L. Hwang, K. Yoon, "Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey", Springer Science & Business Media, 2012.
- [23] Z.-H. Zou, Y. Yi, J.-N. Sun. "Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment", *Journal of Environmental sciences*, v. 18, n. 5, p. 1020-1023, 2006.
- [24] S. Liu et al, "A summary on the research of GRA models", *Grey Systems: Theory and Application*, v. 3, n. 1, p. 7-15, 2013.
- [25] J. Chen et al, "QoE-aware intelligent vertical handoff scheme over heterogeneous wireless access networks", *IEEE Access*, v. 6, p. 38285-38293, 2018.