



**SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS  
DE APOIO À DECISÃO**

**VINÍCIUS DE MIRANDA RIOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS  
DE APOIO À DECISÃO**

**VINÍCIUS DE MIRANDA RIOS**

**Orientador: PROF. DR. PAULO ROBERTO DE LIRA GONDIM, ENE/UNB**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO PPGENE.DM - 471/12  
BRASÍLIA-DF, 14 DE FEVEREIRO DE 2012.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS  
DE APOIO À DECISÃO**

**VINÍCIUS DE MIRANDA RIOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

**APROVADA POR:**

Prof. Dr. Paulo Roberto de Lira Gondim, ENE/UnB  
Orientador

Prof. Dr. Paulo Henrique Portela de Carvalho, ENE/UnB  
Examinador interno

Prof. Dr. Joel José Puga Coelho Rodrigues, UBI/PT  
Examinador externo

**BRASÍLIA, 14 DE FEVEREIRO DE 2012.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

VINÍCIUS DE MIRANDA RIOS

**SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS DE APOIO À DECISÃO**

**2012xv, 109p., 201x297 mm**

(ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2012)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

VINÍCIUS DE MIRANDA RIOS (2012) SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS DE APOIO À DECISÃO. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação 471/12, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 109p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Vinícius de Miranda Rios

TÍTULO: SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS DE APOIO À DECISÃO.

GRAU: Mestre ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de Mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Vinícius de Miranda Rios

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. CEP.: 70910-900, Brasília - DF - Brasil.

# Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus pelas oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por ter me concedido conhecer pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido fases difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado. Toda honra e toda glória a Deus nosso Senhor.

A meus pais Rui Adelino Rodrigues Rios e Míriam Lúcia Miranda Rios, por terem me fornecido condições para me tornar o profissional e Homem que sou. A minha avó Maria Luiza de Pina Rios, ao meu irmão Rui Felipe de Miranda Rios e toda a minha família por todo apoio, fé e perseverança dados a mim nesta jornada.

Agradecer também a Fundação Universidade do Tocantins (UNITINS) em nome dos coordenadores Igor Yepes e Luciane Fraga, a Faculdade Católica do Tocantins (FACTO) em nome dos coordenadores Claudio de Castro Monteiro e Alex Coelho, além da ex-diretora Ana Beatriz Pretto por todo apoio financeiro e logístico fornecido. A todo o colegiado de Sistemas de Informação destas duas instituições por momentos de alegria e convivência saudável todos esses anos e principalmente em prontamente me substituir em esta ou aquela disciplina ocasionando sobrecarga em suas já pesadas jornadas de trabalho.

Meus agradecimentos sinceros e profundos a Mirelle Soares Milhomens, Lorena Siqueira, Sabrina Barros, Arthur Passos, Cynara Costa e João Ricardo por prontamente ouvirem minhas lamentações nos momentos de angústia e desespero das incertezas do mestrado.

Também agradecer a Diretoria de Tecnologia da Informação da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins em nome do Diretor Alex Lima Siqueira Campos, por toda compreensão quanto às minhas necessidades em virtude do mestrado, além do apoio financeiro e logístico fornecidos. Aos meus colegas de trabalho (em ordem alfabética) Edivano, Juscelino, Sani, Saulo, Bruno e Victor Hugo, pelos momentos de alegria e convivência saudável.

Agradecer a todo o pessoal do LabTVDI (em ordem alfabética) Helder Cleber Pereira de Almeida, Leandro Vaguetti, Manoel Campos e Vanice Cunha, além do pessoal do LabRedes (em ordem alfabética) Adriana, Diego, Kelly, Wandemberg Oliveira e Wesley Gongora, que tornaram esta jornada menos cansativa e mais divertida.

Meus agradecimentos aos meus grandes e inestimáveis amigos, dos quais tenho profunda

admiração, carinho e respeito, Igor Yepes, Alex Coelho e Claudio de Castro Monteiro por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos me dando força e incentivos em seguir adiante. Ao Claudio, devo destacar toda a ajuda fornecida nesta dissertação, dando contribuições muito relevantes neste trabalho, além do conhecimento repassado sobre o tema.

Ao meu orientador, Paulo Roberto de Lira Gondim, o meu muito obrigado pelo aceite no mestrado e por todo conhecimento e orientação dada ao longo desses anos, acrescentando muito em minha vida acadêmica.

# Resumo

A coexistência de redes de acesso heterogêneas na próxima geração de redes sem fio traz consigo uma diversidade de parâmetros de rede, que influenciará diretamente nos quesitos da aplicação do usuário, quando este se deslocar da rede em que se encontra para outra de tecnologia diferente (*wi-fi* (*Wireless Fidelity*) para 3G, por exemplo). Sendo assim, o dispositivo, antes de executar o *handover*, necessitará de uma lista de redes de acesso, classificadas de acordo com a necessidade da aplicação em uso, seja ela de dados, voz ou imagem.

Para que a execução do *handover* aconteça de forma adequada, deve-se priorizar a seleção de rede, parte integrante e fundamental do gerenciamento do *handover*, o qual envolve a troca entre pontos de acesso pelo terminal móvel, de forma que os serviços prestados pela rede possam ser continuados com qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) compatível com os requisitos associados aos mesmos, preferencialmente sem qualquer interrupção.

Para resolver este problema de seleção de rede, técnicas e estratégias de apoio à decisão são encontradas na literatura, como lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos e métodos MADM (*Multiple Attribute Decision Making*), os quais serão apresentados e exemplificados de forma detalhada neste trabalho.

A partir dos estudos das técnicas acima citadas para resolver o problema de escolher a melhor rede de acesso, entre as disponíveis no ambiente, foram criadas três propostas: a primeira se baseando somente na técnica de lógica *fuzzy*; a segunda se baseando na combinação da técnica de lógica *fuzzy* com dois métodos de tomada de decisão, AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e GRA (*Grey Relation Analysis*); e a terceira se baseando somente nos métodos AHP e GRA.

# Abstract

The coexistence of heterogeneous access networks in the next generation of wireless networks brings a variety of network parameters, which will impact directly on questions of the user's application, when it moves from the network it is to another of different technology (Wi-Fi (Wireless Fidelity) for 3G, for example). Thus, before executing the handover, the device will need a list of access networks, classified according to the needs of the application in use, whether it is data, voice or image.

In order to execute the handover properly, network selection should be prioritized, an integrating and fundamental part of managing the handover, which involves switching between access points by the terminal, so that the services provided by network can be continued with compatible quality of service (QoS) with the requirements associated with them, preferably without any interruption.

To solve this problem of network selection, support techniques and strategies for decision are found in the literature, such as fuzzy logic, genetic algorithms and MADM (Multiple Attribute Decision Making) methods, which will be presented and illustrated in detail in this paper.

From studies of the techniques mentioned above to solve the problem of choosing the best access network, including those available in the environment, three proposals were presented: one is based only on the technique of fuzzy logic; the other is based on the combination of fuzzy logic technique with two methods of decision making, AHP (Analytic Hierarchy Process) and GRA (Grey Relation Analysis); and the third is based on the methods AHP and GRA.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVAÇÃO	2
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.3	OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3.1	GERAL	2
1.3.2	ESPECÍFICOS	3
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
<b>2</b>	<b>SELEÇÃO DE REDE</b>	<b>4</b>
2.1	INTRODUÇÃO	4
2.2	TÉCNICAS DE SELEÇÃO DE REDES	4
2.2.1	ALGORITMO GENÉTICO	4
2.2.2	MÉTODOS MADM	8
2.2.3	LÓGICA <i>Fuzzy</i>	20
2.3	TRABALHOS RELACIONADOS	25
2.4	CONCLUSÃO	30
<b>3</b>	<b>PROPOSTAS</b>	<b>31</b>
3.1	PROPOSTA 1 - SELEÇÃO DE REDE USANDO LÓGICA <i>Fuzzy</i>	31
3.1.1	COLETOR	32
3.1.2	PROCESSADOR	33
3.1.3	DECISOR	35
3.2	PROPOSTA 2 - SELEÇÃO DE REDE USANDO LÓGICA <i>Fuzzy</i> , AHP E GRA	37
3.2.1	COLETOR	40
3.2.2	PROCESSADOR	40
3.2.3	DECISOR	41
3.3	PROPOSTA 3 - SELEÇÃO DE REDE USANDO AHP E GRA	43
3.3.1	COLETOR	43
3.3.2	PROCESSADOR	43
3.3.3	DECISOR	44
3.3.4	CONCLUSÃO	46
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>47</b>

4.1	EXPERIMENTOS SEM MOBILIDADE .....	47
4.2	EXPERIMENTOS COM MOBILIDADE.....	49
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
5.1	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS SEM MOBILIDADE .....	52
5.1.1	AMBIENTE SEM TRÁFEGO CONCORRENTE .....	52
5.1.2	AMBIENTE COM TRÁFEGO CONCORRENTE MODERADO .....	55
5.1.3	AMBIENTE COM TRÁFEGO CONCORRENTE MUITO ELEVADO .....	61
5.2	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS COM MOBILIDADE.....	67
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>70</b>
6.1	CONCLUSÕES.....	70
6.2	TRABALHOS FUTUROS .....	71
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO I.....</b>	<b>75</b>

# LISTA DE FIGURAS

2.1	Esquema de um algoritmo genético (adaptado de [Linden 2008]).	5
2.2	Seleção por roleta.	7
2.3	<i>Crossover</i> de um ponto.	8
2.4	Mutação.	8
2.5	Estrutura de uma hierarquia AHP.	10
2.6	Representação de um sistema especialista <i>fuzzy</i> [Radhika and Reddy 2011].	21
2.7	Representação de unidades numéricas em termos linguísticos.	22
2.8	Representação gráfica das funções de pertinência.	22
2.9	Interpretação dos dados nos subconjuntos das funções de pertinência.	23
2.10	Representação do raciocínio <i>fuzzy</i> de Mamdani [Weber and Klein 2003].	24
3.1	Arquitetura da proposta 1 utilizando somente lógica <i>fuzzy</i> .	31
3.2	Arquivo com a coleta das requisições ICMP.	32
3.3	Fuzzificação.	33
3.4	Base de Regras	34
3.5	Defuzzificação	35
3.6	Arquitetura da proposta 2 utilizando lógica <i>fuzzy</i> , AHP e GRA.	40
3.7	Arquitetura da proposta 3 utilizando os métodos AHP e GRA.	43
4.1	Representação da estrutura do cenário de testes sem mobilidade.	48
4.2	Representação da estrutura do cenário de testes com mobilidade.	50
4.3	Trajetória do móvel.	51
5.1	Ambiente sem tráfego concorrente.	54
5.2	Ambiente com tráfego concorrente moderado na rede WLAN 1.	56
5.3	Ambiente com tráfego concorrente moderado na rede WLAN 2.	58
5.4	Ambiente com tráfego concorrente moderado nas redes WLAN 1 e WLAN 2.	60
5.5	Ambiente com tráfego concorrente muito elevado na rede WLAN 1.	62
5.6	Ambiente com tráfego concorrente muito elevado na rede WLAN 2.	64
5.7	Ambiente com tráfego concorrente muito elevado nas redes WLAN1 e WLAN2.	66
5.8	Seleção da melhor rede em ambiente com mobilidade.	68

# LISTA DE TABELAS

2.1	Escala de importância dos critérios. ....	10
2.2	Escala de importância AHP à luz do critério <i>delay</i> .....	10
2.3	Somatório de cada elemento das colunas das alternativas. ....	11
2.4	Divisão de cada elemento pelo somatório da coluna. ....	11
2.5	Gerando as PMLs dos critérios.....	11
2.6	Escala de importância AHP à luz do foco principal.....	11
2.7	Gerando as PGs das alternativas. ....	12
2.8	Matriz auxiliar $M'$ .....	12
2.9	Somatório da matriz $M'$ .....	13
2.10	Geração do vetor $P''$ .....	13
2.11	Índices de consistência Randômicos (IR) [Wei et al. 2007].....	13
2.12	Valores coletados dos critérios das redes UMTS e WLAN.....	15
2.13	Normalização dos dados. ....	15
2.14	Aplicação dos pesos no somatório final. ....	15
2.15	Valores dos critérios das redes UMTS e WLAN.....	15
2.16	Normalização dos critérios das redes UMTS e WLAN. ....	16
2.17	Normalização ponderada das redes UMTS e WLAN.....	16
2.18	Soluções ideais positiva e negativa das redes UMTS e WLAN. ....	16
2.19	Soluções das distâncias ideais positiva e negativa das redes UMTS e WLAN. .	17
2.20	Aproximação com as soluções ideais positiva e negativa. ....	17
2.21	Valores dos critérios das redes UMTS e WLAN.....	18
2.22	Valores normalizados dos critérios das redes UMTS e WLAN. ....	18
2.23	Valores dos critérios das redes UMTS e WLAN.....	19
2.24	Valores normalizados dos critérios das redes UMTS e WLAN. ....	19
2.25	Coefficientes relacionais dos critérios das redes UMTS e WLAN. ....	19
2.26	Grau de relacionamento das redes UMTS e WLAN. ....	20
2.27	Quadro comparativo dos trabalhos relacionados à lógica <i>fuzzy</i> e métodos MADM com as nossas propostas. ....	29
3.1	Escala de importância AHP. ....	38
3.2	Somatório dos valores da escala de importância AHP.....	38
3.3	Geração das PMLs de cada critério. ....	38
3.4	Geração das PMLs de cada critério. ....	39

3.5	Geração do vetor PML' . . . . .	39
3.6	Geração do vetor PML" . . . . .	39
4.1	Lista de <i>software</i> e <i>hardware</i> usados no cenário para os experimentos. . . . .	48
4.2	Lista de <i>software</i> e <i>hardware</i> usados no cenário para os experimentos. . . . .	50
5.1	Dados Coletados sem tráfego concorrente. . . . .	53
5.2	Dados Coletados com tráfego moderado na rede WLAN1. . . . .	55
5.3	Dados Coletados com tráfego moderado na rede WLAN2. . . . .	57
5.4	Dados Coletados com tráfego moderado na redes WLAN1 e WLAN2. . . . .	59
5.5	Dados Coletados com tráfego muito elevado na rede WLAN1. . . . .	61
5.6	Dados Coletados com tráfego muito elevado na rede WLAN2. . . . .	63
5.7	Dados Coletados com tráfego muito elevado nas redes WLAN1 e WLAN2. . . . .	65
5.8	Dados Coletados em ambiente com mobilidade. . . . .	68

# LISTA DE CÓDIGOS FONTE

3.1	Coletor .....	32
3.2	Processador .....	35
3.3	Decisor .....	36
3.4	Principal .....	37
3.5	Processador .....	41
3.6	Decisor .....	41
3.7	Principal .....	42
3.8	Processador .....	44
3.9	Decisor .....	44
3.10	Principal .....	45

# SIGLAS

AAA	Authentication, Authorization and Accounting
ABC	Always Best Connected
AHP	Analytic Hierarchy Process
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Correspondent Node
CoA	Care-of-Address
FA	Foreign Agent
FN	Foreign Network
FTP	File Transfer Protocol
FVH-HMIPv6	Fast Vertical Handover-Hierarchical Mobile IPv6
GPRS	General Packet Radio Service
GRA	Grey Relation Analysis
HA	Home Address
HA	Home Agent
HN	Home Network
ICMP	Internet Control Message Protocol
IP	Internet Protocol
ipfw	ipfirewall
MADM	Multiple Attribute Decision Making
MAP	Mobility Anchor Points
MEW	Multiplicative Exponential Weight

MIIS	Media Independent Information Services
MIP	Mobile Internet Protocol
MMC	Mobility Management Client
MMS	Mobility Management Server
MN	Mobile Node
NGMN	Next Generation Mobile Networks
PDA	Personal Digital Assistant
QoS	Quality of Service
RSS	Received Signal Strength
RTT	Round Trip Time
SAW	Simple Additive Weighting
SBC	Session Border Controller
SIP	Session Initiation Protocol
SMART	Simple Multiattribute Rating Technique
TDMA	Time Division Multiple Access
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URI	Uniform Resource Identifiers
USB	Universal Serial Bus
VHO	Vertical Handover
VOD	Video On Demand
VoIP	Voice over IP
wi-fi	wireless fidelity
WiMAX	Worldwide interoperability for Microwave Access

WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WPM	Weighted Product Method
WWAN	Wireless Wide Area Network

# Dicionário de Variáveis

Variável	Significado
$IC$	Índice de Consistência
$\lambda_{max}$	Maior auto-valor da matriz de julgamentos
$RC$	Razão de Consistência
$IR$	Índice de consistência Randômico
$w_j$	peso dos critérios
$v_{ij}$	número de alternativas com os valores dos critérios a serem medidos
$c_{ij}$	valores dos critérios
$c_j^{min}$	valor mínimo dos critérios
$c_j^{max}$	valor máximo dos critérios
$x_{ij}$	valores dos critérios a serem medidos
$r_{ij}$	valores normalizados da tabela
$S^+$	seleciona os maiores valores de cada critério
$S^-$	seleciona os menores valores de cada critério
$D^+$	seleciona as maiores distâncias em relação a ideal positiva
$D^-$	seleciona as menores distâncias em relação a ideal negativa
$max(x_i^{(0)}(k))$	maior valor da coluna da matriz
$min(x_i^{(0)}(k))$	menor valor da coluna da matriz
$x_i^{(0)}$	o valor contido na matriz
$x_0$	é o valor padrão, ou seja, 1
$\mu_{saida}(u_i)$	indica os pontos em que ocorrem os máximos da função de pertinência

# Capítulo 1

## Introdução

Com o surgimento das redes sem fios, os usuários tornaram-se móveis, podendo transitar entre as várias tecnologias disponíveis no ambiente em que se encontram. Esta mobilidade trouxe alguns desafios como [Kassar et al. 2008]: escolher a melhor rede de acesso, dar continuidade de sessão à transmissão de dados e permitir ao usuário móvel estar sempre melhor conectado em qualquer lugar, a qualquer hora na melhor rede de acesso disponível (concepção ABC - *Always Best Connected*).

Neste sentido, as redes sem fio de quarta geração (4G) tem como foco a livre movimentação de usuários entre redes heterogêneas, através de terminais móveis (*Notebooks*, *Netbooks*, PDAs (*Personal Digital Assistant*), celulares etc.) com interfaces de rede de diferentes tecnologias (WWAN (*Wireless Wide Area Network*), WLAN (*Wireless Local Area Network*), WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) etc.), permitindo acesso contínuo a serviços de tempo real ou não, objetivando sempre a continuidade do serviço.

Manter o serviço ativo na mudança entre redes de acesso é controlado por uma das partes do gerenciamento de mobilidade denominado de *handover* [Singhrova and Prakash 2009]. O *handover* tem como função controlar as trocas entre pontos de acesso pelos usuários, durante uma transmissão de dados [Kassar et al. 2008].

O *handover* pode ser classificado em dois tipos [Ciccarese et al. 2009]: horizontal e vertical. O *handover* horizontal tem por finalidade gerenciar a mudança entre tecnologias de redes similares (por exemplo, de *wi-fi* para *wi-fi*), durante uma transmissão de dados, onde neste caso, apenas a perda de sinal é a motivação para a troca dos pontos de acesso. Ao passo que o *handover* vertical tem como objetivo gerenciar a mudança entre tecnologias de acesso diferentes (por exemplo, de *wi-fi* para 3G), durante uma transmissão de dados, onde, neste caso, o uso de aplicações preferenciais que necessitam de determinados limiares para cada requisito de QoS ou as preferências do usuário, são os motivadores para a troca entre os pontos de acesso [Stevens-Navarro and Wong 2006].

Esta troca de redes de acesso, acontece em três passos distintos, que são [Singhrova and Prakash 2009]:

- a descoberta das redes no ambiente em que o dispositivo móvel se encontra;
- as abordagens para a tomada de decisão/seleção da melhor rede de acesso disponível;
- a execução da mudança dos pontos de acesso.

Portanto, como parte integrante e indispensável do gerenciamento de *handover*, a seleção de rede visa disponibilizar, ao usuário móvel, o ponto de acesso com as melhores condições de tráfego, permitindo que suas aplicações, sejam de voz, dados ou vídeo, possam ser transmitidas com a qualidade necessária da origem ao destino.

## 1.1 Motivação

A necessidade de mobilidade e de acesso ubíquo é um grande obstáculo a ser superado pelas redes 4G. Tornar os serviços sempre disponíveis é um dos problemas mais desafiadores em um ambiente de redes heterogêneas, exigindo melhorias na forma como o dispositivo móvel classifica e escolhe o seu ponto de acesso. Portanto tomar a melhor decisão de *handover* baseado na escolha do processo de seleção de rede é um fator importante na continuidade de forma transparente da transmissão de dados pelo terminal móvel.

## 1.2 Caracterização do problema

A escolha da melhor rede de acesso em um ambiente de tecnologias heterogêneas tem caracterizado a fase de seleção de rede dentro do gerenciamento de *handover*, como um grande obstáculo a ser superado pelas NGMN (*Next Generation Mobile Networks*), visto que irá afetar diretamente alguns aspectos inerentes à QoS do ponto de acesso selecionado, visando dar as melhores condições de conexão às transmissões do usuário.

Este fato é bastante relevante, visto que uma rede selecionada como ótima em um dado instante pode não ter seus recursos disponíveis e alocados para um novo dispositivo ou mesmo em um outro instante para um mesmo móvel.

## 1.3 Objetivos do Trabalho

### 1.3.1 Geral

Classificar e priorizar a melhor rede entre as disponíveis no ambiente, pela construção de um ou mais programas integrados com base em técnicas de inteligência artificial e de tomada de decisão, visando manter a qualidade de serviço da transmissão de dados do dispositivo móvel, bem como um preço acessível para o usuário.

### 1.3.2 Específicos

- Caracterizar o problema de *handover* vertical, verificando como a seleção de rede pode ser realizada;
- Pesquisar e entender as soluções já propostas para resolver o problema de classificação e seleção de rede através da junção de várias técnicas;
- Elaborar e apresentar propostas de técnicas de seleção de rede, com base em técnicas de apoio à decisão disponíveis na literatura;
- Criar um *testbed* em que os experimentos da pesquisa possam ser realizados, incluindo a construção de um ou mais aplicativos em *software* integrado.

## 1.4 Organização do trabalho

Esta dissertação se encontra organizada da seguinte forma:

- Capítulo 2 - apresenta um apanhado geral sobre as técnicas de seleção de redes;
- Capítulo 3 - descreve a metodologia que será utilizada, incluindo o *testbed*;
- Capítulo 4 - descreve as propostas utilizadas;
- Capítulo 5 - apresenta o que foi observado e analisado nos testes realizados no *testbed*, com base em métricas de desempenho;
- Capítulo 6 - expõe as conclusões e indica trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Seleção de Rede

### 2.1 Introdução

A seleção de rede, parte integrante e principal do gerenciamento do *handover*, é dividida em três blocos lógicos funcionais, que são [Bari and Leung 2007]: a coleta de dados, o processamento dos dados e a classificação das redes de acesso. Em geral, as estratégias e parâmetros de rede impactam diretamente na seleção de rede e podem ser divididos nas seguintes categorias [Bari and Leung 2007]:

- categoria 1 - inclui parâmetros que não são relacionados a qualidade de serviço, visto que não mudam frequentemente, como custo monetário, criptografia etc;
- categoria 2 - inclui parâmetros de qualidade de serviço muito utilizados, dinâmicos ou não, previstos na rede, como *jitter*, *delay*, perda de pacote, vazão etc.

Portanto, é uma fase muito importante no processo de gerenciamento do *handover*, visando identificar para o dispositivo móvel, mediante critérios, regras e políticas previamente estabelecidas, a melhor rede de acesso no ambiente. Esta seleção só será possível, caso haja uma boa escolha de técnicas que possam classificar estas redes de forma concisa e rápida. Portanto podem ser de vários tipos e formas, como será demonstrado ao longo deste capítulo.

### 2.2 Técnicas de Seleção de Redes

#### 2.2.1 Algoritmo Genético

É um ramo dos algoritmos evolucionários e, como tal, podem ser definidos como métodos de busca inspirados nos mecanismos de seleção natural como hereditariedade, cruzamento e mutação [Linden 2008]. São técnicas heurísticas de otimização e busca estocástica, ou seja,

combinam um mecanismo de valorização dos "melhores" indivíduos, com uma estrutura para combinar e "reproduzir" aleatoriamente estes indivíduos, criando um nova população [Rezende 2003].

Sendo assim, os algoritmos genéticos combinam a sobrevivência dos mais aptos com a troca de informação de uma forma estruturada, mas aleatória, entre indivíduos (cromossomos), tornando-a portanto uma técnica probabilística [Campos and Saito 2004].

Um algoritmo genético é composto dos seguintes componentes [Linden 2008], [Rezende 2003]:

- problema;
- população de cromossomos (possíveis soluções);
- processo de avaliação;
- processo de seleção;
- processo de mutação.
- processo de substituição.

A representação gráfica da estrutura de um algoritmo genético simples pode ser visualizado na Figura 2.1.

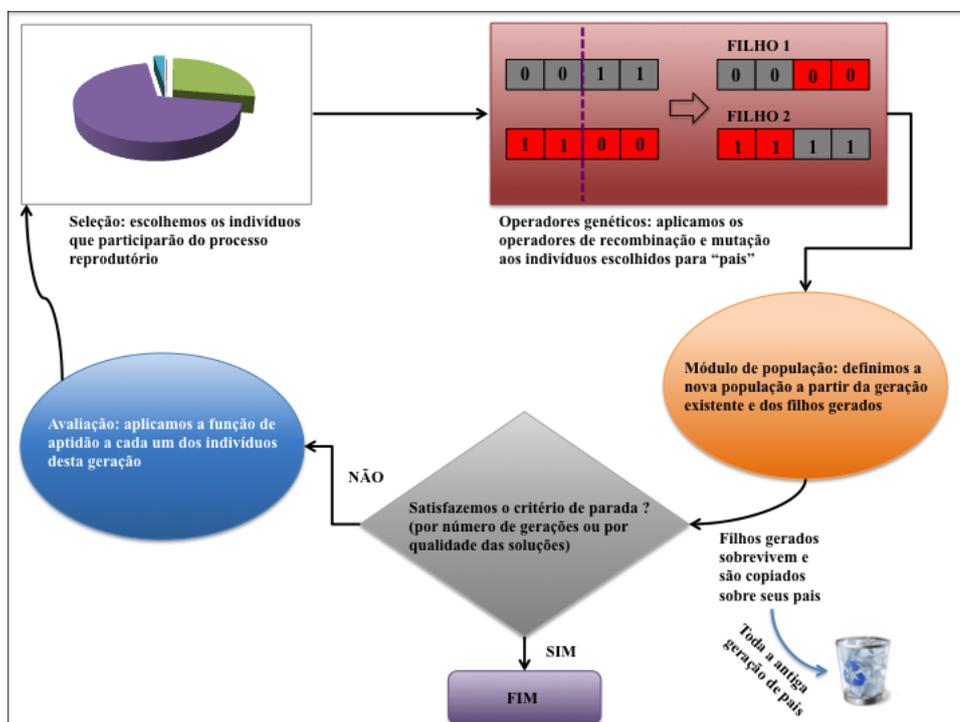


Figura 2.1: Esquema de um algoritmo genético (adaptado de [Linden 2008]).

O problema é algo a ser resolvido, ou seja, chegar a um determinado estado onde uma condição é satisfeita. Sabendo aonde se deseja chegar, é necessário gerar uma população

inicial composta de cromossomos que farão parte do processo de seleção de indivíduos para a reprodução.

O cromossomo, parte integrante e fundamental da população, pode ser estruturado de diversas formas, sendo elas do tipo real, símbolos ou o mais comum a ser utilizado, do tipo binário [Nkansah-Gyekye and Agbinya 2008]. Portanto, cada cromossomo pode ser visto como um ponto no espaço de busca das soluções candidatas, sendo assim, ao se trabalhar com um cromossomo, deve-se seguir algumas regras, que são [Linden 2008]:

- a representação deve ser a mais simples possível;
- se houver soluções proibidas ao problema, então elas não devem ter uma representação, ou no caso de geração de indivíduos não factíveis, estes devem ser tratados (manipulados) de forma a se enquadrarem no conjunto de possíveis soluções;
- se o problema impuser condições de algum tipo, estas devem estar implícitas dentro da representação.

Para cada cromossomo criado, deve-se então avaliá-lo para saber a qualidade deste indivíduo como solução para resolver o problema em questão. Para isto, a função de avaliação é utilizada com o objetivo de dar uma nota para o cromossomo, visando classificar cada indivíduo. Portanto, a função de avaliação deve ser elaborada tendo em vista o tipo de problema a ser resolvido [Rezende 2003].

Inicialmente, a função de avaliação se faz coincidir com o objetivo a maximizar, ou seja, se o cromossomo 1 é uma solução melhor do que o cromossomo 2, então a avaliação de 1 deve ser maior do que a avaliação de 2, isto sem esquecer que nem sempre é fácil especificar numericamente o objetivo.

### **2.2.1.1 Operadores genéticos**

São os operadores genéticos que transformam a população por meio de sucessivas gerações, ou seja, são necessários para que a população se diversifique e mantenha características de adaptação adquiridas pelas gerações anteriores, estendendo a busca até chegar a um resultado satisfatório [Linden 2008].

#### **Seleção de pais**

A ideia principal do operador de seleção em um algoritmo genético é simular o mecanismo de seleção natural, oferecendo aos melhores indivíduos da população corrente, preferência para o processo de reprodução [Campos and Saito 2004]. Os tipos estocásticos mais conhecidos são [Rezende 2003]:

- seleção por sorteio;

- seleção por restos;
- seleção por torneio;
- seleção por roleta.

Na seleção por roleta, cada indivíduo da população ganha um pedaço da roleta. Este pedaço, que representa a porcentagem do indivíduo no todo, é proporcional ao valor obtido pela função de avaliação. Desta forma, os indivíduos que possuem uma porcentagem maior, tendem a serem escolhidos em uma maior proporção [Rezende 2003]. A Figura 2.2 representa o método de seleção.

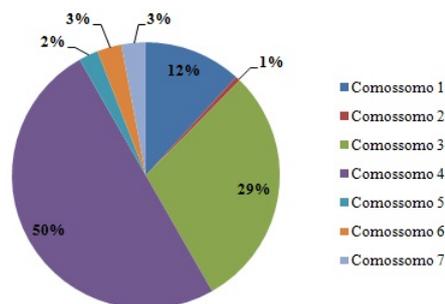


Figura 2.2: Seleção por roleta.

### **Cruzamento (*crossover*)**

É utilizado após a seleção dos pais e tem como objetivo a propagação das características dos indivíduos mais aptos da população por meio de troca de segmentos (informações) entre eles, o que dará origem a novos indivíduos [Alkhawlani and Ayesh 2008]. Os tipos mais conhecidos são [Linden 2008]:

- *crossover* de um ponto: o ponto de corte se encontra entre dois genes de um cromossomo, conforme pode ser visualizado na Figura 2.3;
- *crossover* de dois pontos: possui dois pontos de corte no cromossomo;
- *crossover* uniforme: Cada gene do descendente é criado copiando o gene correspondente de um dos pais, escolhido de acordo com uma máscara de cruzamento gerada aleatoriamente. Onde houver 1 na máscara de cruzamento, o gene correspondente será copiado do primeiro pai e, onde houver 0, será copiado do segundo.

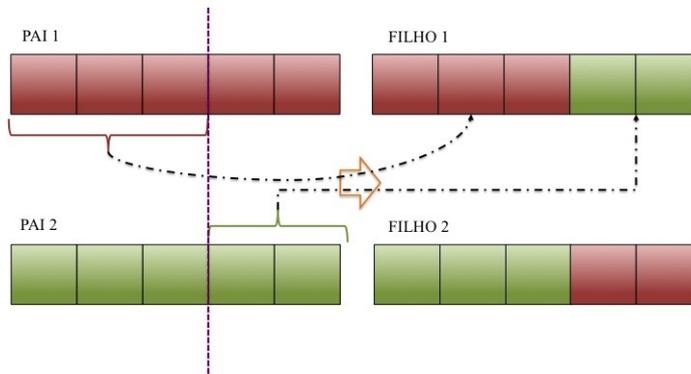


Figura 2.3: *Crossover* de um ponto.

## Mutação

A mutação é responsável pela introdução e manutenção aleatória da diversidade genética na população [Campos and Saito 2004]. Possui uma probabilidade muito baixa onde um número é sorteado, caso este número seja menor que a probabilidade estabelecida, então o gene irá sofrer um alteração contrária ao seu valor. A Figura 2.4 demonstra como acontece a mutação em um cromossomo do tipo binário.

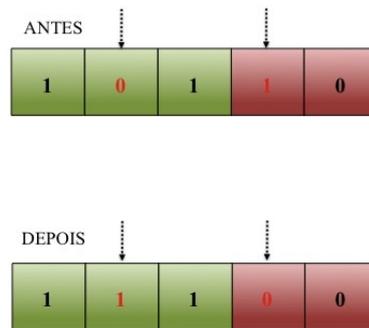


Figura 2.4: Mutação.

## Elitismo

É o nome do método que primeiro copia os  $n$  melhores cromossomos para a nova população, sem que estes "morram" com sua geração, passando para a próxima visando preservar os melhores indivíduos [Nkansah-Gyekye and Agbinya 2008].

### 2.2.2 Métodos MADM

Os métodos MADM (*Multiple Attribute Decision Making*), em um ambiente de redes sem fio, tem por finalidade, classificar as redes disponíveis na sua área de cobertura através de critérios previamente definidos, que possam ser usados para pontuá-las, gerando uma lista ordenada na forma crescente, dando várias opções de pontos de acesso ao usuário móvel.

Os métodos mais comuns são: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SAW (*Simple Additive Weighting*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), MEW (*Multiplicative Exponential Weight*) e GRA (*Grey Relation Analysis*).

### 2.2.2.1 AHP

O AHP é um método matemático de apoio à tomada de decisão, em um processo que considere diferentes critérios de avaliação, analisando problemas complexos e auxiliando a escolha da melhor solução através dos pesos dados aos critérios selecionados [Stevens-Navarro and Wong 2006]. Portanto, o AHP é dividido em quatro princípios, que são [Wei et al. 2007]:

- decompor o problema de decisão em diferentes níveis de hierarquia;
- comparar cada fator com todos os outros fatores dentro do mesmo nível da comparação em pares de matrizes;
- calcular o somatório dos pesos dos produtos obtidos de diferentes níveis e selecionar a solução com o maior somatório;
- avaliar o modelo de priorização construído quanto à sua consistência.

Após aplicar estes princípios, o AHP selecionará a alternativa com o maior peso. Para se ter uma melhor compreensão e avaliação do AHP, é necessário criar um modelo estruturado do problema em níveis hierárquicos, conforme pode ser visualizado na Figura 2.5. Sendo assim, o AHP decompõe o problema em um estrutura da seguinte forma:

- no topo se encontra o objetivo do problema;
- logo abaixo se encontram os critérios utilizados para solucionar o objetivo do problema;
- e no final se encontram as alternativas, das quais uma será selecionada como a melhor para o problema em questão.

Estabelecida a estrutura da hierarquia, é criada então uma matriz de dimensão  $n$  por  $n$ , onde  $n$  é a quantidade de critérios que serão usados para resolver o problema proposto. Assim, cada critério será comparado em relação ao outro, utilizando uma escala que vai de 1 a 9, permitindo que seja expressada a preferência do usuário em dar um maior valor a um critério do que a outro. A Tabela 2.1 a seguir identifica o nível de importância de cada número na escala [Costa 2002].

Os valores 2, 4, 6 e 8 são associados a julgamentos intermediários e utilizados somente quando se tem uma importância um pouco menor que na escala principal, entre os critérios avaliados [Wei et al. 2007]. Portanto, fazendo uma avaliação de uma aplicação de *stream* de

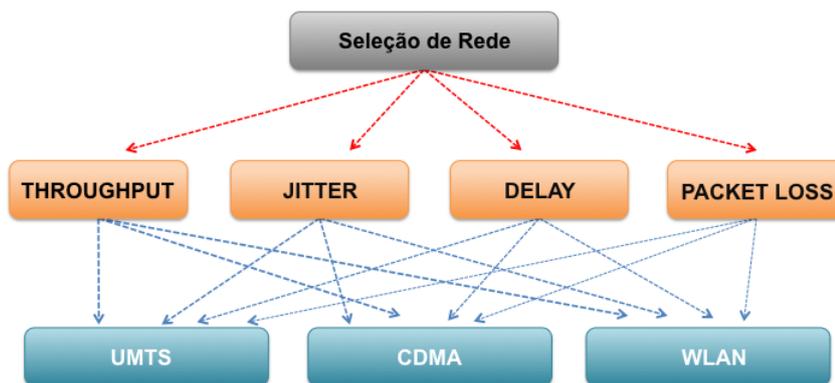


Figura 2.5: Estrutura de uma hierarquia AHP.

Tabela 2.1: Escala de importância dos critérios.

Escala Verbal	Escala Numérica
Igual preferência (importância)	1
Preferência (importância) moderada	3
Preferência (importância) forte	5
Preferência (importância) muito forte	7
Preferência (importância) absoluta	9

vídeo, utilizando os critérios de *jitter*, *delay*, *packet loss* e *throughput*, e sendo as alternativas os pontos de acesso do tipo UMTS, CDMA e WLAN, tem-se a Tabela 2.2.

Nota-se que os valores dados na escala de importância do AHP a cada critério se comportam de maneira recíproca [Wei et al. 2007], ou seja, se a alternativa UMTS tem uma preferência muito forte (7) em relação à alternativa WLAN, esta por sua vez será preferidamente muito forte (1/7) em relação à alternativa UMTS, à luz do critério *delay*. Acontecendo da mesma forma com os outros critérios.

Posteriormente à avaliação da importância de cada alternativa à luz do critério *delay*, é necessário que esses valores sejam normalizados. Para isso, os dois passos a serem feitos são: o somatório de cada coluna e em seguida a divisão de cada elemento pelo resultado obtido do somatório. As Tabelas 2.3 e 2.4 demonstram como isto ocorre [Costa 2002].

Tabela 2.2: Escala de importância AHP à luz do critério *delay*.

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN
UMTS	1	1	2
CDMA	1	1	1
WLAN	1/2	1	1

Tabela 2.3: Somatório de cada elemento das colunas das alternativas.

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN
UMTS	1	1	2
CDMA	1	1	1
WLAN	1/2	1	1
<b>somatório</b>	$1+1+(1/2)=2.5$	$1+1+1=3$	$2+1+1=4$

Tabela 2.4: Divisão de cada elemento pelo somatório da coluna.

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN
UMTS	$1/2.5=0.40$	$1/3=0.33$	$2/4=0.50$
CDMA	$1/2.5=0.40$	$1/3=0.33$	$1/4=0.25$
WLAN	$(1/2)/2.5=0.20$	$1/3=0.33$	$1/4=0.25$

Normalizados os dados, faz-se então o cálculo das PMLs (Prioridades Médias Locais) tirando-se a média dos dados (cada linha tem seus elementos somados e divididos pela sua quantidade), que tem como objetivo dar prioridade a cada alternativa à luz do critério *delay* [Costa 2002], conforme a Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Gerando as PMLs dos critérios.

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN	<b>PML</b>
UMTS	0.40	0.33	0.50	$(0.40+0.33+0.50)/3=0.41$
CDMA	0.40	0.33	0.25	$(0.40+0.33+0.25)/3=0.32$
WLAN	0.20	0.33	0.25	$(0.20+0.33+0.25)/3=0.26$

Obtidas as PMLs das alternativas à luz do critério *delay*, é então obtida a PML à luz do foco principal (seleção de rede), comparando cada critério entre si, conforme a Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Escala de importância AHP à luz do foco principal.

<b>Seleção de Rede</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>	<i>throughput</i>	<b>PML</b>
<i>delay</i>	1	1	1/5	7	<b>0.19</b>
<i>jitter</i>	1	1	1/5	3	<b>0.14</b>
<i>packet loss</i>	5	5	1	9	<b>0.62</b>
<i>throughput</i>	1/7	1/3	1/9	1	<b>0.05</b>

Identificado cada julgamento de cada critério à luz das alternativas, é preciso então criar uma Prioridade Global (PG) de cada alternativa à luz do foco principal [Saaty 1991], visando a classificação das redes e tendo como melhor rede aquela que possuir a maior pontuação. Portanto, será feito um somatório da multiplicação do valor de cada PML à luz de cada critério, pelo valor das PMLs à luz do foco principal [Costa 2002], como demonstrado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Gerando as PGs das alternativas.

<b>Seleção de Rede</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>	<i>throughput</i>	<b>PG</b>
UMTS	0.19x0.41= <b>0.07</b>	0.14x0.47= <b>0.07</b>	0.62x0.47= <b>0.29</b>	0.05x0.11= <b>0.01</b>	<b>0.44</b>
CDMA	0.19x0.32= <b>0.06</b>	0.14x0.50= <b>0.07</b>	0.62x0.41= <b>0.25</b>	0.05x0.11= <b>0.01</b>	<b>0.39</b>
WLAN	0.19x0.26= <b>0.04</b>	0.14x0.20= <b>0.03</b>	0.62x0.25= <b>0.16</b>	0.05x0.78= <b>0.04</b>	<b>0.27</b>

Portanto, observando a Tabela 2.7, a rede que melhor atende à necessidade de transmissão de dados de um usuário móvel, seria a rede UMTS, seguida das redes CDMA e WLAN. Apesar disto, é necessário provar a consistência dos julgamentos feitos pela escala AHP dada a cada critério à luz das alternativas e do foco principal, visto que, erros podem acontecer durante o processo de julgamento. Portanto, para se medir o grau de consistência de uma matriz de julgamentos, é necessário avaliar o quanto o maior auto-valor da matriz se afasta da ordem dela [Costa 2002]. A fórmula para o cálculo do Índice de Consistência, segundo Saaty [Saaty 1991] é:

$$IC = |(\lambda_{max} - N)| / (N - 1) \quad (2.1)$$

Onde  $N$  e  $\lambda_{max}$  representam, respectivamente, a ordem (tamanho) e o maior auto-valor da matriz de julgamentos. Para se calcular o  $\lambda_{max}$ , é preciso proceder da seguinte forma:

- multiplicar cada elemento da matriz pela sua PML correspondente, gerando uma matriz auxiliar  $M'$ , conforme Tabela 2.8;
- somar cada coluna da matriz  $M'$ , conforme Tabela 2.9;
- dividir o somatório de cada coluna da matriz  $M'$  pela sua PML correspondente, gerando um vetor  $P''$ , conforme Tabela 2.10;
- por fim, o  $\lambda_{max}$  é o resultado da soma dos elementos do vetor  $P''$  dividido pela quantidade de elementos da matriz.

Tabela 2.8: Matriz auxiliar  $M'$ .

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN
UMTS	1x0.41= <b>0.41</b>	1x0.32= <b>0.32</b>	2x0.26= <b>0.42</b>
CDMA	1x0.41= <b>0.41</b>	1x0.32= <b>0.32</b>	1x0.26= <b>0.26</b>
WLAN	(1/2)x0.41= <b>0.20</b>	1x0.32= <b>0.32</b>	1x0.26= <b>0.26</b>

Tabela 2.9: Somatório da matriz M'.

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN
UMTS	0.41	0.32	0.42
CDMA	0.41	0.32	0.26
WLAN	0.20	0.32	0.26
<b>somatório</b>	<b>0.41+0.41+0.20=1.02</b>	<b>0.32+0.32+0.32=0.96</b>	<b>0.42+0.26+0.26=0.94</b>

Tabela 2.10: Geração do vetor P''.

<i>delay</i>	UMTS	CDMA	WLAN
UMTS	0.41	0.32	0.42
CDMA	0.41	0.32	0.26
WLAN	0.20	0.32	0.26
<b>somatório</b>	<b>1.02/0.41=2.48</b>	<b>0.96/0.32=2.93</b>	<b>0.94/0.26=3.61</b>

Como resultado do  $\lambda_{max}$ , tem-se o valor do IC =  $|(((2.48+2.93+3.61)/3)-3)|/(3-1) = 0.007$ . Por fim, é necessário avaliar a consistência dos valores dados aos critérios, para isto, Saaty [Saaty 1991] desenvolveu uma fórmula denominada Razão de Consistência (RC):

$$RC = IC/IR \quad (2.2)$$

Tendo como IR, um valor a ser obtido através de uma matriz recíproca, contendo valores não negativos e aleatórios [Saaty 1991]. A Tabela 2.11 ilustra estes valores.

Tabela 2.11: Índices de consistência Randômicos (IR) [Wei et al. 2007].

Tamanho da matriz	Valores de IR
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45

Portanto, temos  $RC = 0.007/0.58 = 0.01$ . O valor do IR é 0.58, pelo fato de termos uma matriz do critério *delay* de tamanho 3, ou seja, o valor de IR sempre será dado mediante a dimensão da matriz que está sendo usada pelo critério. Por fim, é verificado que os valores de julgamentos dados ao critério *delay* estão de forma coerente, visto que o RC teve como resultado um valor menor que 0.1. Caso o valor do RC fosse maior que 0.1, então os valores dos julgamentos precisariam ser revisados, visto que não estão coerentes [Saaty 1991].

### 2.2.2.2 SAW

O SAW é um método que tem como objetivo criar uma pontuação utilizando atributos (critérios) e pesos (ponderações), no intuito de se fazer uma classificação ascendente das alternativas para uma determinada meta a ser atingida [Yoon and Hwang 1995]. A equação para se calcular o resultado global de cada alternativa com seus respectivos dados e pesos é [Yoon and Hwang 1995]:

$$V(A_i) = V_i = \sum_{j=1}^N w_j * v_{ij}, \quad i = 1, 2, 3...M \quad (2.3)$$

Onde  $N$  é o número de parâmetros, o  $w_j$  é o peso dos critérios e  $v_{ij}$  é o número de alternativas com os valores dos critérios a serem medidos [Stevens-Navarro and Wong 2006]. Para solucionar um determinado problema utilizando o método SAW, são necessários três passos [Batista 2003]:

- uniformizar os dados em positivos e negativos para torná-los comparáveis;
- aplicar os pesos de cada critério;
- fazer o somatório da multiplicação de cada critério pelos pesos definidos.

O primeiro passo é fazer o cálculo de cada critério de benefício (quanto maior, melhor) e custo (quanto menor, melhor) para alcançar a meta desejada. Para isto, é utilizada a equação abaixo [Batista 2003].

Se quanto maior melhor:

$$v_{ij} = \frac{c_{ij} - c_j^{min}}{c_j^{max} - c_j^{min}} \quad (2.4)$$

Se quanto menor melhor:

$$v_{ij} = \frac{c_j^{max} - c_{ij}}{c_j^{max} - c_j^{min}} \quad (2.5)$$

Onde  $c_{ij}$  são os valores dos critérios, bem como  $c_j^{min}$  e  $c_j^{max}$  são respectivamente os valores máximos e mínimos dos critérios de cada alternativa [Batista 2003]. O segundo e o terceiro passos estão inter-relacionados, visto que a equação para calcular o resultado global das alternativas utiliza os pesos aplicados a cada critério. Portanto, tendo como fonte de dados duas redes: UMTS e WLAN, conforme Tabela 2.12, pode-se utilizar o método SAW para verificar qual delas atende melhor às necessidades do usuário.

Tabela 2.12: Valores coletados dos critérios das redes UMTS e WLAN.

<b>Dados</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>	<i>throughput</i>
UMTS	0.85	0.100	1	128
WLAN	0.65	0.65	5	512

Em seguida são feitos os cálculos dos critérios positivos (*throughput*) e negativos (*delay*, *jitter*, *packet loss*) conforme a Tabela 2.13.

Tabela 2.13: Normalização dos dados.

<b>Normalização</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>	<i>throughput</i>
-	$\frac{0.85-0.85}{0.85-0.65} = \mathbf{0.00}$	$\frac{0.100-0.100}{0.100-0.65} = \mathbf{0.00}$	$\frac{5-1}{5-1} = \mathbf{1.00}$	$\frac{128-128}{512-128} = \mathbf{0.00}$
-	$\frac{0.85-0.65}{0.85-0.65} = \mathbf{1.00}$	$\frac{0.100-0.65}{0.100-0.65} = \mathbf{1.00}$	$\frac{5-5}{5-1} = \mathbf{0.00}$	$\frac{512-128}{512-128} = \mathbf{1.00}$

E por fim é feito o somatório dos resultados de cada critério, com os pesos fornecidos, conforme a Tabela 2.14.

Tabela 2.14: Aplicação dos pesos no somatório final.

<b>Somatório</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>	<i>throughput</i>	Resultado
UMTS	$0.00*0.19=\mathbf{0.00}$	$0.00*0.14=\mathbf{0.00}$	$1.00*0.62=\mathbf{0.62}$	$0.00*0.05=\mathbf{0.00}$	0.62
WLAN	$1.00*0.19=\mathbf{0.24}$	$1.00*0.14=\mathbf{0.14}$	$0.00*0.62=\mathbf{0.00}$	$1.00*0.05=\mathbf{0.05}$	0.38

Como resultado final, temos a rede UMTS como escolhida para a transmissão de dados de uma aplicação, pelo dispositivo móvel do usuário.

### 2.2.2.3 TOPSIS

O TOPSIS é um método que tem como objetivo selecionar a alternativa que está mais próxima da solução ideal e mais afastada da pior solução em um espaço de computação multidimensional [Stevens-Navarro and Wong 2006]. Portanto, a solução ideal é obtida usando o melhor valor de cada métrica. Este método é dividido em 6 passos [Lu et al. 2007], que serão demonstrados a seguir. Os critérios a serem utilizados estão dentro de um conjunto de alternativas, conforme Tabela 2.15.

Tabela 2.15: Valores dos critérios das redes UMTS e WLAN.

<b>Dados</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
UMTS	0.85	0.100	1
WLAN	0.65	0.65	5

1º passo: normalizar os dados da Tabela 2.16, conforme a equação:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{para } i = 1, \dots, m; \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

Tabela 2.16: Normalização dos critérios das redes UMTS e WLAN.

Dados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
UMTS	$\frac{0.85}{\sqrt{(0.85)^2+(0.100)^2+(1)^2}}$	$\frac{0.100}{\sqrt{(0.85)^2+(0.100)^2+(1)^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{(0.85)^2+(0.100)^2+(1)^2}}$
WLAN	$\frac{0.65}{\sqrt{(0.65)^2+(0.65)^2+(5)^2}}$	$\frac{0.65}{\sqrt{(0.65)^2+(0.65)^2+(5)^2}}$	$\frac{5}{\sqrt{(0.65)^2+(0.65)^2+(5)^2}}$

Onde  $x_{ij}$  são os valores da matriz contendo as alternativas em cada linha, pelos critérios em cada coluna.

2º passo: calcular a normalização ponderada, ou seja, multiplicar os pesos de cada critério pelos dados normalizados da matriz  $r_{ij}$  conforme Tabela 2.17, de acordo com a equação:

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad \text{para } i = 1, \dots, m; \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (2.7)$$

Tabela 2.17: Normalização ponderada das redes UMTS e WLAN.

Dados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
UMTS	$0.64*0.24 = \mathbf{0.15}$	$0.07*0.14 = \mathbf{0.01}$	$0.75*0.62 = \mathbf{0.47}$
WLAN	$0.12*0.24 = \mathbf{0.02}$	$0.12*0.14 = \mathbf{0.01}$	$0.96*0.62 = \mathbf{0.59}$

Sendo  $w_j$  um vetor contendo os pesos fornecidos pelo usuário.

3º passo: identificar as soluções ideais positivas e soluções ideais negativas conforme Tabela 2.18, utilizando para isto as seguintes equações:

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{(max_j v_{ij} \mid j = 1, \dots, n) \mid i = 1, \dots, m\} \quad (2.8)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} = \{(min_j v_{ij} \mid j = 1, \dots, n) \mid i = 1, \dots, m\} \quad (2.9)$$

Tabela 2.18: Soluções ideais positiva e negativa das redes UMTS e WLAN.

Dados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
S+	0.02	0.01	0.47
S-	0.15	0.01	0.59

A primeira fórmula ( $A^+$ ) tem como função selecionar os maiores valores dos critérios, os quais quanto maior (critérios de benefício) forem, melhor (por exemplo, vazão, largura de banda, etc.) e a segunda fórmula ( $A^-$ ) tem como função selecionar os menores valores dos critérios, os quais quanto menor (critérios de custo) forem, melhor (por exemplo, *jitter*, *delay*, perda de pacotes, etc.) [Batista 2003].

4° passo: encontrar as distâncias ideais positivas e ideais negativas de cada alternativa, conforme Tabela 2.19, de acordo com as equações:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - s_j^+)^2} \quad \text{para } i = 1, \dots, m \quad (2.10)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - s_j^-)^2} \quad \text{para } i = 1, \dots, m \quad (2.11)$$

Tabela 2.19: Soluções das distâncias ideais positiva e negativa das redes UMTS e WLAN.

Redes		Distância ideal positiva e ideal negativa	Total
UMTS	D+	$\sqrt{((0.15 - 0.02)^2) + ((0.01 - 0.01)^2) + ((0.47 - 0.47)^2)}$	<b>0.169</b>
UMTS	D-	$\sqrt{((0.15 - 0.15)^2) + ((0.01 - 0.01)^2) + ((0.47 - 0.59)^2)}$	<b>0.144</b>
WLAN	D+	$\sqrt{((0.02 - 0.02)^2) + ((0.01 - 0.01)^2) + ((0.59 - 0.47)^2)}$	<b>0.144</b>
WLAN	D-	$\sqrt{((0.02 - 0.15)^2) + ((0.01 - 0.01)^2) + ((0.59 - 0.59)^2)}$	<b>0.169</b>

Onde os valores selecionados no passo três, serão colocados em  $s_j^+$  e  $s_j^-$  e os valores da matriz em  $v_{ij}$ , obtendo como resultado final um vetor com as maiores ( $D_i^+$ ) e menores ( $D_i^-$ ) distâncias de cada alternativa.

5° passo: calcular a aproximação relativa com a solução ideal positiva e a solução ideal negativa [Batista 2003] conforme a Tabela 2.20, de acordo com a equação:

$$A_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad \text{para } 0 \leq A_i \leq 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (2.12)$$

Tabela 2.20: Aproximação com as soluções ideais positiva e negativa.

Redes	Resultado
UMTS	$\frac{0.144}{0.169+0.144} = \mathbf{0.46}$
WLAN	$\frac{0.169}{0.144+0.169} = \mathbf{0.54}$

6° passo: as redes serão ordenadas em virtude da aproximação com a solução ideal, ou seja, aquela rede que possui sua pontuação próxima de 1 e distante do pior caso que é 0 [Pereira 2004]. Portanto, a rede escolhida é a WLAN, por ter sua pontuação mais próxima de 1.

#### 2.2.2.4 MEW

Ao contrário do método SAW, que utiliza o somatório em sua fórmula, o MEW, que é também conhecido como WPM (*Weighted Product Method*), utiliza multiplicação dos dados elevados ao peso dado a cada critério, conforme a equação [Yoon and Hwang 1995]:

$$V_i = \prod_{j=1}^n x_{ij}^{w_j} \quad (2.13)$$

Onde  $x_{ij}$  são os valores da matriz contendo as alternativas em cada linha, pelos critérios em cada coluna e sendo  $w_j$  um vetor contendo os pesos fornecidos pelo usuário. Portanto, a Tabela 2.21 é então normalizada conforme a Tabela 2.22.

Tabela 2.21: Valores dos critérios das redes UMTS e WLAN.

Dados	delay	jitter	packet loss
UMTS	0.85	0.100	1
WLAN	0.65	0.65	5

Tabela 2.22: Valores normalizados dos critérios das redes UMTS e WLAN.

Rede	Resultado
UMTS	$((0.85)^{0.24} * (0.100)^{0.14} * (1)^{0.62}) = \mathbf{0.70}$
WLAN	$((0.65)^{0.24} * (0.65)^{0.14} * (5)^{0.62}) = \mathbf{2.35}$

Por fim temos como ponto de acesso escolhido, a rede que possui maior pontuação, sendo neste caso a WLAN, a qual fará o tráfego de dados do dispositivo móvel.

#### 2.2.2.5 GRA

O GRA é um método muito eficaz, sendo utilizado no auxílio à tomada de decisão por meio da similaridade e variabilidade entre os atributos de cada alternativa em ambientes de incertezas. Portanto, permite mensurar a relação entre séries qualitativas e quantitativas discretas, ou seja, determina o grau de relacionamento entre uma observação referencial com observações levantadas, objetivando estabelecer o resultado desejado [Kayacan et al. 2010].

É composto por 3 passos, que são [Savitha and Chandrasekar 2011]: a normalização dos dados, o cálculo dos coeficientes relacionais e por fim o grau de relacionamento entre as séries dos fatores de cada alternativa.

1º passo: normalizar os dados de acordo com as equações abaixo.

Se quanto maior melhor:

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min(x_i^{(0)}(k))}{\max(x_i^{(0)}(k)) - \min(x_i^{(0)}(k))} \quad (2.14)$$

Se quanto menor melhor:

$$x'_i(k) = \frac{\max(x_i^{(0)}(k)) - x_i^{(0)}(k)}{\max(x_i^{(0)}(k)) - \min(x_i^{(0)}(k))} \quad (2.15)$$

Normalizados os dados da Tabela 2.23 de acordo com a equação 2.15, visto que os critérios são do tipo quanto menor melhor, será obtida a Tabela 2.24.

Tabela 2.23: Valores dos critérios das redes UMTS e WLAN.

Dados	delay	jitter	packet loss
UMTS	100.85	89.10	20
WLAN	85.65	34.65	18

Tabela 2.24: Valores normalizados dos critérios das redes UMTS e WLAN.

Dados Normalizados	delay	jitter	packet loss
UMTS	$\frac{100.85-100.85}{100.85-85.65} = 0.0$	$\frac{89.10-89.10}{89.10-34.65} = 0.0$	$\frac{20-20}{20-18} = 0.0$
WLAN	$\frac{100.85-85.65}{100.85-85.65} = 1.0$	$\frac{89.10-34.65}{89.10-34.65} = 1.0$	$\frac{20-18}{20-18} = 1.0$
Série Padrão ( $x_0$ )	1	1	1

Onde as variáveis  $\max(x_i^{(0)}(k))$  e  $\min(x_i^{(0)}(k))$  são respectivamente o maior e o menor valor das colunas da matriz, a variável  $x_i^{(0)}$  é o valor contido nos índices da matriz e  $x_0$  é a série padrão, ou seja, é a série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis, isto é, representa o estado desejado para qualquer série [Tsai et al. 2003].

2º passo: calcular os coeficientes relacionais da Tabela 2.24, de acordo com a equação abaixo, obtendo a Tabela 2.25.

$$\gamma(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{\min|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max|x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max|x_0(k) - x_i(k)|} \quad (2.16)$$

Tabela 2.25: Coeficientes relacionais dos critérios das redes UMTS e WLAN.

Coefficiente	delay	jitter	packet loss
UMTS	$\frac{0.0+(0.5*1.0)}{1.0+(0.5*1.0)} = 0.3$	$\frac{0.0+(0.5*1.0)}{1.0+(0.5*1.0)} = 0.3$	$\frac{0.0+(0.5*1.0)}{1.0+(0.5*1.0)} = 0.3$
WLAN	$\frac{0.0+(0.5*1.0)}{0.0+(0.5*1.0)} = 1.0$	$\frac{0.0+(0.5*1.0)}{0.0+(0.5*1.0)} = 1.0$	$\frac{0.0+(0.5*1.0)}{0.0+(0.5*1.0)} = 1.0$

Em que,  $\min|x_0(k) - x_i(k)|$  e  $\max|x_0(k) - x_i(k)|$  são respectivamente o menor e o maior valor das colunas da matriz [Tsai et al. 2003]. A variável  $\zeta$  é um valor compreendido

entre  $[0,1]$ , assumindo em geral o valor 0.5, sendo útil somente para diferenciar os elementos da série e não influenciando na ordenação final das mesmas [Deng 1989]. Por fim, a variável  $x_i(k)$  que representa os valores contidos na Tabela 2.24.

3° passo: estabelecer o grau de relacionamento entre as séries dos fatores de cada alternativa da Tabela 2.25, de acordo com a equação abaixo [Kayacan et al. 2010], obtendo a Tabela 2.26.

$$\Gamma'_i = \sum_{i=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) * w_j \quad \text{para } i = 1...n, j = 1...m \quad (2.17)$$

Tabela 2.26: Grau de relacionamento das redes UMTS e WLAN.

Grau	Valor
UMTS	$(0.3 * 0.24) + (0.3 * 0.14) + (0.3 * 0.62) = \mathbf{0.3}$
WLAN	$(1.0 * 0.24) + (1.0 * 0.14) + (1.0 * 0.62) = \mathbf{1.0}$

Onde  $\gamma(x_0(k), x_i(k))$  é o valor do coeficiente relacional de cada critério das alternativas avaliadas e  $w_j(0.24, 0.14, 0.62)$  é o peso relacionado a cada critério. Por fim, observa-se que a rede WLAN é a escolhida, visto que, possui o valor igual ao da série padrão.

### 2.2.3 Lógica Fuzzy

É uma teoria matemática aplicada a conceitos vagos, que admite valores lógicos intermediários entre o falso e o verdadeiro (0 ou 1), a qual considera elementos pertencentes a um determinado conjunto com um certo grau de pertinência, com a intenção de dar um tratamento matemático a termos linguísticos subjetivos [Krishna and Rajesh 2011]. Sendo assim, permite descrever um determinado fato com muito mais detalhe e de forma gradual, reduzindo a perda de informações, que conseqüentemente estará o mais coerente possível com a realidade [Alkhawlani and Ayesha 2008].

#### 2.2.3.1 Arquitetura de um sistema fuzzy

Para expressar melhor como um sistema especialista fuzzy funciona, é necessário dividi-lo em quatro partes, conforme ilustra a Figura 2.6, que são [Weber and Klein 2003]:

- entrada: são dados numéricos nos quais o sistema irá se basear para tomar as decisões;
- fuzzificação: transforma os dados numéricos em informações fuzzy (nebulosas);
- sistema fuzzy: composto da base de conhecimento e tomador lógico de decisões;
- defuzzificação: transforma a saída de inferência fuzzy do sistema em uma informação numérica.

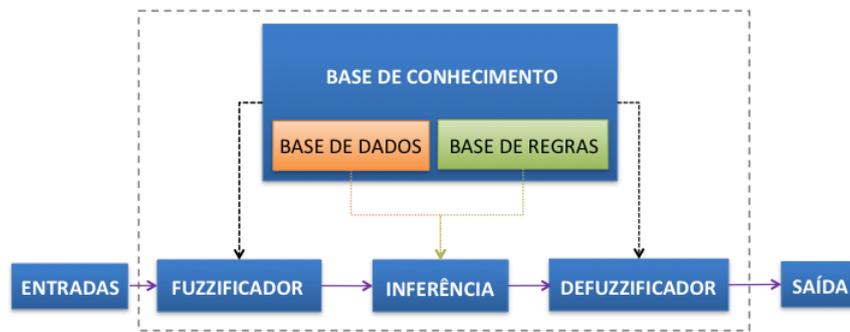


Figura 2.6: Representação de um sistema especialista *fuzzy* [Radhika and Reddy 2011].

### 2.2.3.2 Entrada

São valores puros, os quais são coletados pelo sistema para obter um resultado único que expressa a decisão tomada.

### 2.2.3.3 Fuzzificação

A fuzzificação é o processo de transformar entrada de dados puros em um conjunto *fuzzy* correspondente, tendo portanto que serem normalizados para enquadrarem-se nos limites adequados do universo de discurso [Alkhwilani and Ayesh 2008]. O universo de discurso pode ser descrito como a faixa de valores associados a uma variável linguística, cada qual com o seu próprio domínio que sobrepõe os domínios dos seus conjuntos *fuzzy* vizinhos [Krishna and Rajesh 2011].

A capacidade de classificar de modo impreciso as variáveis de um problema, em termos de conceitos qualitativos ao invés de quantitativos, traduz a ideia de uma variável linguística, visto que o ser humano não consegue definir de forma precisa uma solução em termos de números exatos [Alkhwilani and Ayesh 2008]. Como exemplo, tem-se a variável linguística temperatura, que possui seu valor expresso em graus, passando a ter a partir de então termos linguísticos do tipo muito baixa, baixa, agradável, alta e muito alta, ao invés de uma unidade expressa numericamente. A Figura 2.7 ilustra este exemplo.

Para indicar o grau de pertinência de um dado puro de entrada para cada termo linguístico, é necessário utilizar as funções de pertinência, que são funções matemáticas que fornecem um significado numérico para um conjunto *fuzzy*, ou seja, é através delas que será especificada o quanto um determinado valor pertence ao conjunto [Krishna and Rajesh 2011]. São portanto divididas em quatro tipos padrão, que são [Shaw and Simões 2007]:

- triangular:  $\mu_{tri}(x; a, b, c) = \max(\min(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}), 0)$  - é especificada por três parâmetros (a,b,c), para  $a < b < c$ ;
- trapezoidal:  $\mu_{trap}(x; a, b, c, d) = \max(\min(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{c-x}{c-b}), 0)$  - é especificada por quatro parâmetros (a,b,c,d), para  $a < b < c < d$ ;

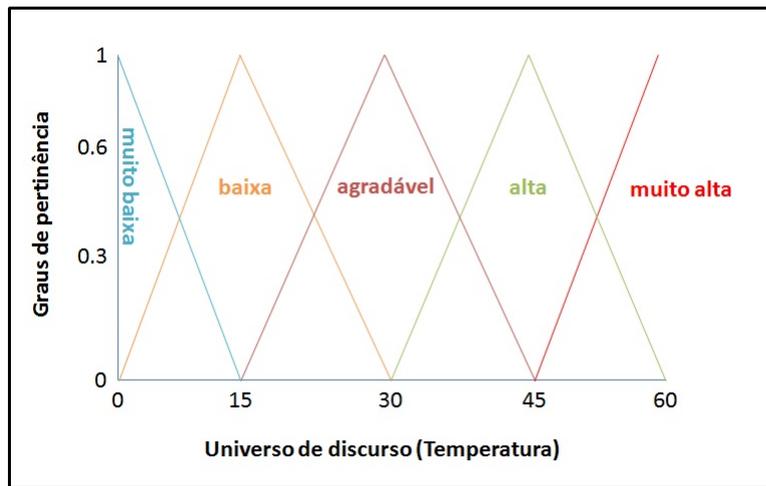


Figura 2.7: Representação de unidades numéricas em termos linguísticos.

- gaussiana:  $\mu_{gaus}(x; s, c) = \exp\left\{-\frac{(x-c)^2}{s}\right\}$  - é especificada por dois parâmetros (s e c);
- sigmoidal:  $\mu_{sig}(x; a, c) = \frac{1}{1+\exp[-a(x-c)]}$  - é especificada por dois parâmetros (a e c);

Estas funções já se encontram normalizadas, ou seja, o máximo é sempre 1 (pertencem totalmente ao grupo) e o mínimo é sempre 0 (não pertencem ao grupo). São representados graficamente conforme a Figura 2.8 a seguir.

Triangular	Trapezoidal	Gaussiana	Sigmóide

Figura 2.8: Representação gráfica das funções de pertinência.

Portanto fica a critério da pessoa escolher qual função de pertinência melhor atende às suas necessidades. Como forma de exemplificar como as funções de pertinência funcionam, pode-se observar a Figura 2.7 em que tem-se o valor da temperatura e o grau de pertinência no qual o valor da temperatura ambiente coletado será agrupado, conforme segue abaixo [Shaw and Simões 2007]:

- dado < 0 - 1;
- $0 < \text{dado} < 15 - \max\left(\min\left(\frac{\text{dado}-0}{15-0}, \frac{30-\text{dado}}{30-15}\right), 0\right)$ ;
- $15 < \text{dado} < 30 - \max\left(\min\left(\frac{\text{dado}-15}{30-15}, \frac{45-\text{dado}}{45-30}\right), 0\right)$ ;
- $30 < \text{dado} < 45 - \max\left(\min\left(\frac{\text{dado}-30}{45-30}, \frac{60-\text{dado}}{60-45}\right), 0\right)$ ;
- $45 < \text{dado} < 60 - \max\left(\min\left(\frac{\text{dado}-45}{60-45}, 1\right), 0\right)$ ;

- dados > 60 - 1.

Como pode ser observado, qualquer valor de temperatura, coletado no ambiente em que seja menor que 0 grau ou maior que 60 graus, se encontram totalmente dentro dos grupos muito baixa e muito alta respectivamente, ao passo que temperaturas intermediárias se encontram dentro dos subconjuntos baixa, agradável e alta. A Figura 2.9 demonstra como seria um dado de temperatura coletado no valor de 28 graus.

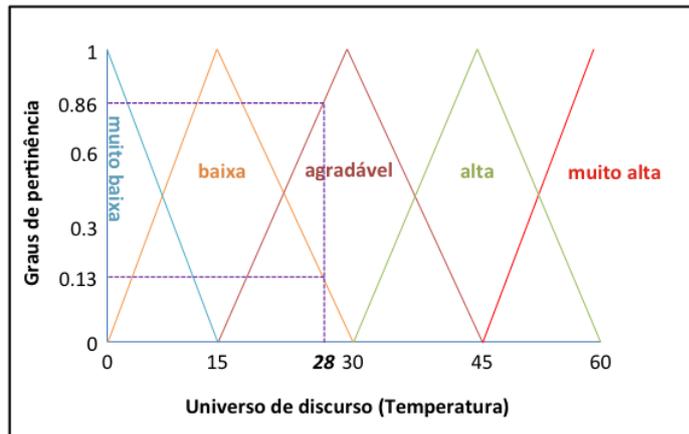


Figura 2.9: Interpretação dos dados nos subconjuntos das funções de pertinência.

O valor da temperatura 28 graus, conforme pode ser observado, se encontra no conjunto *fuzzy* baixa, com um grau de pertinência pequeno ( $((\max(\min(\frac{28-0}{15-0}, \frac{30-28}{30-15}), 0) = \mathbf{0.13})$ ) e também se encontra no conjunto *fuzzy* agradável, com um grau de pertinência alto ( $((\max(\min(\frac{28-15}{30-15}, \frac{45-28}{45-30}), 0) = \mathbf{0.86})$ ).

#### 2.2.3.4 Sistema *fuzzy*

Para gerenciar o conhecimento do sistema, é necessário construir regras que são representadas na forma se ... então (*if... then*) que descrevem a ação a ser feita em resposta a várias entradas *fuzzy*, ou seja, possuem o objetivo de criar uma base de conhecimento para auxiliar a tomada de decisão, a fim de se obter um resultado final eficiente [Krishna and Rajesh 2011]. Como exemplo de regras, as quais seguem o padrão SE (antecedente 1) ... ENTÃO (consequente 1), tem-se:

- se temperatura é baixa então aquecedor é ligado;
- se temperatura é agradável então aquecedor é desligado;
- se temperatura é muito alta então resfriador é ligado.

Vale salientar que a quantidade de regras é diretamente proporcional a quantidade de variáveis linguísticas e termos linguísticos. Se um sistema possuir três variáveis linguísticas,

por exemplo (temperatura, densidade e umidade) e três termos linguísticos, por exemplo (baixo, médio e alto), tem-se portanto  $3^3 = 27$  regras na base de conhecimento.

Com as regras selecionadas é necessário métodos de raciocínio *fuzzy* para se obter o resultado preciso de inferência de um sistema. Há quatro métodos principais de raciocínio, que são [Weber and Klein 2003]:

- estratégia de Mamdani;
- estratégia de Larsen;
- estratégia de Tsukamoto;
- estratégia de Takagi e Sugeno.

A estratégia de Mamdani é a mais utilizada dentre as citadas acima e se baseia em operadores MAX-MIN. A Figura 2.10 ilustra este método.

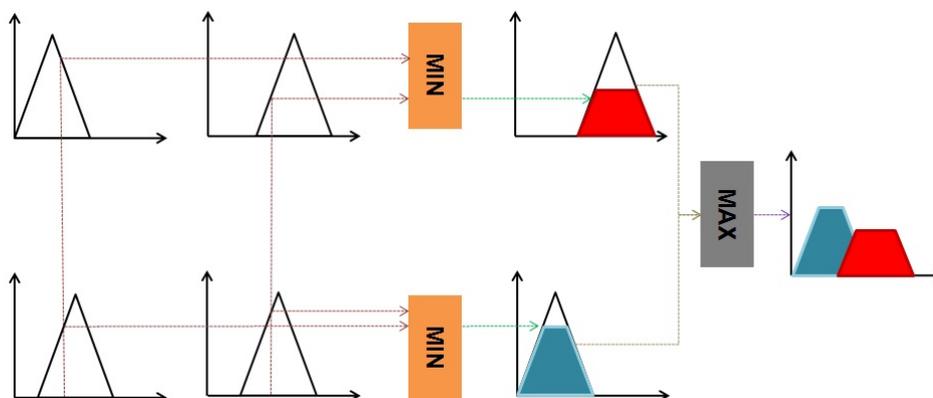


Figura 2.10: Representação do raciocínio *fuzzy* de Mamdani [Weber and Klein 2003].

Como pode ser observado na Figura 2.10, a inferência de Mamdani seleciona, nas regras criadas, os menores (MIN) valores dos antecedentes e em seguida seleciona o maiores (MAX) valores dos consequentes cuja saída são similares.

### 2.2.3.5 Defuzzificação

A defuzzificação tem como objetivo transformar o dado nebuloso em dado quantitativo, ou seja, o sistema *fuzzy*, ao receber uma entrada, transforma-a em uma entrada *fuzzy* que, por sua vez, é submetida ao sistema de inferência (regras *fuzzy*) que devolve uma saída *fuzzy* para este sistema [Radhika and Reddy 2011].

Há muitos métodos de defuzzificação na literatura, em que seis são práticos, sendo eles [Weber and Klein 2003]:

- centro da área;

- centro de gravidade;
- defuzzificação por altura;
- centro da maior área;
- mais significativos dos máximos;
- centro de máximo.

No método centro de máximo, o qual é utilizado pela nossa proposta, os pontos máximos (alturas) das funções de pertinência são usados, ao passo que suas áreas são ignoradas, pelo fato de não desempenharem nenhum papel. Sua fórmula é representada pela equação abaixo [Shaw and Simões 2007].

$$u_* = \frac{\sum_{j=1}^N u_j * \sum_{k=1}^N \mu_{saida}(u_j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \mu_{saida}(u_i)} \quad (2.18)$$

Em que  $u_i$  são os valores referentes aos graus de pertinência e  $\mu_{saida}(u_i)$  indicam os pontos em que ocorrem os máximos da função de pertinência.

## 2.3 Trabalhos Relacionados

Os autores em [Nkansah-Gyekye and Agbinya 2008] propõem uma solução para seleção da melhor rede de acesso entre redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) e WiMAX (*Worldwide interoperability for Microwave Access*), utilizando técnicas de inteligência artificial, como lógica *fuzzy* e algoritmos genéticos, além do método MADM AHP. O *handover* somente será executado se um dos seguintes eventos ocorrer: quando há a disponibilidade de um novo ponto de acesso; quando há a indisponibilidade do atual; quando as preferências do usuário mudam; alterando os pesos dos critérios de acordo com o novo serviço ou quando há uma severa degradação do sinal. Primeiramente, os autores coletam os dados dos critérios das redes em sua área de cobertura, que são: RSS (*Received Signal Strength*), área de cobertura da rede, taxa de dados e latência da rede, para calcular o fator de *handover* e verificar se é necessário fazê-lo ou não.

Após a coleta, os dados são então tratados pela lógica *fuzzy*. Para cada critério, um peso é adotado como forma de dar uma preferência maior para determinado tipo de serviço, como dados, voz e imagem, que possam exigir um peso maior de um critério em virtude de outro. Para achar um peso ideal para cada tipo de critério em função do tipo de serviço usado, os autores utilizam o método AHP.

O algoritmo genético é empregado da seguinte forma:

- elitismo, onde os 2 melhores cromossomos da população são mantidos;

- a operação de *crossover* utilizada é a de 1 ponto, com probabilidade de seleção de 80%;
- a taxa de mutação é de 1%.

O artigo em [Alkhwilani and Ayesh 2008] tem como objetivo propor uma solução para seleção da melhor rede de acesso, entre redes CDMA (*Code Division Multiple Access*) e TDMA (*Time Division Multiple Access*), utilizando as técnicas de inteligência artificial lógica *fuzzy* e algoritmos genéticos, além do método MADM, SMART (*Simple Multiattribute Rating Technique*).

Primeiramente, os autores coletam os dados dos critérios de cada rede, que são: RSS, *bit rate*, *delay*, velocidade do móvel e custo monetário. Após a coleta, os dados são então tratados pela lógica *fuzzy* e passados para o método SMART que fará a classificação das redes. Para cada critério, um peso é adotado como forma de dar uma preferência maior para determinado tipo de serviço, como por exemplo: VOD (*Vídeo On Demand*), ligação de voz via *skype*, transferência de arquivos (FTP - *File Transfer Protocol*), entre outros, que possam exigir um peso maior de um critério em virtude de outro. Para achar um peso ideal para cada tipo de critério em função do tipo de serviço usado, os autores utilizam o algoritmo genético a fim de maximizar a preferência do usuário, a intensidade de sinal recebido e o balanceamento de carga entre as operadoras.

O algoritmo genético é empregado da seguinte forma:

- elitismo, onde os 4 melhores cromossomos da população são mantidos;
- operação de *crossover* de 2 pontos;
- taxa de mutação é de 1%.

O algoritmo finalizará ou alcançando 300 iterações, ou não havendo melhorias na função de aptidão para 100 gerações de indivíduos ou não havendo melhorias na função de aptidão em 300 segundos.

Visando melhorar o processo de seleção de rede, os autores [Wang and Binet 2009] criaram uma estratégia integrada baseada em métodos MADM, dividida em quatro passos, que são:

1. monitorar e coletar informações relacionadas ao *trigger* de rede;
2. preparar o ambiente antes de combinar todos os critérios, incluindo peso e ajuste dos atributos;
3. combinar múltiplos critérios baseados em certos algoritmos MADM;
4. inicializar o algoritmo de *tradeoff* do *Handover Vertical*.

Além disso, é utilizada uma técnica de mapeamento, visando melhorar a forma de dar pesos aos dados subjetivos, pelo fato do AHP não ser eficiente neste tipo de ponderação. Ao final, agrupam as redes de mesmo desempenho, diminuindo assim o tempo de processamento pelo algoritmo de seleção de rede e por fim executar o VHO (*Vertical Handover*) para a rede que contiver o mais alto desempenho através do esquema de *tradeoff*.

A proposta de seleção da melhor rede de acesso pelos autores [Godor and Detari 2007] é a junção dos métodos AHP e GRA, a qual depende de redes alcançáveis, perfil do usuário e os serviços disponíveis. Foram utilizados dois cenários, em que, no primeiro cenário, é realizado o *download* de um arquivo baseado no perfil do usuário, demonstrando a eficácia dos métodos, visto que quando o custo tem uma alta prioridade, a WLAN é a escolhida, ao passo que, quando a vazão é que possui a maior prioridade, a rede WiMAX é a escolhida. Já no segundo cenário o perfil de usuário é igual para todos os usuários e os serviços de rede como voz, vídeo e tráfego de fundo são usados para a seleção de rede, sendo observado que a seleção acontece como no primeiro cenário.

O algoritmo de seleção de rede dos autores [Wei et al. 2007] tem como premissa dar inicialmente preferência à rede UMTS, caso a rede *wi-fi* não esteja disponível, visto que, a primeira possui uma abrangência geográfica maior, não permitindo que o dispositivo móvel fique sem conexão.

Sendo assim, o ambiente onde o terminal se encontra, é composto por quatro redes: três pontos de acesso *wi-fi* e uma estação base 3G (rede celular). Portanto, o terminal móvel se deslocará por 1000m, a uma velocidade média de 1m/s, tendo em todo seu trajeto a cobertura da rede 3G, ao passo que as redes *wi-fi* estão segmentadas em alguns metros nesta cobertura.

Portanto, o dispositivo móvel somente inicializa a coleta de dados dos critérios de QoS, visando selecionar a melhor rede de acesso, quando há, ao menos uma rede *wi-fi* disponível; o limite de sinal esteja maior que o limite estabelecido; e possivelmente fique um certo período de tempo neste ambiente, evitando assim o efeito *ping-pong*. Após confirmar que há redes *wi-fi* no ambiente, o dispositivo móvel inicializa a coleta dos dados.

A decisão final de qual rede selecionar, será tomada pela função de custo (2.22), em que os pesos utilizados por  $w_j$  são fornecidos pelo método AHP. Os autores padronizaram os parâmetros utilizando as premissas abaixo:

- Quanto maior, melhor:

$$S(x_{ij}) = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (2.19)$$

- Quanto menor, melhor:

$$S(x_{ij}) = \frac{\min\{x_{ij} | i = 1, 2, \dots, m\}}{x_{ij}} \quad (2.20)$$

- A normalização dos parâmetros é:

$$N(x_{ij}) = \frac{S(x_{ij})}{\sum_{j=1}^n S(x_{ij})} \quad (2.21)$$

- Sendo assim, o índice de tomada de decisão da rede pode ser calculado como:

$$I_i = \sum_{j=1}^n w_j N(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.22)$$

O artigo dos autores [Krishna and Rajesh 2011] divide o processo de seleção de rede em quatro estágios, que são:

1. verificar a necessidade do *handover*;
2. selecionar as redes adequadas para dar continuidade no tráfego da aplicação;
3. classificar as redes e selecionar a melhor;
4. executar o *handover*.

Sendo assim, no primeiro estágio é verificado se há a necessidade do *handover*, monitorando a intensidade de sinal recebido e a qualidade de serviço das redes. Caso positivo, passa-se para o segundo estágio, que é selecionar as redes adequadas para dar continuidade às aplicações do usuário, e, por fim, no estágio três, haverá a classificação das redes de acordo com as preferências do usuário, intensidade de sinal recebido (RSS) e velocidade do móvel. Nos três estágios usa-se a lógica *fuzzy* em três diferentes ambientes, no caso, aplicações que utilizam *download*, aplicações que utilizam voz e preferência do usuário. No ambiente de *download*, a rede WIMAX foi selecionada 80% das vezes; no ambiente de aplicação de voz a rede celular foi selecionada 80% das vezes; e, por fim, no ambiente da preferência do usuário, a rede WLAN foi selecionada 80% das vezes.

A seleção de rede feita pelos autores [Radhika and Reddy 2011] se baseia em uma tomada de decisão de múltiplos critérios *fuzzy*, em que todos os critérios selecionados são normalizados através de uma função de normalização e o resultado gerado é fuzzificado, gerando um grau de pertinência entre 0 e 1, o qual será utilizado para dar pesos a estes critérios. Por fim, a seleção da melhor rede de acesso é feita por uma função de custo.

Os autores [Alkhwilani and Ayesh 2008] utilizam a técnica de lógica *fuzzy* para classificar e analisar o quanto as redes no ambiente são adequadas para dar continuidade de conexão dos dados. Sendo assim, utiliza a técnica de algoritmo genético para gerar pesos variados na tentativa de adequá-los a cada ambiente e o método MADM SMART (*Simple Multiattribute Rating Technique*) para selecionar a melhor rede de acesso dentre as disponíveis.

Para selecionar a rede ponto-a-ponto que contém as melhores condições de tráfego entre as disponíveis, os autores [Kher et al. 2005] utilizam a lógica *fuzzy* para classificar e selecionar, utilizando critérios adicionais como reputação e anonimato, na tentativa de fornecer

um conjunto de parâmetros que possam ser um diferencial neste tipo de ambiente. Portanto, a melhor rede é a que possui a melhor classificação.

Visando demonstrar os artifícios utilizados por cada autor para implementar sua solução descrita nos trabalhos relacionados à técnica de lógica *fuzzy* e métodos MADM, foi elaborada a Tabela 2.27 para fornecer uma visão mais detalhada destes trabalhos com as nossas propostas.

Tabela 2.27: Quadro comparativo dos trabalhos relacionados à lógica *fuzzy* e métodos MADM com as nossas propostas.

<b>Técnicas/Referências</b>	<b>Crtitérios</b>	<b>Redes de Acesso</b>	<b>Pesos</b>	<b>Estratégia</b>	<b>Ambiente</b>
[WANG and BINET 2009]	Jitter Delay Vazão Perda de pacote Custo monetário	WLAN e WMAN	Manual	SAW, MEW e TOPSIS	Simulado
[GODOR and DETARI 2007]	Jitter Delay Taxa de erro de <i>bit</i> Vazão Perda de pacote Tempo de resposta Custo monetário Segurança	WLAN, WMAN e WWAN	AHP	GRA	Simulado
[KRISHNA and RAJESH 2011]	Jitter Delay Vazão Perda de pacote Velocidade do móvel Intensidade de sinal recebido	WLAN e WMAN	AHP	SAW e Função de custo	Simulado
[RADHIKA and REDDY 2011]	Custo monetário Largura de banda Preferência do usuário Velocidade do móvel Intensidade de sinal recebido	WLAN e WMAN	AHP	SAW e Função de custo	Simulado
[KHER et. al 2007]	Confiabilidade Reputação Capacidade Custo monetário Anonimato	WLAN e WMAN	AHP	Função de custo	Simulado
<b>Proposta 1</b>	<b>Delay</b> <b>Jitter</b> <b>Perda de pacote</b> <b>Custo monetário</b>	<b>WLAN e WWAN</b>	<b>-</b>	<b>Lógica fuzzy</b>	<b>Real</b>
<b>Proposta 2</b>	<b>Delay</b> <b>Jitter</b> <b>Perda de pacote</b> <b>Custo monetário</b>	<b>WLAN e WWAN</b>	<b>AHP</b>	<b>Lógica fuzzy e GRA</b>	<b>Real</b>

As propostas citadas na tabela 2.27 serão descritas no capítulo 3, contendo todos os detalhes de como os critérios acima citados estão sendo utilizados nos métodos e técnicas selecionados.

## 2.4 Conclusão

As técnicas e métodos descritos acima são bastante utilizados no processo de seleção de rede para classificar e selecionar o melhor ponto de acesso entre os disponíveis no ambiente. Alguns autores utilizam várias combinações, podendo ser apenas entre os métodos MADM, como também utilizando técnicas como lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos, redes neurais etc.

Entre as análises feitas pelos autores, chegamos à conclusão de que o GRA é, entre eles, o método de classificação mais robusto para os mais variados parâmetros de rede e ambientes e unido com a técnica de lógica *fuzzy* pode trazer um ganho de precisão muito importante no processo de escolha do melhor ponto de acesso. Sendo assim, a nossa proposta de mestrado se baseia nessa combinação.

# Capítulo 3

## Propostas

Neste capítulo serão apresentadas as propostas deste trabalho que visam à utilização do conjunto lógica *fuzzy*, AHP e GRA para a composição de uma arquitetura de seleção de redes em ambientes de rede sem fio heterogêneas.

### 3.1 Proposta 1 - Seleção de Rede usando Lógica *Fuzzy*

A proposta 1 de seleção de rede tem como objetivo utilizar somente a técnica de lógica *fuzzy*, tendo em vista a saída precisa fornecida, mediante a entrada de dados puros coletados pelo sistema, conforme ilustrado pela Figura 3.1.

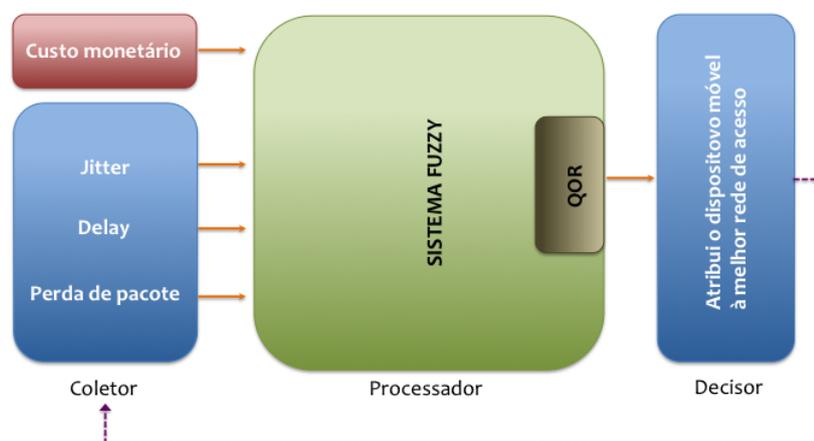


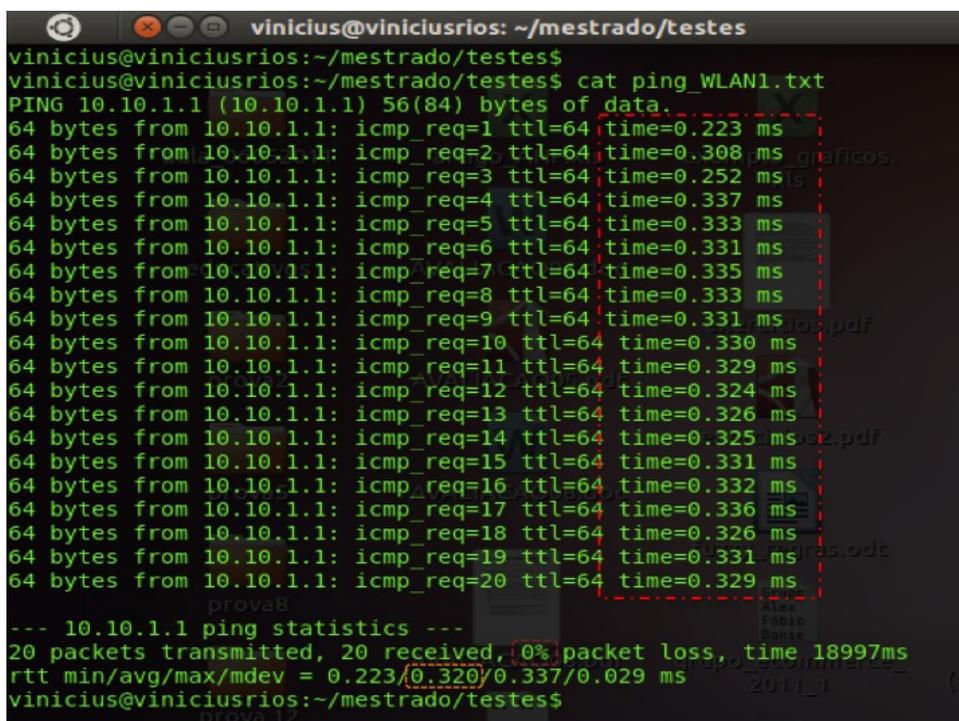
Figura 3.1: Arquitetura da proposta 1 utilizando somente lógica *fuzzy*.

Todas as características do sistema *fuzzy* foram baseadas no artigo dos autores [Krishna and Rajesh 2011] e [Alkhwilani and Ayesh 2008] com algumas modificações na função de pertinência, termos linguísticos, regras, inferência e método de defuzzificação. Sendo assim, o sistema é dividido em três blocos funcionais, que são: o coletor, o processador e o decisor.

### 3.1.1 Coletor

O coletor, tem como objetivo coletar os dados referentes a *delay*, *jitter* e perda de pacote, fornecidos pela aplicação *ping*, conforme pode ser visualizado na Figura 3.2. O parâmetro custo monetário é fixo, portanto não necessita ser coletado, sendo apenas informado pela operadora de celular, tendo o valor das redes *wi-fi* igual a zero e os valores da estação base 1 e estação base 2 iguais a 89.9 reais e 79.9 reais, respectivamente, visto que é considerado apenas o acesso do terminal ao ponto de acesso, ou seja, as requisições ICMP da aplicação *ping*, serão transmitidas do terminal cliente até o gateway de saída da *interface*, passando somente pelo ponto de acesso no qual está conectado.

Esta coleta se dá através de dois turnos de 10 requisições ICMP, em que cada turno é armazenado em arquivo os valores do RTT (*Round Trip Time*) médio, pelo fato de estarmos tratando da soma de todo o atraso fim-a-fim [Kurose and Ross 2010], conforme pode ser visualizado na Figura 3.2.



```
vinicius@viniciusrios: ~/mestrado/testes
vinicius@viniciusrios:~/mestrado/testes$
vinicius@viniciusrios:~/mestrado/testes$ cat ping_WLAN1.txt
PING 10.10.1.1 (10.10.1.1) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=1 ttl=64 time=0.223 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=2 ttl=64 time=0.308 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=3 ttl=64 time=0.252 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=4 ttl=64 time=0.337 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=5 ttl=64 time=0.333 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=6 ttl=64 time=0.331 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=7 ttl=64 time=0.335 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=8 ttl=64 time=0.333 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=9 ttl=64 time=0.331 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=10 ttl=64 time=0.330 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=11 ttl=64 time=0.329 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=12 ttl=64 time=0.324 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=13 ttl=64 time=0.326 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=14 ttl=64 time=0.325 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=15 ttl=64 time=0.331 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=16 ttl=64 time=0.332 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=17 ttl=64 time=0.336 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=18 ttl=64 time=0.326 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=19 ttl=64 time=0.331 ms
64 bytes from 10.10.1.1: icmp_req=20 ttl=64 time=0.329 ms
--- 10.10.1.1 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 18997ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.223/0.320/0.337/0.029 ms
vinicius@viniciusrios:~/mestrado/testes$
```

Figura 3.2: Arquivo com a coleta das requisições ICMP.

### Algoritmo Coletor

#### Listagem 3.1: Coletor

```
1 coletor(redes , iteracoes , rounds , ICMP, custo)
2 {
3   Repita
4     Repita
5     redes.dados = requisicoes.ICMP;
```

```

6     DELAY = f(redes.dados.delay);
7     JITTER = f(redes.dados.jitter);
8     PERDA = f(redes.dados.perda);
9     processador(redes, DELAY, JITTER, PERDA, custo);
10    n <- n + 1;
11    ate (n >= rounds)
12    m <- m + 1;
13    ate (m >= iteracoes)
14 }

```

### 3.1.2 Processador

O processador consiste em manipular os dados coletados através da técnica de lógica *fuzzy* com o objetivo de classificar as redes de acesso no ambiente em que o terminal se encontra. Como a fuzzificação necessita de limiares para compor os conjuntos *fuzzy* dentro do universo de discurso, optou-se por utilizar no sistema *fuzzy* os limiares de áudio, visto que, já são bem conhecidos e documentados, informando que em uma transmissão de áudio (VoIP), o *delay* não pode ser maior que 300ms, o *jitter* não pode ser maior que 150ms e a perda de pacote não pode ultrapassar mais que 3% [Anwar et al. 2006] [ITU-T 2000] [Vleeschauwer et al. 2000], deixando nestes casos o som ininteligível para o ouvido humano.

Partindo deste pressuposto, no sistema *fuzzy*, cada variável linguística (*jitter*, *delay*, perda de pacote e custo monetário) possui três termos linguísticos, que são: baixo, médio e alto, em que o universo de discurso de cada uma delas se encontra dentro dos limiares de tráfego de áudio. Cada um destes termos foi fuzzificado com a função de pertinência triangular, como pode ser visualizado pela Figura 3.3 e tendo como inferência sobre o resultado gerado o método Mamdani, conforme descrito no capítulo 2.

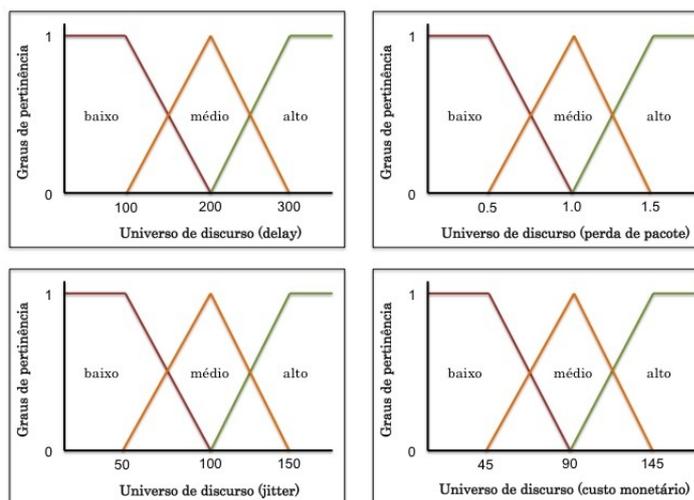


Figura 3.3: Fuzzificação.

Cada subconjunto *fuzzy*, dentro do universo de discurso associado a *delay*, é composto por:



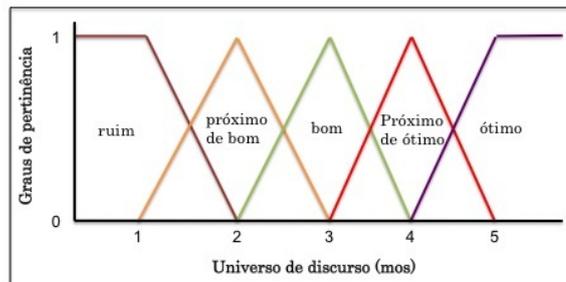


Figura 3.5: Defuzzificação

Cada subconjunto *fuzzy* dentro do universo de discurso associado a *QOR*, é composto por:

- ruim: que se encontra entre os valores de 0 a 1;
- próximo de bom: que se encontra entre os valores de 1 a 3;
- bom: que se encontra entre os valores de 2 a 4;
- próximo do ótimo: que se encontra entre os valores de 3 a 5;
- ótimo: que se encontra acima de 5.

## Algoritmo Processador

### Listagem 3.2: Processador

```

1 processador(redes, DELAY, JITTER, PERDA, custo)
2 {
3   redes.analise[] = DELAY, JITTER, PERDA;
4   QOR = FUZZY(redes.analise.DELAY, redes.analise.JITTER, redes.analise.PERDA,
5               redes.custo);
6   decisor(QOR);
6 }

```

### 3.1.3 Decisor

O módulo decisor verifica a cada 60 segundos, tempo total da iteração, qual dos pontos de acesso possui a maior pontuação gerada pelo módulo processador, armazenando-o em um arquivo texto, permitindo portanto a qualquer solução de gerenciamento de mobilidade na camada 3 lê-lo e tomar a decisão de executar o *handover* para a rede armazenada em seu conteúdo. Então, como pode ser verificado, o sistema *fuzzy* proposto é formado por quatro entradas e uma saída, esta, informando o quanto cada rede possui de qualidade usando a variável *QOR*.

## Algoritmo Decisor

Listagem 3.3: Decisor

```
1 decisor(QOR)
2 {
3   se(WLAN1.QOR > WLAN2.QOR)
4   {
5     se(WLAN1.QOR > 3G1.QOR)
6     {
7       se(WLAN1.QOR > 3G2.QOR)
8       {
9         altera_rede(WLAN1);
10      }
11     senao
12     {
13       altera_rede(3G2);
14     }
15   }
16   senao
17   {
18     se(3G1.QOR > 3G2.QOR)
19     {
20       altera_rede(3G1);
21     }
22     senao
23     {
24       altera_rede(3G2);
25     }
26   }
27 }
28 senao
29 {
30   se(WLAN2.QOR > 3G1.QOR)
31   {
32     se(WLAN2.QOR > 3G2.QOR)
33     {
34       altera_rede(WLAN2);
35     }
36     senao
37     {
38       altera_rede(3G2);
39     }
40   }
41   senao
42   {
43     se(3G1.QOR > 3G2.QOR)
44     {
45       altera_rede(3G1);
46     }
```

```

47     senao
48     {
49         altera_rede(3G2);
50     }
51 }
52 }
53 }

```

## Principal

O algoritmo é modularizado e parametrizado, ou seja, possibilita ao usuário realizar os experimentos com a quantidade de repetições e requisições ICMP que julgar necessário. O algoritmo abaixo é iniciado para repassar as informações das quais o módulo coletor precisará para coletar os valores a serem processados pelo módulo processador.

Listagem 3.4: Principal

```

1 principal()
2 {
3     ler(redes);
4     enquanto (redes >= 2 e redes <= 4) faca
5         ler(host);
6         ler(gateway);
7         ler(custo []);
8     fimenquanto;
9     ler(iteracoes);
10    ler(rounds);
11    ler(ICMP);
12
13    coletor(redes, iteracoes, rounds, ICMP, custo);
14 }

```

## 3.2 Proposta 2 - Seleção de rede usando Lógica *Fuzzy*, AHP e GRA

A proposta 2 de seleção de rede tem como objetivo, utilizar a combinação de duas estratégias: a lógica *fuzzy*, que possui todas as características da proposta 1, combinada com dois métodos MADM: AHP e GRA. Esta combinação tem como objetivo propor uma visão diferente de combinação entre métodos de tomada de decisão e técnicas de inteligência artificial.

O método AHP é utilizado nesta proposta, como um ponderador dos critérios escolhidos para selecionar a melhor rede de acesso. Sendo assim, há uma modificação na forma como é implementado, como será demonstrado a seguir.

Inicialmente é criada uma matriz dos critérios a serem ponderados, informando a im-

portância de cada um em relação ao outro, à luz do objetivo Seleção de Rede, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Escala de importância AHP.

<b>Seleção de Rede</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote	custo monetário
<i>delay</i>	1	1/2	5	1/3
<i>jitter</i>	2	1	5	1/3
perda de pacote	1/5	1/5	1	1/7
custo monetário	3	3	7	1

É feito então o somatório dos valores da importância gerada, de cada coluna dos critérios da Tabela 3.1, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Somatório dos valores da escala de importância AHP.

<b>Seleção de Rede</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote	custo monetário
<i>delay</i>	1	0.5	5	0.33
<i>jitter</i>	2	1	5	0.33
perda de pacote	0.2	0.2	1	0.14
custo monetário	3	3	7	1
<b>SOMA</b>	<b>6.2</b>	<b>4.7</b>	<b>18</b>	<b>1.81</b>

Gerado o valor do somatório da coluna de cada critério, é feita então a divisão destes valores pelo somatório resultante, gerando assim as PMLs, que é a média aritmética dos valores que se encontram em cada linha de cada critério, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Geração das PMLs de cada critério.

<b>Seleção de Rede</b>	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote	custo monetário	<b>PML</b>
<i>delay</i>	$(1/6.2)=0.16$	$(0.5/4.7)=0.10$	$(5/18)=0.27$	$(0.33/1.81)=0.18$	<b>0.18</b>
<i>jitter</i>	$(2/6.2)=0.32$	$(1/4.7)=0.21$	$(5/18)=0.27$	$(0.33/1.81)=0.18$	<b>0.25</b>
perda de pacote	$(0.2/6.2)=0.03$	$(0.2/4.7)=0.04$	$(1/18)=0.05$	$(0.14/1.81)=0.07$	<b>0.05</b>
custo monetário	$(3/6.2)=0.48$	$(3/4.7)=0.63$	$(7/18)=0.38$	$(1/1.81)=0.55$	<b>0.52</b>

Após a geração das PMLs, é feito então uma nova Tabela com a multiplicação dos valores de cada critério da Tabela 3.2 pela sua PML correspondente, conforme Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Geração das PMLs de cada critério.

Seleção de Rede	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote	custo monetário
<i>delay</i>	(1*0.18)=0.18	(0.5*0.25)=0.12	(5*0.05)=0.25	(0.33*0.52)=0.17
<i>jitter</i>	(2*0.18)=0.36	(1*0.25)=0.25	(5*0.05)=0.25	(0.33*0.52)=0.17
perda de pacote	(0.2*0.18)=0.03	(0.2*0.25)=0.05	(1*0.05)=0.05	(0.14*0.52)=0.07
custo monetário	(3*0.18)=0.54	(3*0.25)=0.75	(7*0.05)=0.35	(1*0.52)=0.52

O próximos passos são para comprovar que as PMLs geradas podem ser usadas como pesos para os critérios selecionados. Para tanto é gerada a Tabela 3.5, que é o somatório dos valores de cada linha de cada critério e a Tabela 3.6, que é a divisão valor gerado na Tabela 3.5 pelo valor correspondente onde cada critério se encontra.

Tabela 3.5: Geração do vetor PML'.

PML'	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote	custo monetário
	0.75	1.03	0.2	2.16

Tabela 3.6: Geração do vetor PML".

PML"	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote	custo monetário
	(0.75/0.18)= <b>4.16</b>	(1.03/0.25)= <b>4.12</b>	(0.2/0.05)= <b>4</b>	(2.16/0.52)= <b>4.15</b>

Em seguida é feito o cálculo do  $\lambda_{max}$ , que nada mais é que a média aritmética da Tabela 3.6, conforme a equação abaixo:

$$\lambda_{max} = ((4.16 + 4.12 + 4 + 4.15)/4) = \mathbf{4.10} \quad (3.1)$$

Por fim, é calculado o IC e o RC verificando se o valor resultante do RC é menor ou igual a 0.1, conforme as equações abaixo.

$$IC = |(\lambda_{max} - 4)|/(4 - 1) = \mathbf{0.03} \quad (3.2)$$

$$RC = IC/0.9 = \mathbf{0.03} \quad (3.3)$$

Como pode ser observado o valor do RC equivale a 0.03, sendo portanto menor que 0.1. Sendo assim, os valores gerados para as PMLs (0.25,0.18,0.05 e 0.52) são portanto coerentes como pesos para os critérios de *delay*, *jitter*, perda de pacote e custo monetário, respectivamente.

A escolha do AHP foi motivada por ser um método eficiente para gerar pesos para dados objetivos, ao passo que a escolha do GRA foi motivada por ser um método muito eficiente, conforme pode ser observado no artigo dos autores [Tran and Boukhatem 2008] e

[Stevens-Navarro and Wong 2006] em classificar alternativas para atender a determinado objetivo, neste caso, a escolha da melhor rede de acesso. A Figura 3.6 ilustra esta proposta.

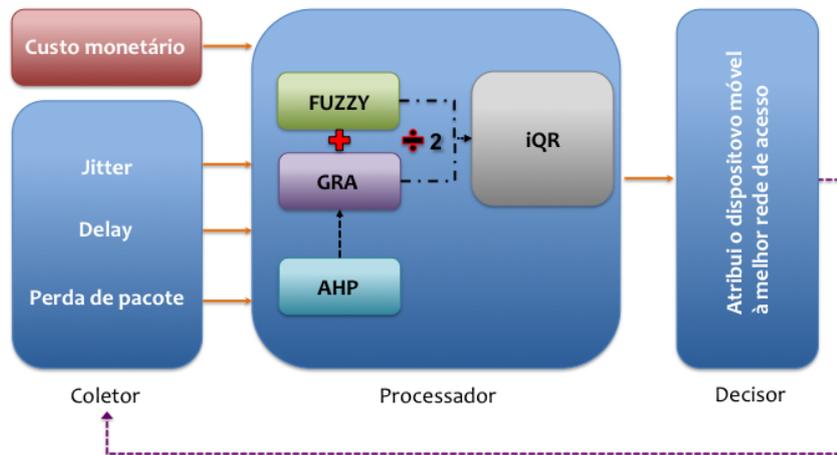


Figura 3.6: Arquitetura da proposta 2 utilizando lógica *fuzzy*, AHP e GRA.

Assim como na proposta 1, o sistema é dividido em três blocos funcionais, que são: o coletor, o processador e o decisor.

### 3.2.1 Coletor

O módulo coletor funciona da mesma forma que na proposta 1.

### 3.2.2 Processador

O módulo processador utiliza toda as características da lógica *fuzzy* da proposta 1 e, em paralelo, utiliza o método GRA, já minuciosamente explicado no capítulo 2, que também receberá os mesmos valores coletados de *jitter*, *delay*, perda de pacote e custo monetário. O resultado gerado será a classificação (pontuação) de cada rede. Esta classificação se torna possível em virtude dos pesos fornecidos pelo método AHP a cada critério. Os pesos gerados pelo AHP para os critérios *jitter*, *delay*, perda de pacote e custo monetário são respectivamente 0.18, 0.25, 0.05 e 0.52.

Estes valores de peso foram baseados na importância de cada critério de QoS de rede em relação à transmissão de áudio, ou seja, para o tráfego de voz, o *jitter* tem importância um pouco maior que o *delay* e estes por sua vez possuem importância bem maior que a perda de pacotes [Silva 2004], ao passo que o custo monetário como preferência do usuário tem importância muito maior que os critérios anteriores, já que parte-se do pressuposto de que o usuário sempre optará pela rede de acesso mais barata ao necessitar mudar de uma rede de acesso para outra.

## Algoritmo Processador

Listagem 3.5: Processador

```
1 processador(redes , DELAY, JITTER, PERDA, custo)
2 {
3   ahp[]=peso.DELAY, peso.JITTER, peso.PERDA, peso.custo;
4   redes.analise[]=DELAY, JITTER, PERDA;
5   gray=GRA(redes.analise.DELAY,redes.analise.JITTER,redes.analise.PERDA,
6     redes.custo);
7   QOR=FUZZY(redes.analise.DELAY,redes.analise.JITTER,redes.analise.PERDA,
8     redes.custo);
9   iQR=(gray + QOR)/2;
10  decisor(iQR);
11 }
```

### 3.2.3 Decisor

O módulo decisor verifica a cada 60 segundos, tempo total da iteração, qual dos pontos de acesso possui a maior pontuação gerada pelo módulo processador, armazenando-o em um arquivo texto, permitindo portanto a qualquer *software* lê-lo e tomar a decisão de executar o *handover* para a rede armazenada em seu conteúdo. Então, como pode ser verificado, o sistema *fuzzy* proposto é formado por quatro entradas e uma saída. Esta saída informa quanto cada rede possui de qualidade usando a variável *iQR* (índice de Qualidade de Rede). O valor desta variável é resultante da média aritmética do valor da variável *QOR* com o valor gerado pelo método GRA.

## Algoritmo Decisor

Listagem 3.6: Decisor

```
1 decisor(iQR)
2 {
3   se(WLAN1.iQR > WLAN2.iQR)
4   {
5     se(WLAN1.iQR > 3G1.iQR)
6     {
7       se(WLAN1.iQR > 3G2.iQR)
8       {
9         altera_rede(WLAN1);
10      }
11     senao
12     {
13       altera_rede(3G2);
14     }
15   }
16   senao
```

```

17  {
18    se(3G1.iQR > 3G2.iQR)
19    {
20      altera_rede(3G1);
21    }
22    senao
23    {
24      altera_rede(3G2);
25    }
26  }
27 }
28 senao
29 {
30   se(WLAN2.iQR > 3G1.iQR)
31   {
32     se(WLAN2.iQR > 3G2.iQR)
33     {
34       altera_rede(WLAN2);
35     }
36     senao
37     {
38       altera_rede(3G2);
39     }
40   }
41   senao
42   {
43     se(3G1.iQR > 3G2.iQR)
44     {
45       altera_rede(3G1);
46     }
47     senao
48     {
49       altera_rede(3G2);
50     }
51   }
52 }
53 }

```

## Principal

O algoritmo é modularizado e parametrizado, ou seja, possibilita ao usuário realizar os experimentos com a quantidade de repetições e requisições ICMP que julgar necessário. O algoritmo abaixo é iniciado para repassar as informações das quais o módulo coletor precisará para coletar os valores a serem processados pelo módulo processador.

Listagem 3.7: Principal

```

1 principal()
2 {

```

```

3 ler (redes);
4 enquanto (redes <= 2) faça
5   ler (host);
6   ler (gateway);
7   ler (custo);
8   fimenquanto;
9   ler (iteracoes);
10  ler (rounds);
11  ler (ICMP);
12
13 coletor (redes, iteracoes, rounds, ICMP);
14 }

```

### 3.3 Proposta 3 - Seleção de rede usando AHP e GRA

A proposta 3 de seleção de rede tem como objetivo, utilizar dois métodos MADM: AHP e GRA, propondo um visão diferente da combinação utilizada na proposta 2. A Figura 3.7 ilustra esta proposta.

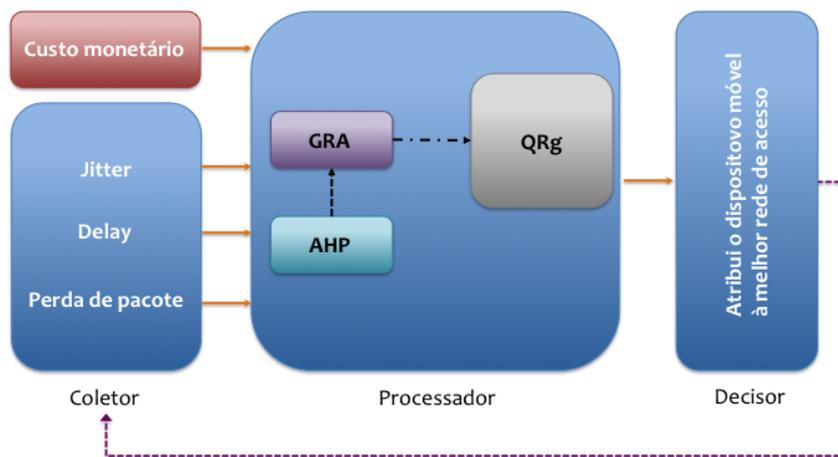


Figura 3.7: Arquitetura da proposta 3 utilizando os métodos AHP e GRA.

Assim como nas propostas 1 e 2, o sistema é dividido em três blocos funcionais, que são: o coletor, o processador e o decisor.

#### 3.3.1 Coletor

O módulo coletor funciona da mesma forma que nas propostas 1 e 2.

#### 3.3.2 Processador

O módulo processador funciona da mesma forma que na proposta 2, exceto por não empregar a técnica de lógica *fuzzy*.

## Algoritmo Processador

Listagem 3.8: Processador

```
1 processador(redes , DELAY, JITTER, PERDA, custo)
2 {
3   ahp[]=peso.DELAY, peso.JITTER, peso.PERDA, peso.custo;
4   redes.analise[]=DELAY, JITTER, PERDA;
5   QRg=GRA(redes.analise.DELAY,redes.analise.JITTER,redes.analise.PERDA,
6           redes.custo);
7   decisor(QRg);
7 }
```

### 3.3.3 Decisor

O módulo decisor verifica a cada 60 segundos, tempo total da iteração, qual dos pontos de acesso possui a maior pontuação gerada pelo módulo processador, armazenando-o em um arquivo texto, permitindo portanto a qualquer *software* lê-lo e tomar a decisão de executar o *handover* para a rede armazenada em seu conteúdo. A saída de cada rede é resultante do valor da variável *QRg* (Qualidade de Rede gray) gerado pelo método GRA.

## Algoritmo Decisor

Listagem 3.9: Decisor

```
1 decisor(QRg)
2 {
3   se(WLAN1.QRg > WLAN2.QRg)
4   {
5     se(WLAN1.QRg > 3G1.QRg)
6     {
7       se(WLAN1.QRg > 3G2.QRg)
8       {
9         altera_rede(WLAN1);
10      }
11     senao
12     {
13       altera_rede(3G2);
14     }
15   }
16   senao
17   {
18     se(3G1.QRg > 3G2.QRg)
19     {
20       altera_rede(3G1);
21     }
22     senao
23     {
```

```

24     altera_rede(3G2);
25     }
26 }
27 }
28 senao
29 {
30     se(WLAN2.QRg > 3G1.QRg)
31     {
32         se(WLAN2.QRg > 3G2.QRg)
33         {
34             altera_rede(WLAN2);
35         }
36     senao
37     {
38         altera_rede(3G2);
39     }
40 }
41 senao
42 {
43     se(3G1.QRg > 3G2.QRg)
44     {
45         altera_rede(3G1);
46     }
47     senao
48     {
49         altera_rede(3G2);
50     }
51 }
52 }
53 }

```

## Principal

O algoritmo é modularizado e parametrizado, ou seja, possibilita ao usuário realizar os experimentos com a quantidade de repetições e requisições ICMP que julgar necessário. O algoritmo abaixo é iniciado para repassar as informações das quais o módulo coletor precisará para coletar os valores a serem processados pelo módulo processador.

Listagem 3.10: Principal

```

1 principal()
2 {
3     ler(redes);
4     enquanto (redes <= 2) faca
5         ler(host);
6         ler(gateway);
7         ler(custo);
8     fimenquanto;
9     ler(iteracoes);

```

```
10 ler(rounds);
11 ler(ICMP);
12
13 coletor(redes, iteracoes, rounds, ICMP);
14 }
```

### 3.3.4 Conclusão

A lógica *fuzzy* é uma técnica matemática que trabalha com a teoria de conjuntos, ou seja, cada um dos termos linguísticos utilizados tanto na fuzzificação quanto na defuzzificação são subconjuntos como ruim, bom, ótimo etc. Se todos os valores coletados das redes de acesso se encontrarem, por exemplo, dentro da faixa pertencente ao subconjunto ruim, mesmo com valores diferentes uns dos outros, estes terão a mesma pontuação, fato que confina a aplicação desta tecnologia à conjuntos de dados que não possam ter esta característica.

Por esta razão, é apresentada uma alternativa para o emprego da lógica *fuzzy* sobre dados com estas características, usando para isso a técnica GRA como um método para eliminar quaisquer resultados iguais na seleção de mais de uma rede de acesso.

O método GRA é um método de classificação e toda a sua escolha se baseia nos pesos dados aos critérios no quais está atuando, sendo assim o resultado final sempre será a rede que possuir os menores (neste trabalho) valores ponderados, que melhor atende ao usuário.

# Capítulo 4

## Metodologia

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos necessários para implementar as propostas apresentadas conforme descritas no capítulo 3 e para realizar os experimentos com as mesmas, visando demonstrar a eficácia de cada uma nos cenários propostos.

### 4.1 Experimentos sem mobilidade

Para avaliar os impactos dos parâmetros de rede (QoS), *jitter*, *delay* e perda de pacote, além do parâmetro do custo monetário no processo de seleção de rede sem mobilidade, foi montado um cenário composto de dois computadores e dois pontos de acesso *wi-fi*, estruturados conforme a Figura 4.1 e tendo a seguinte função:

- computador 1: Cliente;
- computador 2: Roteador;
- ponto de acesso *wi-fi* 1: padrão 802.11b;
- ponto de acesso *wi-fi* 2: padrão 802.11g;
- estação Base 3G 1: UMTS;
- estação Base 3G 2: UMTS.

O computador cliente contém duas *interfaces* de rede USB (*Universal Serial Bus*) e duas *interfaces* de rede 3G USB, estando previamente conectadas, cada uma ao seu respectivo ponto de acesso. Portanto, as *interfaces wi-fi* estão conectadas aos pontos de acesso 1 e 2, ao passo que as *interfaces 3G* estão conectadas às estações base 1 e 2 de operadoras de celular distintas.

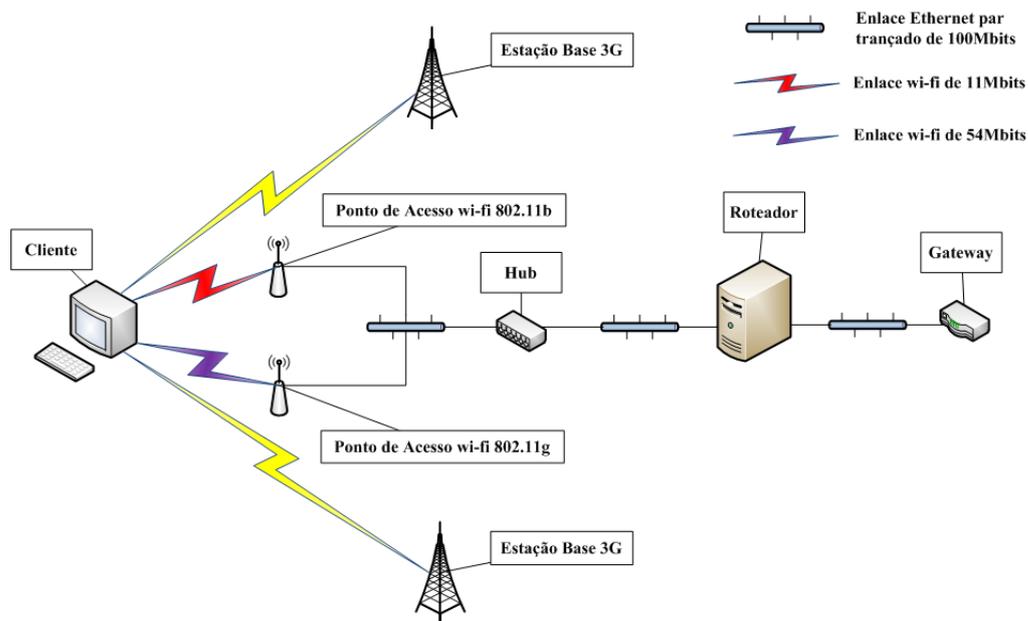


Figura 4.1: Representação da estrutura do cenário de testes sem mobilidade.

Todos os computadores utilizados na montagem deste cenário possuem a mesma configuração: processador Intel Atom *Dual Core*, memória RAM de 2GB e disco rígido de 500GB. A Tabela 4.1 mostra a lista de *software* e *hardware* instalados e utilizados nos computadores.

Tabela 4.1: Lista de *software* e *hardware* usados no cenário para os experimentos.

<b>Computador</b>	<b>Software</b>	<b>Hardware</b>
1	- Sistema operacional Linux Ubuntu versão 11.04 <i>Natty Narwhal</i>  - gcc versão 4.5.2	- Duas <i>interfaces</i> de rede <i>wi-fi</i> USB: - Tenda padrão 802.11N  - Duas <i>interfaces</i> de rede 3G USB: - ONDA modelo MAS190UP; - HUAWEI modelo E173.
2	- Sistema operacional FreeBSD versão 8.2 - <i>ipfw dumynet</i> versão 4	- Três placas de rede: - <i>Ethernet</i> de 100Mbps

Sendo assim, o experimento consistiu em 35 iterações. Cada iteração é composta de dois turnos, onde cada turno consiste em fazer 10 requisições ICMP (*Internet Control Message Protocol*) do cliente com destino ao seu *gateway* da rede onde a *interface* está conectada, coletando os valores de *jitter*, *delay* e da perda de pacote gerados nestes dois turnos, durante uma semana, nos períodos matutino, vespertino e noturno, totalizando 420 iterações em um único dia. Cada ítem deste experimento tem a seguinte característica:

- iteração: engloba todo o processo, ou seja, coleta, processamento e decisão;
- turno: consiste na ação de coletar os dados referentes a cada critério de rede;

- coleta: consiste no envio de requisições ICMP para os *gateways* de cada *interface* de rede;
- tempo de coleta: consiste no tempo em que a coleta é realizada.

É importante salientar que em cada iteração (60 segundos) é selecionada a melhor rede de acesso. Desta forma, os experimentos foram aplicados a três tipos de ambientes:

1. sem nenhum tráfego concorrente: não há nenhum outro tipo de transmissão de dados concorrente além das requisições ICMP;
2. com tráfego concorrente moderado: há uma quantidade de transmissão de dados mediana, além das requisições ICMP;
3. com tráfego concorrente muito elevado: há uma quantidade de transmissão de dados alta, além das requisições ICMP;

Estes ambientes foram criados com o intuito de emular situações do cotidiano, no que diz respeito ao tráfego de dados nos pontos de acesso *wi-fi*, visando definir um grau de *stress* para o cenário proposto.

Estes três tipos de ambientes foram gerados pelo servidor através do comando *ipfw* (*ip-firewall*) somente para as redes *wi-fi*, visto que as operadoras não permitem o acesso ao núcleo da infra-estrutura das redes 3G.

## 4.2 Experimentos com mobilidade

Para avaliar os impactos dos parâmetros de rede (QoS), *jitter*, *delay* e perda de pacote, além do parâmetro do custo monetário no processo de seleção de rede com mobilidade, foi montado um cenário consistindo em um *notebook*, um ponto de acesso e uma operadora 3G, estruturados conforme a Figura 4.2 e tendo a seguinte função:

- *notebook*;
- ponto de acesso *wi-fi*: padrão 802.11g;
- estação Base 3G: UMTS.

O computador cliente contém uma interface de rede *wi-fi* e uma interface de rede 3G USB, as quais já estão previamente conectadas, cada uma a seu respectivo ponto de acesso. A interface *wi-fi* está conectada ao ponto de acesso, ao passo que a interface 3G está conectada a uma estação base de uma operadora de celular.

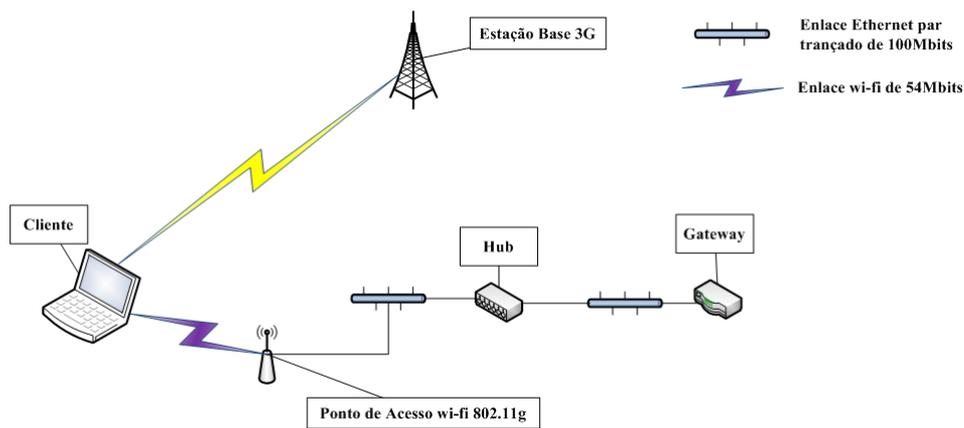


Figura 4.2: Representação da estrutura do cenário de testes com mobilidade.

O *notebook* utilizado neste cenário possui a seguinte configuração: processador Intel Core 2 Duo 2.4 Ghz, memória RAM de 4GB e disco rígido de 250GB. A Tabela 4.2 mostra a lista de *software* e *hardware* instalados e utilizados.

Tabela 4.2: Lista de *software* e *hardware* usados no cenário para os experimentos.

<b>Notebook</b>	<b>Software</b>	<b>Hardware</b>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema operacional Linux Ubuntu versão 11.04 Natty Narwhal</li> <li>- gcc versão 4.5.2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma interface de rede <i>wi-fi</i>:</li> <li>- Broadcom modelo BCM4328 padrão 802.11b/g</li> <li>- Uma interface de rede 3G USB:</li> <li>- ONDA modelo MAS190UP</li> </ul>

Sendo assim, os experimentos consistiram de 358 iterações geradas durante as 100 (cem) movimentações, em que 50 (cinquenta) do ponto de partida em direção à borda da célula do ponto de acesso *wi-fi* e 50 (cinquenta) da borda da célula do ponto de acesso *wi-fi* ao ponto de partida, a uma velocidade média de 1m/s em sentido reto, conforme pode ser visualizado pela Figura 4.3.

Cada iteração é composta de dois turnos, onde cada turno consiste em fazer 10 requisições ICMP (Internet Control Message Protocol) do cliente com destino somente ao gateway de cada uma das redes de acesso, coletando os valores de *jitter*, *delay* e da perda de pacote gerados nestes dois turnos. É importante salientar que em cada iteração (60 segundos) é selecionada a melhor rede de acesso. Cada ítem deste experimento tem a seguinte característica:

- iteração: engloba todo o processo, ou seja, coleta, processamento e decisão;
- turno: consiste na ação de coletar os dados referentes a cada critério de rede;
- coleta: consiste no envio de requisições ICMP para os *gateways* de cada *interface* de rede;

- tempo de coleta: consiste no tempo em que a coleta é realizada.

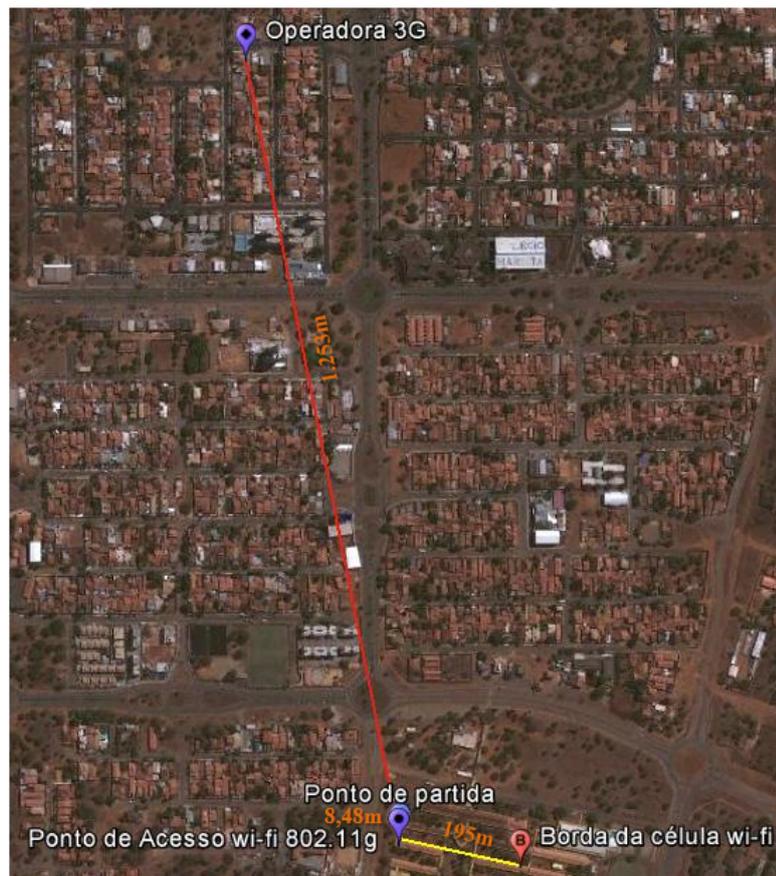


Figura 4.3: Trajetória do móvel.

Com base nos experimentos destes dois cenários, foram feitas análises a fim de validar as propostas apresentadas nesta dissertação.

# Capítulo 5

## Resultados e Discussões

Neste capítulo, serão apresentados os resultados gerados pelos experimentos descritos no capítulo 4, com base nas propostas descritas no capítulo 3, visando demonstrar a eficiência de cada uma delas nos cenários com e sem mobilidade.

Os resultados obtidos com cada uma das propostas nestes cenários estão caracterizados nas Figuras 5.1 a 5.8, compostas por 6 gráficos. Os gráficos de 1 a 3 representam a compilação dos resultados obtidos pelos módulos coletor e processador, enquanto os gráficos de 4 a 6 representam a compilação dos resultados obtidos pelo módulo decisor. Em cada análise, foi considerado um universo de 420 iterações de coleta das variáveis de rede (*delay*, *jitter* e perda de pacote) e observadas a quantidade de vezes em que uma determinada rede foi selecionada por cada uma das propostas. Esta quantidade é então expressa em percentual nos gráficos de 4 a 6, enquanto nos gráficos de 1 a 3 são mostradas as médias destas variáveis de rede selecionadas, considerando o conjunto de coletas que resultaram na seleção daquela rede específica. Esta metodologia foi seguida para a apresentação dos demais resultados.

### 5.1 Resultados dos experimentos sem mobilidade

#### 5.1.1 Ambiente sem tráfego concorrente

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.1, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.1: Dados Coletados sem tráfego concorrente.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	792.74	50102.80	77.45	4839.48	462.99	329.75 a 1255.73
<i>Jitter(ms)</i>	545.52	50001.39	1.17	4851.71	464.16	81.36 a 1009.68
<i>Perda(%)</i>	2.36	50	0	7.07	0.68	1.68 a 3.03
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	555.06	50251.30	76.21	2468.28	236.14	318.92 a 791.19
<i>Jitter(ms)</i>	233.81	50015.56	0.93	2441.17	233.54	0.26 a 467.35
<i>Perda(%)</i>	5.25	55	0	6.17	0.59	4.66 a 5.84
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	609.32	1829.65	186.63	179.81	17.20	592.11 a 626.52
<i>Jitter(ms)</i>	147.15	705.69	1.39	106	10.14	137 a 157.29
<i>Perda(%)</i>	2.94	25	0	5.98	0.57	2.37 a 3.51
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	5184.06	100000	189.08	17704.27	1693.75	3490.31 a 6877.80
<i>Jitter(ms)</i>	4655.82	100000	1.28	17685.25	1691.93	2963.89 a 6347.75
<i>Perda(%)</i>	7.11	100	0	18.32	1.75	5.36 a 8.86

O conjunto de resultados da Tabela 5.1 está relacionado ao ambiente sem tráfego concorrente nos pontos de acesso WLAN1 e WLAN2. A Figura 5.1 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.1, a rede WLAN1 obteve 63.81% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 500ms, o *jitter* uma média em torno de 30ms e a perda de pacote uma média em torno de 1%. Já a rede WLAN2 obteve 25.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 300ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%. A rede 3G1 obteve 1.67% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 500ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 4%. E por fim, a rede 3G2 obteve 8.57% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 450ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 39.38% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN1 obteve 40.57% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 350ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. Já a rede WLAN2 obteve 7.40% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 500ms, o *jitter* uma média em torno de 150ms e a perda de pacote uma média em torno de 3%. A rede 3G1 obteve 2.86% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 450ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 3%. Por fim a rede 3G2

obteve 9.79% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 550ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcionou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 66.90% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 300ms, o *jitter* um média em torno de 30ms e a perda de pacote uma média em torno de 1%. Já a rede WLAN2 obteve 33.10% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 350ms, o *jitter* uma média em torno de 90ms e a perda de pacote uma média em torno de 4%.

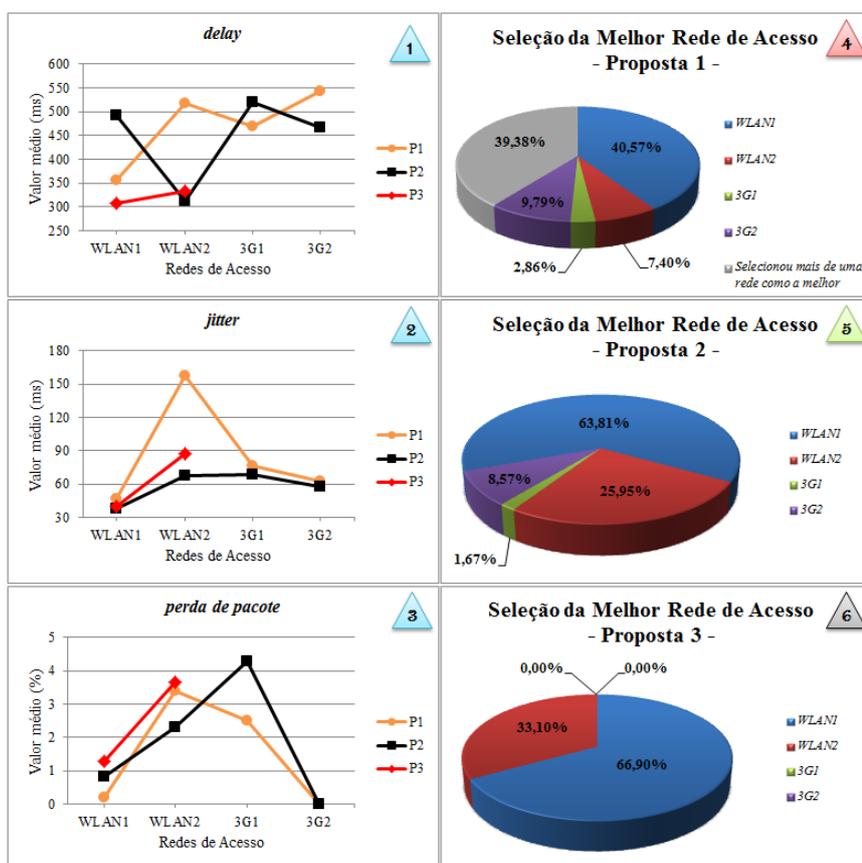


Figura 5.1: Ambiente sem tráfego concorrente.

Nos gráficos 5 e 6, observa-se que se encontram de acordo com a seleção de apenas uma única rede, sendo essa escolha ocasionada pelos valores coletados de cada rede nas iterações que se seguiram ao longo de cada dia.

## 5.1.2 Ambiente com tráfego concorrente moderado

### 5.1.2.1 Ponto de Acesso WLAN1

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.2, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.2: Dados Coletados com tráfego moderado na rede WLAN1.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	9979.41	53656.63	6014.87	11584.80	1108.31	8871.10 a 11087.71
<i>Jitter(ms)</i>	4110.89	50904.75	67.80	12357.66	1182.24	2928.64 a 5293.13
<i>Perda(%)</i>	43.99	85	10	13.69	1.31	42.68 a 45.30
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	1301.86	52188.25	76.73	5949.75	569.21	732.65 a 1871.07
<i>Jitter(ms)</i>	872.75	50866.50	0.93	5936.68	567.96	304.79 a 1440.70
<i>Perda(%)</i>	6.92	70	0	9.69	0.93	5.99 a 7.84
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	623	1682.70	290.14	132.29	12.66	610.35 a 635.66
<i>Jitter(ms)</i>	148.83	975.48	5.44	97.11	9.29	139.54 a 158.12
<i>Perda(%)</i>	0.64	15	0	2.35	0.23	0.42 a 0.87
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	1351.95	55997.29	190.16	6168.89	590.17	761.78 a 1942.12
<i>Jitter(ms)</i>	846.77	50485.83	1	5950.91	569.32	277.46 a 1416.09
<i>Perda(%)</i>	1.88	50	0	6.71	0.64	1.24 a 2.52

O conjunto de resultados da Tabela 5.2 está relacionado ao ambiente com tráfego moderado apenas no ponto de acesso WLAN1. A Figura 5.2 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.2, a rede WLAN2 obteve 61.19% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 1%. Já a rede 3G1 obteve 9.29% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 70ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 29.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. Pode-se observar que a rede WLAN1 não foi escolhida em nenhuma das iterações, pelo fato de seus parâmetros de rede estarem acima do que foi estabelecido como sendo bom ou ótimo para um tráfego de áudio.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 0.24% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN2 obteve 55.24% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 1%. Já a rede 3G1 obteve 11.19% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 70ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 33.33% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcinou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 1.19% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 7400ms, o *jitter* um média em torno de 620ms e a perda de pacote uma média em torno de 45%. Já a rede WLAN2 obteve 98.81% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 500ms, o *jitter* uma média em torno de 480ms e a perda de pacote uma média em torno de 5%.

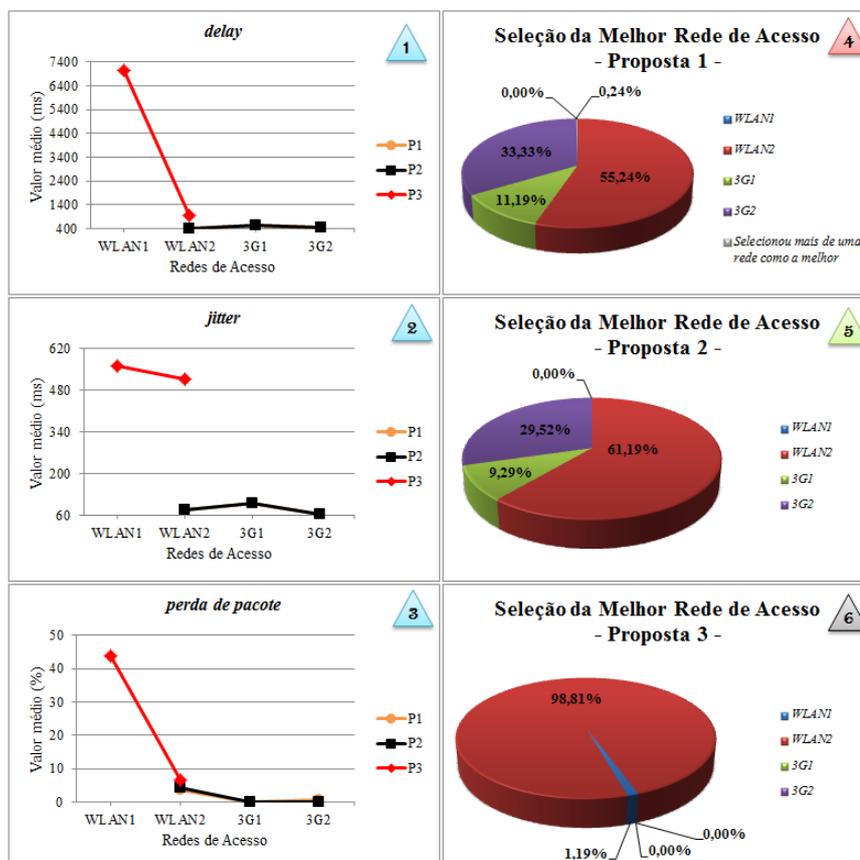


Figura 5.2: Ambiente com tráfego concorrente moderado na rede WLAN 1.

A rede WLAN1 no gráfico 6, possui uma quantidade de escolha de 1.19%, pelo fato destas iterações possuírem valores menores dos parâmetros de rede em relação a rede WLAN2.

### 5.1.2.2 Ponto de Acesso WLAN2

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.3, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.3: Dados Coletados com tráfego moderado na rede WLAN2.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	3783.41	100000	77.56	13088.69	1252.18	2531.23 a 5035.59
<i>Jitter(ms)</i>	3498.29	100000	0.89	13127.47	1255.89	2242.40 a 4754.18
<i>Perda(%)</i>	7.10	95	0	14.98	1.43	5.66 a 8.53
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	7328.33	100000	5777.19	5095.38	487.47	6840.87 a 7815.80
<i>Jitter(ms)</i>	1198.37	100000	157.43	5415.45	518.09	680.28 a 1716.46
<i>Perda(%)</i>	42.15	95	10	11.58	1.11	41.04 a 43.26
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	783.46	50362.88	291.67	2426.03	232.10	551.36 a 1015.56
<i>Jitter(ms)</i>	292.33	50203.11	7.33	2440.26	233.46	58.87 a 525.78
<i>Perda(%)</i>	3.04	50	0	6.89	0.66	2.38 a 3.70
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	3897.40	100000	174.11	14198.85	1358.39	2539.01 a 5255.79
<i>Jitter(ms)</i>	3371.01	100000	1.11	14078.48	1346.87	2024.13 a 4717.88
<i>Perda(%)</i>	5.93	100	0	15.25	1.46	4.47 a 7.39

O conjunto de resultados da Tabela 5.3 está relacionado ao ambiente com tráfego moderado apenas no ponto de acesso WLAN2. A Figura 5.3 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.3, a rede WLAN1 obteve 82.62% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 300ms, o *jitter* uma média em torno de 20ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%. Já a rede 3G1 obteve 2.86% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 120ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 14.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 110ms e a perda de

pacote uma média em torno de 2%. Pode-se observar que a rede WLAN2 não foi escolhida em nenhuma das iterações, pelo fato de seus parâmetros de rede estarem acima do que foi estabelecido como sendo bom ou ótimo para um tráfego de áudio.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 0.71% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN1 obteve 79.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 300ms, o *jitter* uma média em torno de 20ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%. Já a rede 3G1 obteve 3.10% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 120ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 16.67% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 110ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%.

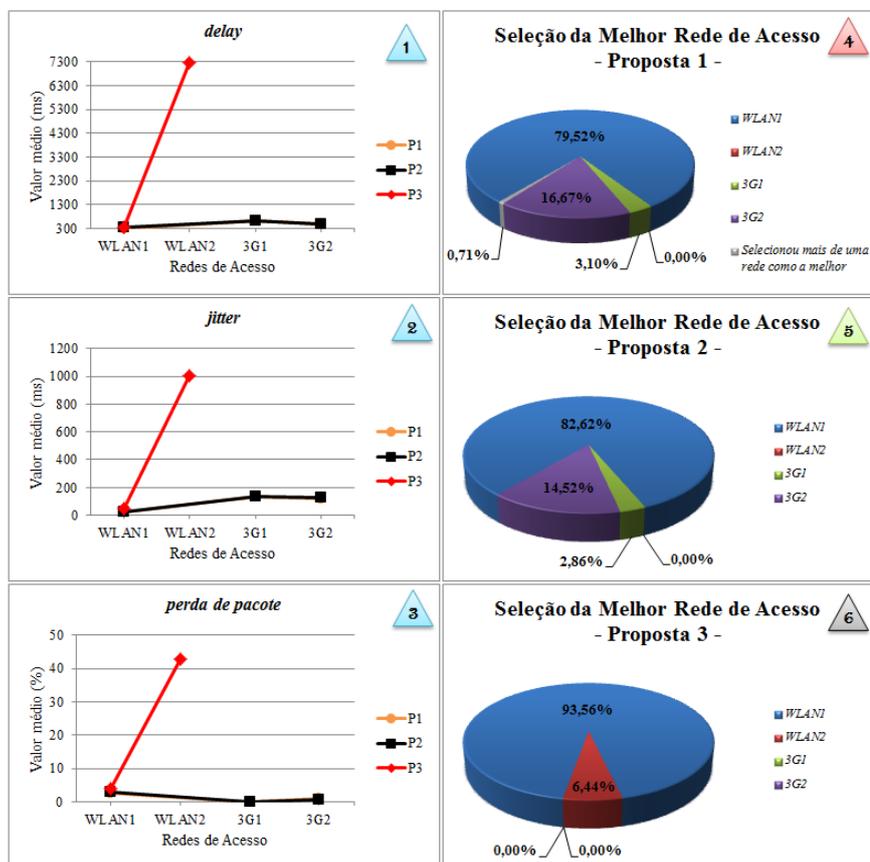


Figura 5.3: Ambiente com tráfego concorrente moderado na rede WLAN 2.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcinou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 93.56% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 300ms, o *jitter* um média em torno de

20ms e a perda de pacote uma média em torno de 3%. Já a rede WLAN2 obteve 6.44% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 7300ms, o *jitter* uma média em torno de 1000ms e a perda de pacote uma média em torno de 45%.

A rede WLAN2 no gráfico 6, possui uma quantidade de escolha de 6.44%, pelo fato destas iterações possuírem valores menores dos parâmetros de rede em relação a rede WLAN1.

### 5.1.2.3 Pontos de Acesso WLAN1 e WLAN2

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.4, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.4: Dados Coletados com tráfego moderado na redes WLAN1 e WLAN2.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	8790.04	53731.29	5945.52	9460.36	905.06	7884.97 a 9695.10
<i>Jitter(ms)</i>	2899.04	51352.63	73.85	10080.71	964.41	1934.63 a 3863.45
<i>Perda(%)</i>	42.57	80	5	12.20	1.17	41.40 a 43.74
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	7156.99	53412.96	5831.87	3223.45	308.38	6848.61 a 7465.38
<i>Jitter(ms)</i>	1040.55	50262.42	112.67	3420.54	327.24	713.31 a 1367.79
<i>Perda(%)</i>	39.87	75	0.5	11.74	1.12	38.74 a 40.99
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	672.15	2500.56	281.92	175.08	16.75	655.40 a 688.90
<i>Jitter(ms)</i>	169.08	750.93	10.44	102.95	9.85	159.23 a 178.93
<i>Perda(%)</i>	2.88	30	0	5.89	0.56	2.32 a 3.44
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	4487.50	100000	178.08	16848.53	1611.88	2875.62 a 6099.38
<i>Jitter(ms)</i>	3970	100000	1.28	16814.70	1608.64	2361.36 a 5578.65
<i>Perda(%)</i>	5.65	100	0	17.40	1.67	3.98 a 7.31

O conjunto de resultados da Tabela 5.4 está relacionado ao ambiente com tráfego moderado nos pontos de acesso WLAN1 e WLAN2. A Figura 5.4 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.4, a rede 3G1 obteve 29.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 500ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 70.48% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média

em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%. Pode-se observar que as redes WLAN1 e WLAN2 não foram escolhidas em nenhuma das iterações, pelo fato de seus parâmetros de rede estarem acima do que foi estabelecido como sendo bom ou ótimo para um tráfego de áudio.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 2.62% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN2 obteve 0.24% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 6700ms, o *jitter* uma média em torno de 500ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. Já a rede 3G1 obteve 27.62% de escolha tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 500ms, o *jitter* uma média em torno de 60ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 69.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%.

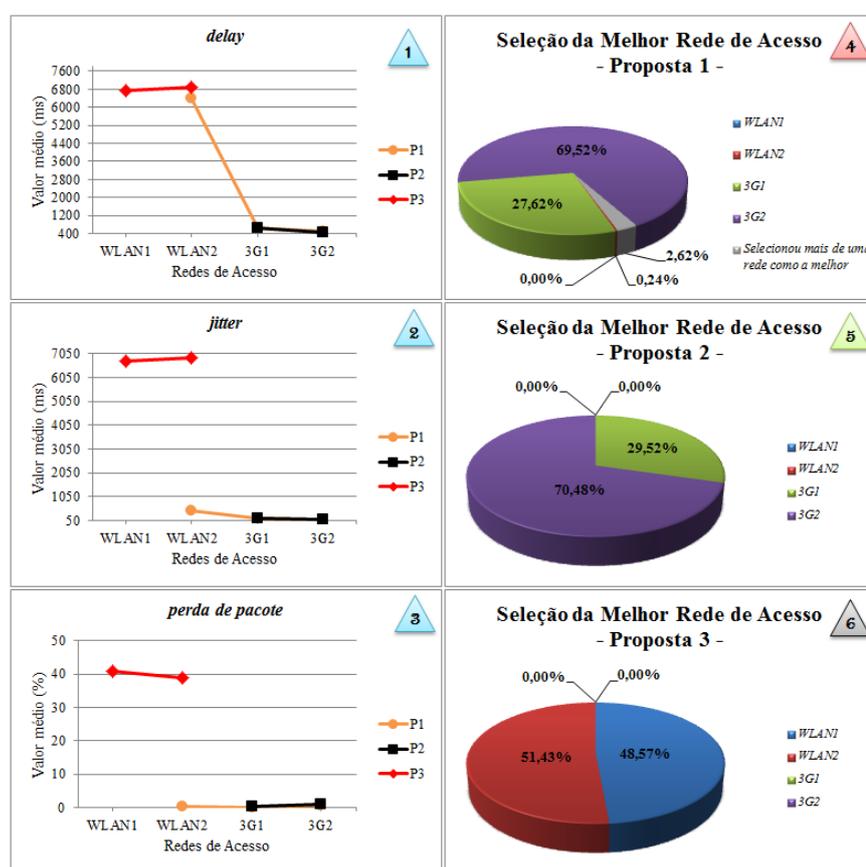


Figura 5.4: Ambiente com tráfego concorrente moderado nas redes WLAN 1 e WLAN 2.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcinou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 51.43% de escolha, tendo

seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 6800ms, o *jitter* um média em torno de 7030ms e a perda de pacote uma média em torno de 42%. Já a rede WLAN2 obteve 48.57% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 6800ms, o *jitter* uma média em torno de 7045ms e a perda de pacote uma média em torno de 40%.

As redes WLAN1 e WLAN2, no gráfico de número 6, foram selecionadas mediante a variação dos critérios *delay*, *jitter* e perda de pacote, embora os valores destes critérios estejam muito alto, o que conta é o fator de ponderação.

### 5.1.3 Ambiente com tráfego concorrente muito elevado

#### 5.1.3.1 Ponto de Acesso WLAN1

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.5, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.5: Dados Coletados com tráfego muito elevado na rede WLAN1.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	72931.10	100000	10923.40	29301.10	2803.21	70127.89 a 75734.30
<i>Jitter(ms)</i>	68786.87	100000	2	33783.17	3232	65554.87 a 72018.87
<i>Perda(%)</i>	88.82	100	60	7.38	0.71	88.12 a 89.53
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	1260.48	50239.27	76.98	5904.02	564.83	695.65 a 1825.32
<i>Jitter(ms)</i>	835.19	50024.61	1.06	5923.08	566.65	268.53 a 1401.84
<i>Perda(%)</i>	7.33	50	0	9.97	0.95	6.38 a 8.29
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	776.43	50340.79	292.37	2426.27	232.12	544.31 a 1008.55
<i>Jitter(ms)</i>	288.18	50103.78	5.73	2436.23	233.07	55.11 a 521.25
<i>Perda(%)</i>	1.77	50	0	5.46	0.52	1.25 a 2.30
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	2148.48	100000	187.69	9952.83	952.18	1196.30 a 3100.66
<i>Jitter(ms)</i>	1689	100000	1.06	9936.14	950.58	738.42 a 2639.58
<i>Perda(%)</i>	4.52	100	0	12.25	1.17	3.35 a 5.70

O conjunto de resultados da Tabela 5.5 está relacionado ao ambiente com tráfego muito elevado apenas no ponto de acesso WLAN1. A Figura 5.5 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.5, a rede WLAN2 obteve

65.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 4%. Já a rede 3G1 obteve 12.14% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 190ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 21.90% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. Pode-se observar que a rede WLAN1 não foi escolhida em nenhuma das iterações, pelo fato de seus parâmetros de rede estarem acima do que foi estabelecido como sendo bom ou ótimo para um tráfego de áudio.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 0.71% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN2 obteve 59.05% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 4%. Já a rede 3G1 obteve 14.29% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 190ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 25.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 50ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%.

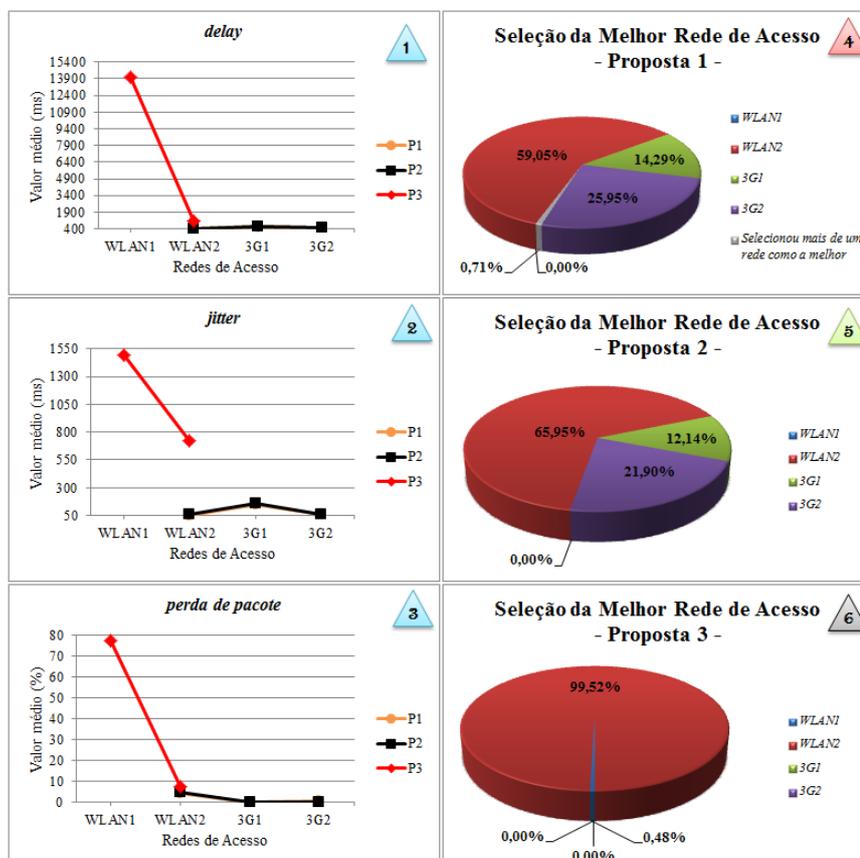


Figura 5.5: Ambiente com tráfego concorrente muito elevado na rede WLAN 1.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcinou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 0.48% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 13900ms, o *jitter* um média em torno de 1550ms e a perda de pacote uma média em torno de 79%. Já a rede WLAN2 obteve 99.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 600ms, o *jitter* uma média em torno de 700ms e a perda de pacote uma média em torno de 9%.

A rede WLAN1 no gráfico 6, possui uma quantidade de escolha de 0.48%, pelo fato destas iterações possuírem valores menores dos parâmetros de rede em relação a rede WLAN2.

### 5.1.3.2 Ponto de Acesso WLAN2

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.5, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.6: Dados Coletados com tráfego muito elevado na rede WLAN2.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	3529.76	100000	77.89	14443.55	1381.80	2147.96 a 4911.56
<i>Jitter(ms)</i>	3260.03	100000	1.23	14478.97	1385.19	1874.84 a 4645.22
<i>Perda(%)</i>	6.39	100	0	16.08	1.54	4.85 a 7.93
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	73494.71	100000	12698.42	26680.09	2552.46	70942.25 a 76047.17
<i>Jitter(ms)</i>	69324.60	100000	5	30890.97	2955.31	66369.29 a 72279.90
<i>Perda(%)</i>	88.92	100	65	6.77	0.65	88.27 a 89.56
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	681.16	5533	287.43	278.38	26.63	654.53 a 707.79
<i>Jitter(ms)</i>	175.80	856	10.61	110.77	10.60	165.20 a 186.39
<i>Perda(%)</i>	2.8	35	0	6.04	0.58	2.22 a 3.38
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	746.77	50287.56	186.92	3444.16	329.50	417.27 a 1076.27
<i>Jitter(ms)</i>	374.78	50097.45	1.39	3441.89	329.28	45.50 a 704.07
<i>Perda(%)</i>	2.85	50	0	5.86	0.56	2.28 a 3.41

O conjunto de resultados da Tabela 5.6 está relacionado ao ambiente com tráfego muito elevado apenas no ponto de acesso WLAN2. A Figura 5.6 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo

desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.6, a rede WLAN1 obteve 86.43% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 250ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%. Já a rede 3G1 obteve 3.10% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 260ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 10.48% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 250ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. Pode-se observar que a rede WLAN2 não foi escolhida em nenhuma das iterações, pelo fato de seus parâmetros de rede estarem acima do que foi estabelecido como sendo bom ou ótimo para um tráfego de áudio.

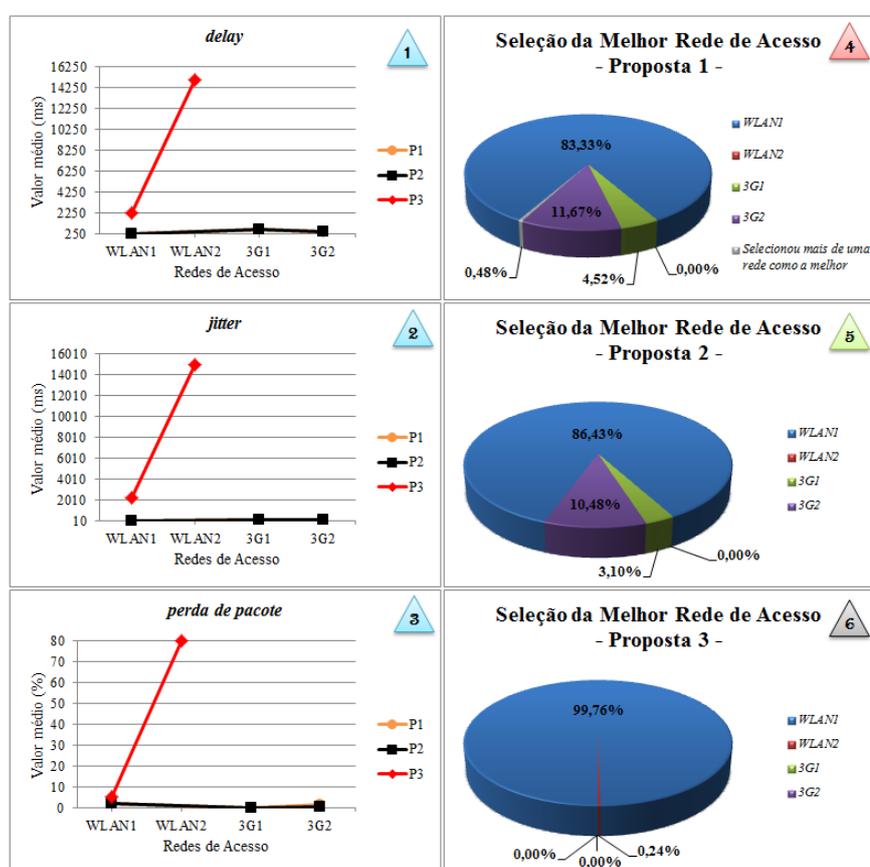


Figura 5.6: Ambiente com tráfego concorrente muito elevado na rede WLAN 2.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 0.48% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN1 obteve 83.33% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 250ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%. Já a rede 3G1 obteve 4.52% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 260ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede

3G2 obteve 11.67% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 250ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcionou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 99.76% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 2250ms, o *jitter* um média em torno de 2010ms e a perda de pacote uma média em torno de 6%. Já a rede WLAN2 obteve 0.24% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 14250ms, o *jitter* uma média em torno de 14010ms e a perda de pacote uma média em torno de 80%.

A rede WLAN2 no gráfico 6, possui uma quantidade de escolha de 0.24%, pelo fato destas iterações possuírem valores menores dos parâmetros de rede em relação a rede WLAN1.

### 5.1.3.3 Pontos de Acesso WLAN1 e WLAN2

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 420 iterações de coleta das variáveis de rede. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.7, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.7: Dados Coletados com tráfego muito elevado nas redes WLAN1 e WLAN2.

<b>WLAN1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	70391.24	100000	12639.65	29016.84	2776.01	67615.22 a 73167.25
<i>Jitter(ms)</i>	65795.89	100000	9.5	33381.82	3193.60	62602.29 a 68989.50
<i>Perda(%)</i>	88.07	100	65	7.22	0.69	87.38 a 88.76
<b>WLAN2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	71815.03	100000	12647.08	27164.66	2598.81	69216.22 a 74413.85
<i>Jitter(ms)</i>	67506.25	100000	3	31385.10	3002.58	64503.67 a 70508.83
<i>Perda(%)</i>	0.37	100	45.50	8.11	0.78	0 a 1.14
<b>3G1</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	1064.07	100000	477.43	5410.28	517.60	546.47 a 1581.66
<i>Jitter(ms)</i>	553.70	100000	29.57	5433.46	519.81	33.89 a 1073.51
<i>Perda(%)</i>	3.87	100	0	8.67	0.83	3.04 a 4.70
<b>3G2</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>DP</b>	<b>ERRO</b>	<b>IC para média</b>
<i>Delay(ms)</i>	2799.41	100000	185.47	14627.23	1399.37	1400.04 a 4198.79
<i>Jitter(ms)</i>	2393.56	100000	0.9	14651.83	1401.73	991.84 a 3795.29
<i>Perda(%)</i>	5	100	0	14.97	1.43	3.57 a 6.43

O conjunto de resultados da Tabela 5.7 está relacionado ao ambiente com tráfego muito elevado nos pontos de acesso WLAN1 e WLAN2. A Figura 5.7 mostra que a proposta 2, observado o gráfico de número 5, obteve um bom desempenho em escolher a melhor rede de acesso em relação a proposta 1, mas um pouco inferior à proposta 3.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.7, há 0.24% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN1 obteve 1.19% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 30400ms, o *jitter* uma média em torno de 21000ms e a perda de pacote uma média em torno de 80%. Já a rede WLAN2 obteve 1.67% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 50400ms, o *jitter* uma média em torno de 42000ms e a perda de pacote uma média em torno de 80%. A rede 3G1 obteve 20.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 75.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%.

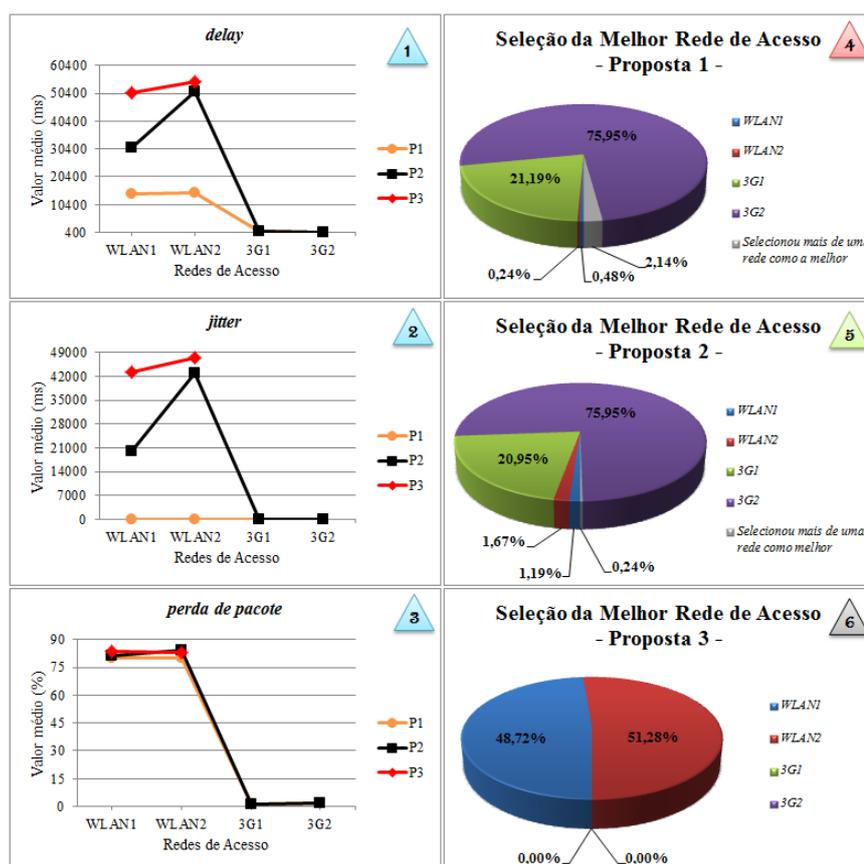


Figura 5.7: Ambiente com tráfego concorrente muito elevado nas redes WLAN1 e WLAN2.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 2.14% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN1 obteve 0.48% de escolha, tendo seu

parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 15400ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 80%. Já a rede WLAN2 obteve 0.24% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 15400ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 80%. A rede 3G1 obteve 20.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 0%. E por fim, a rede 3G2 obteve 75.95% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 400ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 2%.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção das redes 3G1 e 3G2, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcionou a escolha das WLANs em todas as iterações pelo fato destas terem um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 48.72% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 50400ms, o *jitter* um média em torno de 42000ms e a perda de pacote uma média em torno de 80%. Já a rede WLAN2 obteve 51.28% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 54400ms, o *jitter* uma média em torno de 48000ms e a perda de pacote uma média em torno de 70%.

As redes WLAN1 e WLAN2 foram selecionadas mediante a variação dos critérios *delay*, *jitter* e perda de pacote, embora os valores destes critérios estejam muito alto, o que conta é o fator de ponderação.

É importante salientar que em todos os gráficos é utilizado uma média no intuito de refletir as 420 iterações geradas nos cenários propostos, entretanto há iterações onde há algumas intemperes como *delay* muito alto e *jitter* extremamente pequeno, sendo assim, passando a impressão de que o decisor não tenha escolhido a melhor rede de acesso.

## 5.2 Resultados dos experimentos com mobilidade

Para a obtenção dos resultados apresentados aqui, foi considerado um conjunto de 358 iterações de coleta das variáveis de rede durante as 50 movimentações feitas do ponto de acesso até a borda e vice-versa. Este conjunto de dados foi utilizado para a aplicação de todas as propostas apresentadas nesta dissertação e está resumido na Tabela 5.8, onde são apresentados os valores médios para cada variável coletada, assim como seus valores máximos e mínimos, desvio-padrão e intervalo de confiança a 95%.

Tabela 5.8: Dados Coletados em ambiente com mobilidade.

WLAN1	Média	Máximo	Mínimo	DP	ERRO	IC para média
<i>Delay(ms)</i>	5410.75	100000	100.71	18113.53	1878.14	3532.62 a 7288.89
<i>Jitter(ms)</i>	5325.90	100000	34.51	18121.40	1878.95	3446.95 a 7204.86
<i>Perda(%)</i>	17.81	100	0	24.43	2.53	15.27 a 20.34
3G1	Média	Máximo	Mínimo	DP	ERRO	IC para média
<i>Delay(ms)</i>	6866.81	100000	322.84	18164.63	1883.44	4983.38 a 8750.25
<i>Jitter(ms)</i>	6134.32	100000	37.42	18314.74	1899	4235.32 a 8033.32
<i>Perda(%)</i>	15.45	100	0	20.67	2.14	13.30 a 17.59

O conjunto de resultados da Tabela 5.8 está relacionado ao ponto de acesso WLAN e a estação base 3G de uma operadora de Telecom. A Figura 5.8 mostra que as propostas 2 e 3, observados os gráficos de número 5 e 6, respectivamente, conseguiram obter um ótimo desempenho em escolher a melhor rede de acesso, dentro das características das quais foram montadas.

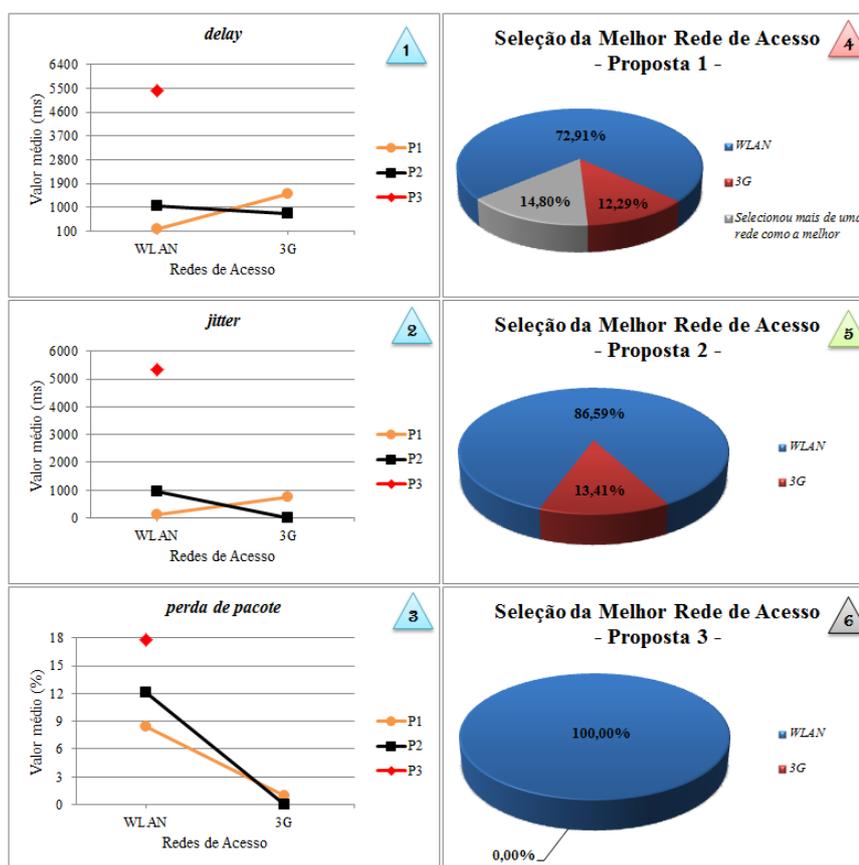


Figura 5.8: Seleção da melhor rede em ambiente com mobilidade.

Como pode ser observado no gráfico de número 5 da Figura 5.8, a rede WLAN obteve 86.59% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 1000ms, o *jitter* uma média em torno de 1000ms e a perda de pacote uma média em torno de 12%. Já a rede 3G obteve 13.41% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 900ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de

0%. Embora os parâmetros da rede 3G estejam menores que a da rede WLAN, tem-se ainda o parâmetro custo monetário em que a rede WLAN possui o valor de 0 reais e a 3G de 89.90 reais, ocasionando uma escolha maior para a rede WLAN.

Já no gráfico 4 que representa a proposta 1, há 14.80% de escolha na seleção de mais de uma rede de acesso, o que acarreta um problema, visto que o *handover* tem que acontecer para a melhor rede selecionada. A rede WLAN obteve 72.91% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 100ms, o *jitter* uma média em torno de 10ms e a perda de pacote uma média em torno de 8%. Já a rede 3G obteve 12.29% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 1700ms, o *jitter* uma média em torno de 900ms e a perda de pacote uma média em torno de 1%.

A proposta 3, representada pelo gráfico de número 6, não há seleção da rede 3G, visto que o critério custo monetário, como já explicado no capítulo 3 possui um peso maior que todos os outros critérios somados, sendo assim, como é um critério de custo, ou seja quanto menor seu valor, melhor, proporcionou a escolha da WLAN em todas as iterações pelo fato desta ter um valor de 0 reais. A rede WLAN1 obteve 100% de escolha, tendo seu parâmetro de rede *delay*, uma média em torno de 5500ms, o *jitter* uma média em torno de 5500ms e a perda de pacote uma média em torno de 17%. Já a rede 3G não obteve nenhuma escolha.

# Capítulo 6

## Conclusões e Trabalhos Futuros

### 6.1 Conclusões

A seleção de rede é um passo muito importante, senão o mais, dentro do processo de *handover*, visto que irá condicionar todos os esforços da execução do *handover* para que o terminal possa se conectar a rede escolhida, através de técnicas de tomada de decisão que melhor satisfaçam às preferências do usuário em relação as características que o ponto de acesso deva possuir.

Para alcançar com êxito os resultados deste trabalho, alguns objetivos foram traçados cuja concretização foi baseada na realização de experimentos eficientes que pudessem comprovar a veracidade dos dados obtidos durante todo o processo de coleta, processamento e decisão. Para isto, foram estudados ambientes, técnicas e métodos que pudessem ser de fato implementados e montados sem nenhum tipo de restrição autoral. Sendo assim, todo o processo de estudo nos levou a descartar algumas técnicas e métodos, além de alguns sistemas proprietários que não nos forneceram subsídios para a implementação de todo o ambiente de testes.

Após identificar e montar todo o ambiente para os testes, implementamos três propostas, as quais se saíram muito bem nos cenários com e sem mobilidade, mostrando resultados expressivos de como a combinação de técnicas de tomada de decisão se mostra eficaz na seleção da melhor rede de Acesso. Isto pode ser observado quando há a combinação da técnica de lógica *fuzzy* com os métodos GRA e AHP ou somente estes últimos, promovendo, quase que em todos os cenários uma escolha extremamente eficiente.

Portanto, podemos verificar que os métodos de tomada de decisão são muito úteis na classificação de alternativas para se alcançar um objetivo, tornando mais preciso o resultado final.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se:

- integrar as propostas apresentadas com um *software de handover* em um dispositivo celular, permitindo testar a eficiência das técnicas e algoritmos propostos, englobando assim todo o processo de gerenciamento de mobilidade;
- avaliar os cenários com e sem mobilidade com base em outros tipos de tráfego, como por exemplo, vídeo;
- utilizar de outros mecanismos de inferência, quantidade de termos linguísticos, função de pertinência e métodos de defuzzificação no âmbito da lógica *fuzzy*;
- integrar a técnicas de controle de admissão.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Alkhwilani and Ayyesh 2008] Alkhwilani, M. and Ayyesh, A. (2008). Access network selection based on fuzzy logic and genetic algorithms. *Advances in Artificial Intelligence*, 8(1):1–12.
- [Anwar et al. 2006] Anwar, Z., Yurcik, W., Johnson, R., Hafiz, M., and Campbell, R. (2006). Multiple design patterns for voice over ip (voip) security. In *Performance, Computing, and Communications Conference, 2006. IPCCC 2006. 25th IEEE International*, page 8. IEEE.
- [Bari and Leung 2007] Bari, F. and Leung, V. (2007). Automated network selection in a heterogeneous wireless network environment. *Network, IEEE*, 21(1):34–40.
- [Batista 2003] Batista, M. C. M. (2003). Otimização de acesso em um sistema de integração de dados através do uso de caching e materialização de dados. Dissertação de Mestrado, Ciências da Computação, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).
- [Campos and Saito 2004] Campos, M. M. and Saito, K. (2004). Sistemas Inteligentes em Controle e Automação de Processos. *1. ed. - Rio de Janeiro: Ciência Moderna*.
- [Ciccarese et al. 2009] Ciccarese, G., De Blasi, M., Marra, P., Mighali, V., Palazzo, C., Patrono, L., and Stefanizzi, M. (2009). Vertical handover algorithm for heterogeneous wireless networks. In *2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC*, pages 1948–1954. IEEE.
- [Costa 2002] Costa, H. G. (2002). Introdução ao método de análise hierárquica (análise multicritério no auxílio à decisão). *Niterói: UFF*.
- [Deng 1989] Deng, J. L. (1989). Introduction to grey system theory. *The Journal of grey system*, 1(1):1–24.
- [Godor and Detari 2007] Godor, G. and Detari, G. (2007). Novel network selection algorithm for various wireless network interfaces. In *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007. 16th IST*, pages 1–5. IEEE.
- [ITU-T 2000] ITU-T, R. (2000). G. 114. *One-way transmission time*, 18.

- [Kassar et al. 2008] Kassar, M., Kervella, B., and Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, 31(10):2607–2620.
- [Kayacan et al. 2010] Kayacan, E., Ulutas, B., and Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications*, 37(2):1784–1789.
- [Kher et al. 2005] Kher, S., Somani, A., and Gupta, R. (2005). Network selection using fuzzy logic. In *Broadband Networks, 2005. BroadNets 2005. 2nd International Conference on*, pages 876–885. IEEE.
- [Krishna and Rajesh 2011] Krishna, M. and Rajesh, L. (2011). Implementation of fuzzy logic for network selection in next generation networks. In *Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 2011 International Conference on*, pages 595–600. IEEE.
- [Kurose and Ross 2010] Kurose, J. and Ross, K. (2010). *Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down. 5. ed. - São Paulo: Addison Wesley.*
- [Linden 2008] Linden, R. (2008). *Algoritmos Genéticos. 2. ed. - Rio de Janeiro: Brasport.*
- [Lu et al. 2007] Lu, J., Ruan, G. Z., and Wu, F. (2007). *Multi-objective group decision making: methods, software and applications with fuzzy set techniques.* Imperial College Press.
- [Nkansah-Gyekye and Agbinya 2008] Nkansah-Gyekye, Y. and Agbinya, J. (2008). A vertical handoff decision algorithm for next generation wireless networks. In *Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications, 2008 Third International Conference on*, pages 358–364. IEEE.
- [Pereira 2004] Pereira, S. W. (2004). *Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos - aplicação de avaliação do ciclo de vida. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).*
- [Radhika and Reddy 2011] Radhika, K. and Reddy, A. V. (2011). Network selection in heterogeneous wireless networks based on fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Computer Applications*, 22(1):7–10.
- [Rezende 2003] Rezende, S. O. (2003). *Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações. 1. ed. - São Paulo: Manole.*
- [Saaty 1991] Saaty, T. (1991). *Metodo de Análise Hierarquica. 1. ed. Sao Paulo: Makron Books.*
- [Savitha and Chandrasekar 2011] Savitha, K. and Chandrasekar, C. (2011). Grey relation analysis for vertical handover decision schemes in heterogeneous wireless networks. *European Journal of Scientific Research*, 54:560–568.

- [Shaw and Simões 2007] Shaw, I. S. and Simões, M. G. (2007). *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2 ed. São Paulo: Blucher.
- [Silva 2004] Silva, D. J. (2004). Análise de qualidade de serviço em redes corporativas. Dissertação de Mestrado, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- [Singhrova and Prakash 2009] Singhrova, A. and Prakash, N. (2009). Adaptive Vertical Handoff Decision Algorithm for Wireless Heterogeneous Networks. In *Proceedings of the 2009 11th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*, volume 0, pages 476–481. IEEE Computer Society.
- [Stevens-Navarro and Wong 2006] Stevens-Navarro, E. and Wong, V. (2006). Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks. In *Vehicular Technology Conference*, volume 2, pages 947–951.
- [Tran and Boukhatem 2008] Tran, P. and Boukhatem, N. (2008). Comparison of madm decision algorithms for interface selection in heterogeneous wireless networks. In *Software, Telecommunications and Computer Networks, 2008. SoftCOM 2008. 16th International Conference on*, pages 119–124. IEEE.
- [Tsai et al. 2003] Tsai, C., Chang, C., and Chen, L. (2003). Applying grey relational analysis to the vendor evaluation model. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 11(3):45–53.
- [Vleeschauwer et al. 2000] Vleeschauwer, D., Janssen, J., Petit, G., and Poppe, F. (2000). Quality bounds for packetized voice transport. *Alcatel Telecommunications Review*, pages 19–24.
- [Wang and Binet 2009] Wang, L. and Binet, D. (2009). MADM-based Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks: A Simulation Study. *IEEE Wireless VITAE09*, pages 559–564.
- [Weber and Klein 2003] Weber, L. and Klein, P. A. T. (2003). Aplicação da lógica fuzzy em software e hardware. 1. ed. - *Canoas: ULBRA*.
- [Wei et al. 2007] Wei, Y., Hu, Y., and Song, J. (2007). Network selection strategy in heterogeneous multi-access environment. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 14:16–49.
- [Yoon and Hwang 1995] Yoon, K. P. and Hwang, C. (1995). *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. 1 ed. Thousand Oaks: Sage Publications.

# Anexo I - Artigos Aprovados

Artigos aprovados em eventos durante o desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

## Artigo 1

- Autores: Vinícius de Miranda Rios, Paulo Roberto de Lira Gondim e Claudio de Castro Monteiro
- Evento: VI Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (CONNEPI 2011)
- Local: Natal - RN
- Data: 16, 17 e 18 de dezembro de 2011
- Site: <http://portal.ifrn.edu.br/pesquisa/connepi>

## Artigo 2

- Autores: Vinícius de Miranda Rios, Paulo Roberto de Lira Gondim e Claudio de Castro Monteiro
- Evento: The 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2012)
- Local: PyeongChang - Republic of Korea
- Data: 19 à 22 de fevereiro de 2012
- Site: <http://www.icact.org/>

## SELEÇÃO DE REDES SEM FIO HETEROGÊNEAS APOIADA EM MÉTODOS MULTIPLE ATTRIBUTE DECISION MAKING

Vinícius de Miranda Rios<sup>1</sup>, Paulo Roberto de Lira Gondim<sup>2</sup> e Claudio de Castro Monteiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Tocantins - UNITINS, <sup>2</sup>Univeridade de Brasília – UNB e <sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas  
vinicius.mr@unitins.br – pgondim@unb.br – ccm@ifto.edu.br

### RESUMO

A coexistência de redes de acesso heterogêneas na próxima geração de redes sem fio traz consigo uma diversidade de parâmetros de rede, que influirá diretamente nos quesitos da aplicação do usuário móvel, quando este se deslocar da rede em que se encontra para outra de tecnologia diferente (*wi-fi* para 3G, por exemplo).

Sendo assim, o dispositivo móvel antes de executar o *handover*, necessitará de uma lista de redes de acesso, classificadas de acordo com a necessidade da aplicação em uso, seja ela de dados, voz ou imagem. Para selecionar e classificar de forma adequada as redes de acesso, deve-se priorizar a seleção de rede, parte integrante e fundamental do gerenciamento do *handover*, o qual gerencia a troca entre pontos de acesso pelo terminal móvel, de forma que a continuidade do tráfego possua um nível de qualidade de serviço (QoS) igual ou maior do que o oferecido pela rede de acesso em que se encontrava.

Para resolver este problema, técnicas e estratégias para melhorar a seleção de rede são encontradas na literatura, como lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos, redes neurais, função de custo e métodos MADM, o qual possui um conjunto de métodos visando pontuar e classificar através de critérios previamente definidos as alternativas em um determinado cenário, atingindo um objetivo.

Portanto, este trabalho visa apresentar e exemplificar os métodos MADM SAW (*Simple Additive Weighting*), MEW (*Multiplicative Exponential Weight*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) e GRA (*Grey Relational Analysis*), de forma detalhada, com o objetivo de fornecer uma quantidade de possibilidades de utilização destas técnicas, para o problema de seleção de redes, embasadas na pesquisa de artigos e livros relacionados ao tema proposto.

**Palavras-chave:** seleção de rede, MADM, redes sem fio heterogêneas

## 1. INTRODUÇÃO

A próxima geração de redes sem fio (NGWN – *Next Generation Wireless Networks*), mais comumente conhecida como redes 4G, possibilita a mobilidade do usuário entre redes sem fio heterogêneas, fornecendo continuidade transparente (*seamless*) de conexão para as aplicações em uso, independente do tipo de rede e das condições na qualidade de serviço oferecido. Para tanto, o gerenciamento de *handover* é de fundamental importância para que todo o procedimento de troca de redes de acesso aconteça sem a percepção do usuário.

A seleção de rede, parte integrante e principal do gerenciamento do *handover*, é dividida em três blocos lógicos, que são (BARI e LEUNG, 2007): a coleta de dados, o processamento dos dados e a classificação das redes de acesso. Em geral, as estratégias e parâmetros de rede impactam diretamente na seleção de rede e podem ser divididos nas seguintes categorias (BARI e LEUNG, 2007):

- Categoria 1: inclui parâmetros que não são relacionados a qualidade de serviço, visto que, não mudam frequentemente, como custo monetário, criptografia, etc;
- Categoria 2: inclui parâmetros de qualidade de serviço muito utilizados, dinâmicos ou não, previstos na rede, como *jitter*, *delay*, perda de pacote, vazão, etc.

A resolução do problema de seleção de rede com estratégias que utilizam os métodos MADM como em (CICCARESE, 2009), (BARI e LEUNG, 2007), (GODOR e DETARI, 2007), (KASSAR et al., 2008), (YOON e HWANG, 1995), (STEVENS-NAVARRO e WONG, 2006), (KAYACAN et al., 2010), (WANG e BINET, 2009), dentre outros, demonstram os resultados da eficácia destes métodos, bem como comparações entre eles visando identificar qual se sai melhor em determinados ambientes com requerimentos diversos e com aplicações variadas de dados, voz e imagem.

Portanto, a proposta deste trabalho é descrever de forma sucinta cada um dos métodos MADM SAW, MEW, TOPSIS e GRA, exemplificando seu uso no problema de seleção de rede, visando fornecer uma visão geral de todo o processo de execução destes métodos. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) não será descrito neste trabalho, visto que é comumente utilizado para fornecer pesos aos parâmetros de rede, maiores detalhes sobre este método pode ser encontrado em (RIOS e MONTEIRO, 2011).

O restante desse trabalho está dividido na seção 2, onde serão apresentados os conceitos e exemplos de uso de cada método MADM no processo de seleção de rede. Na seção 3, onde serão apresentados as conclusões e trabalhos futuros relacionadas ao assunto.

## 2. MÉTODOS MADM

### 2.1 SAW

O SAW é um método que tem como objetivo criar uma pontuação utilizando atributos (critérios) e pesos (ponderações), no intuito de se fazer uma classificação ascendente das alternativas para uma determinada meta a ser atingida (YOON e HWANG, 1995). A equação para se calcular o resultado global de cada alternativa com seus respectivos dados e pesos é (YOON e HWANG, 1995):

$$V(A_i) = V_i = \sum_{j=1}^N w_j * v_{ij} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde N é o número de parâmetros da rede,  $w_j$  é o peso dos critérios e  $v_{ij}$  é o número de alternativas com os valores dos critérios a serem medidos (STEVENS-NAVARRO e WONG, 2006). Para

solucionar um determinado problema utilizando o método SAW, são necessários três passos (BATISTA, 2003):

1. Uniformizar os dados em positivos e negativos para torná-los comparáveis;
2. Aplicar os pesos de cada critério;
3. Fazer o somatório da multiplicação de cada critério pelos pesos definidos.

O primeiro passo é fazer o cálculo de cada critério de benefício (quanto maior, melhor) e custo (quanto menor, melhor) para alcançar a meta desejada. Para isto, é utilizada a equação abaixo (BATISTA, 2003):

Para critério de benefícios, tem-se:

$$V_{ij} = \frac{c_{ij} - c_j^{\min}}{c_j^{\max} - c_j^{\min}} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Para critério de custo, tem-se:

$$V_{ij} = \frac{c_j^{\max} - c_{ij}}{c_j^{\max} - c_j^{\min}} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde  $c_{ij}$  são os valores dos critérios, bem como  $c_j^{\max}$  e  $c_j^{\min}$  são respectivamente os valores máximos e mínimos dos critérios de cada alternativa (BATISTA, 2003). O segundo e o terceiro passos estão inter-relacionados, visto que a equação para calcular o resultado global das alternativas utiliza os pesos aplicados a cada critério. Portanto, tendo como fonte de dados duas redes: UMTS e WLAN, conforme Tabela 1, pode-se utilizar o método SAW para verificar qual delas atende melhor às necessidades do usuário.

**Tabela 1: Valores dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Redes de acesso	Delay	jitter	perda de pacote
3G	0.85	0.100	1
wi-fi	0.65	0.65	5

Em seguida são feitos os cálculos dos critérios de custo (*delay*, *jitter* e perda de pacote) conforme a Tabela 2.

**Tabela 2: Normalização dos dados.**

Normalização	Delay	jitter	perda de pacote
3G	$\frac{0.85 - 0.85}{0.85 - 0.65} = 0.00$	$\frac{0.100 - 0.100}{0.100 - 0.65} = 0.00$	$\frac{5 - 1}{5 - 1} = 1.00$
wi-fi	$\frac{0.85 - 0.65}{0.85 - 0.65} = 1.00$	$\frac{0.100 - 0.65}{0.100 - 0.65} = 1.00$	$\frac{5 - 5}{5 - 1} = 0.00$

E por fim é feito o somatório dos resultados de cada critério, com os pesos fornecidos (0.24, 0.14 e 0.62), conforme a Tabela 3.

**Tabela 3: Aplicação dos pesos no somatório final.**

Somatório	Delay	Jitter	perda de pacote	Resultado
3G	$0.00 \cdot 0.24 = \mathbf{0.00}$	$0.00 \cdot 0.14 = \mathbf{0.00}$	$1.00 \cdot 0.62 = \mathbf{0.62}$	$0.00 + 0.00 + 0.62 = \mathbf{0.62}$
wi-fi	$1.00 \cdot 0.24 = \mathbf{0.24}$	$1.00 \cdot 0.14 = \mathbf{0.14}$	$0.00 \cdot 0.62 = \mathbf{0.00}$	$0.24 + 0.14 + 0.00 = \mathbf{0.38}$

Como resultado final, temos a rede 3G como escolhida para a transmissão de dados de uma aplicação, pelo dispositivo móvel do usuário.

## 2.2 TOPSIS

O TOPSIS é um método que tem como objetivo selecionar a alternativa que está mais próxima da solução ideal e mais afastada da pior solução em um espaço de computação multidimensional (STEVENS-NAVARRO e WONG, 2006). Portanto, a solução ideal é obtida usando o melhor valor de cada métrica. Este método é dividido em seis passos (LU, 2007), que serão demonstrados a seguir. Os critérios a serem utilizados estão dentro de um conjunto de alternativas, conforme Tabela 4.

**Tabela 4: Valores dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Redes de acesso	Delay	jitter	perda de pacote
3G	0.85	0.100	1
wi-fi	0.65	0.65	5

1º passo: normalizar os dados da Tabela 5, conforme a equação:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad [\text{Eq. 04}]$$

**Tabela 5: Normalização dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Normalização	delay	jitter	perda de pacote
3G	$\frac{0.85}{\sqrt{(0.85)^2 + (0.100)^2 + (1)^2}}$	$\frac{0.100}{\sqrt{(0.85)^2 + (0.100)^2 + (1)^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{(0.85)^2 + (0.100)^2 + (1)^2}}$
wi-fi	$\frac{0.65}{\sqrt{(0.65)^2 + (0.65)^2 + (5)^2}}$	$\frac{0.65}{\sqrt{(0.65)^2 + (0.65)^2 + (5)^2}}$	$\frac{5}{\sqrt{(0.65)^2 + (0.65)^2 + (5)^2}}$

Onde  $x_{ij}$  são os valores da matriz contendo as alternativas em cada linha, pelos critérios em cada coluna.

2º passo: calcular a normalização ponderada, ou seja, multiplicar os pesos de cada critério pelos dados normalizados da matriz  $r_{ij}$  conforme Tabela 6, de acordo com a equação:

$$v_{ij} = w_j * r_{ij} \quad (\text{para } i=1,\dots,m \text{ e } j=1,\dots,n) \quad [\text{Eq. 05}]$$

**Tabela 6: Normalização ponderada das redes 3G e wi-fi.**

Normalização	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote
3G	0.64*0.24= <b>0.15</b>	0.07*0.14= <b>0.01</b>	0.75*0.62= <b>0.47</b>
wi-fi	0.12*0.24= <b>0.02</b>	0.12*0.14= <b>0.01</b>	0.96*0.62= <b>0.59</b>

Sendo  $w_j$  um vetor contendo os pesos fornecidos pelo usuário (0.24, 0.14 e 0.62).

3º passo: identificar as soluções ideais positivas e soluções ideais negativas conforme Tabela 7, utilizando para isto as seguintes equações:

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max v_{ij} \mid j = 1, \dots, n) \mid i = 1, \dots, m\} \quad [\text{Eq. 06}]$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min v_{ij} \mid j = 1, \dots, n) \mid i = 1, \dots, m\} \quad [\text{Eq. 07}]$$

**Tabela 7: Soluções ideal positiva e negativa das redes UMTS e WLAN.**

Solução	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote
S+	0.02	0.01	0.47
S-	0.15	0.01	0.59

A primeira fórmula  $A^+$  tem como função selecionar os maiores valores dos critérios, os quais quanto maior (critérios de benefício) forem, melhor (por exemplo, vazão, largura de banda, etc.) e a segunda fórmula  $A^-$  tem como função selecionar os menores valores dos critérios, os quais quanto menor (critérios de custo) forem, melhor (por exemplo, *jitter*, *delay*, perda de pacotes, etc.) (BATISTA, 2003).

4º passo: encontrar as distâncias com ideais positivas e ideais negativas de cada alternativa, conforme Tabela 8, de acordo com as equações:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - s_j^+)^2} \quad (\text{para } i=1,\dots,m) \quad [\text{Eq. 08}]$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - s_j^-)^2} \quad (\text{para } i=1, \dots, m) \quad [\text{Eq. 09}]$$

**Tabela 8: Soluções ideal positiva e negativa das redes 3G e wi-fi.**

Redes		distância ideal positiva e negativa	total
3G	D+	$\sqrt{(0.15 - 0.02)^2 + (0.01 - 0.01)^2 + (0.47 - 0.47)^2}$	<b>0.169</b>
3G	D-	$\sqrt{(0.15 - 0.15)^2 + (0.01 - 0.01)^2 + (0.47 - 0.59)^2}$	<b>0.144</b>
wi-fi	D+	$\sqrt{(0.02 - 0.02)^2 + (0.01 - 0.01)^2 + (0.59 - 0.47)^2}$	<b>0.144</b>
wi-fi	D-	$\sqrt{(0.02 - 0.15)^2 + (0.01 - 0.01)^2 + (0.59 - 0.59)^2}$	<b>0.169</b>

Onde os valores selecionados no passo três, serão colocados em  $s_j^+$  e  $s_j^-$  e os valores da matriz em  $v_{ij}$ , obtendo como resultado final, um vetor com as maiores  $D_i^+$  e menores  $D_i^-$  distâncias de cada alternativa.

5º passo: calcular a aproximação relativa com a solução ideal positiva e a solução ideal negativa (BATISTA, 2003) conforme a Tabela 9, de acordo com a equação:

$$A_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (\text{para } 0 \leq A_i \leq 1, i=1,2,3, \dots, m) \quad [\text{Eq. 10}]$$

**Tabela 9: Aproximação com as soluções ideal positiva e negativa.**

Redes de acesso	resultado
3G	$\frac{0.144}{0.169 + 0.144} = \mathbf{0.46}$
wi-fi	$\frac{0.169}{0.144 + 0.169} = \mathbf{0.54}$

6º passo: as redes serão ordenadas em virtude da aproximação com a solução ideal, ou seja, aquela rede que possui sua pontuação próxima de 1 e distante do pior caso que é 0 (PEREIRA, 2004). Portanto, a rede escolhida é a *wi-fi*, por ter sua pontuação mais próxima de 1.

### 2.3 MEW

Ao contrário do método SAW, que utiliza o somatório em sua fórmula, o MEW, que é também conhecido como WPM (*Weighted Product Method*), utiliza multiplicação dos dados elevados ao peso dado a cada critério, conforme a equação (YOON e HWANG, 1995):

$$V_i = \prod_{j=1}^n x_{ij}^{w_j} \quad [\text{Eq. 11}]$$

Onde  $x_{ij}$  são os valores da matriz contendo as alternativas em cada linha, pelos critérios em cada coluna e sendo  $w_j$  um vetor contendo os pesos fornecidos pelo usuário, portanto, a Tabela 10 é então normalizada conforme a Tabela 11.

**Tabela 10: Valores dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Dados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote
3G	0.85	0.100	1
wi-fi	0.65	0.65	5

**Tabela 11: Valores normalizados dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Redes de acesso	Resultado
3G	$((0.85)^{0.24} * (0.100)^{0.14} * (1)^{0.62}) = 0.70$
wi-fi	$((0.65)^{0.24} * (0.65)^{0.14} * (5)^{0.62}) = 2.35$

Por fim temos como ponto de acesso escolhido, a rede que possuir maior pontuação, sendo neste caso a *wi-fi*, a qual fará o tráfego de dados do dispositivo móvel.

### 2.4 GRA

O GRA é um método muito eficaz, sendo utilizado no auxílio à tomada de decisão por meio da similaridade e variabilidade entre os atributos de cada alternativa em ambientes de incertezas. Portanto, permite mensurar a relação entre séries qualitativas e quantitativas discretas, ou seja, determina o grau de relacionamento entre uma observação referencial com observações levantadas, objetivando estabelecer o resultado desejado (KAYACAN et al., 2010).

É composto por três passos, que são (SAVITHA e CHANDRASEKAR, 2011): a normalização dos dados, o cálculo dos coeficientes relacionais e por fim o grau de relacionamento entre as séries dos fatores de cada alternativa.

1º passo: normalizar os dados de acordo com as equações abaixo.

Se quanto maior melhor:

$$x_i'(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min(x_i^{(0)}(k))}{\max(x_i^{(0)}(k)) - \min(x_i^{(0)}(k))} \quad [\text{Eq. 12}]$$

Se quanto menor melhor:

$$x_i'(k) = \frac{\max(x_i^{(0)}(k)) - x_i^{(0)}(k)}{\max(x_i^{(0)}(k)) - \min(x_i^{(0)}(k))} \quad [\text{Eq. 13}]$$

Normalizado os dados da Tabela 12 de acordo com a equação 13, visto que os critérios são do tipo quanto menor melhor, será obtida a Tabela 13.

**Tabela 12: Valores dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Dados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote
3G	100.85	89.10	20
<i>wi-fi</i>	85.65	34.65	18

**Tabela 13: Valores normalizados dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Dados normalizados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote
3G	$\frac{100.85 - 100.85}{100.85 - 85.65} = 0.0$	$\frac{89.10 - 89.10}{89.10 - 34.65} = 0.0$	$\frac{20 - 20}{20 - 18} = 0.0$
<i>wi-fi</i>	$\frac{100.85 - 85.85}{100.85 - 85.65} = 1.0$	$\frac{89.10 - 34.10}{89.10 - 34.65} = 1.0$	$\frac{20 - 18}{20 - 18} = 1.0$
saída padrão ( $x_0$ )	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Onde as variáveis  $\max(x_i^{(0)}(k))$  e  $\min(x_i^{(0)}(k))$  são respectivamente o maior e o menor valor das colunas da matriz, a variável  $x_i^{(0)}$  é o valor contido nos índices da matriz e  $x_0$  é a série padrão, ou seja, é a série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis, isto é, representa o estado desejado para qualquer série (TSAI et al., 2003).

2º passo: calcular os coeficientes relacionais da Tabela 13, de acordo com a equação abaixo, obtendo a Tabela 14.

$$\gamma(x_0'(k), x_i'(k)) = \frac{\min|x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max|x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max|x_0(k) - x_i(k)|} \quad [\text{Eq. 14}]$$

**Tabela 14: Coeficientes relacionais dos critérios das redes 3G e wi-fi.**

Dados	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	perda de pacote
-------	--------------	---------------	-----------------

3G	$\frac{0.0 + (0.5 * 1.0)}{0.0 + (0.5 * 1.0)} = \mathbf{0.3}$	$\frac{0.0 + (0.5 * 1.0)}{0.0 + (0.5 * 1.0)} = \mathbf{0.3}$	$\frac{0.0 + (0.5 * 1.0)}{0.0 + (0.5 * 1.0)} = \mathbf{0.3}$
wi-fi	$\frac{0.0 + (0.5 * 1.0)}{1.0 + (0.5 * 1.0)} = \mathbf{1.0}$	$\frac{0.0 + (0.5 * 1.0)}{1.0 + (0.5 * 1.0)} = \mathbf{1.0}$	$\frac{0.0 + (0.5 * 1.0)}{1.0 + (0.5 * 1.0)} = \mathbf{1.0}$

Em que,  $\min|x_0(k) - x_i(k)|$  tem como resultado da diferença o valor 0 e  $\max|x_0(k) - x_i(k)|$  tem como resultado da diferença o valor 1 (TSAI et al., 2003), a variável  $\zeta$  é um valor compreendido entre [0,1], assumindo em geral o valor 0.5, sendo útil somente para diferenciar os elementos da série e não influenciando na ordenação final das mesmas (DENG, 1989) e a operação  $x_0(k) - x_i(k)$  que representa valores contidos nos índices da matriz.

3º passo: estabelecer o grau de relacionamento entre as séries dos fatores de cada alternativa da Tabela 14, de acordo com a equação abaixo (KAYACAN et al., 2010), obtendo a Tabela 15.

$$\Gamma'_i = \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) * w_j \quad [\text{Eq. 15}]$$

**Tabela 15: Grau de relacionamento das redes 3G e wi-fi.**

Dados	Resultado
3G	$(0.3 * 0.24) + (0.3 * 0.14) + (0.3 * 0.62) = \mathbf{0.3}$
wi-fi	$(1.0 * 0.24) + (1.0 * 0.14) + (1.0 * 0.62) = \mathbf{1.0}$

Onde  $\gamma(x_0(k), x_i(k))$  é o valor do coeficiente relacional de cada critério das alternativas avaliadas e  $w_j$  (0.24, 0.14, 0.62) é o peso relacionado a cada critério. Por fim, observa-se que a rede *wi-fi* é a escolhida, visto que, possui o valor igual ao da série padrão.

### 3. CONCLUSÃO

Os métodos MADM são bastante utilizados no processo de seleção de rede para classificar e selecionar o melhor ponto de acesso dentre os disponíveis no ambiente. Muitos autores utilizam várias combinações destes métodos, podendo ser entre si ou com técnicas como lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos e redes neurais. Entre as análises feitas pelos autores estes métodos, chegamos à conclusão de que o GRA é dentre eles o mais robusto para os mais variados parâmetros de rede e ambientes.

Uma observação importante é que em todos os artigos aqui utilizados, os experimentos são executados em ambientes simulados, gerando portanto, questões relacionadas com a acurácia de tais propostas, quando submetidas a ambientes reais.

Desta forma, este trabalho terá sua continuidade como parte integrante de um projeto de mestrado em andamento, no qual é proposta a utilização de uma combinação dos métodos AHP e GRA com a técnica de lógica *fuzzy*, com objetivo de alcançar maior eficiência na seleção de rede, em um ambiente onde coexistam redes sem fio heterogêneas e onde haja deslocamento real do móvel por entre essas redes. Já obtemos alguns resultados preliminares, porém não suficientes ainda para serem relatados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARI, F.; LEUNG, V. **Automated network selection in a heterogeneous wireless network environment.** In: IEEE Network, 2007, v. 21, n. 1, p. 34–40.

BATISTA, M. C. M. **Otimização de acesso em um sistema de integração de dados através do uso de caching e materialização de dados.** 2003. Mestrado - Ciências da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

CICCARESE, G. et al. **Vertical handover algorithm for heterogeneous wireless networks.** In: IEEE. 2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, 2009, p. 1948–1954.

DENG, J. L. **Introduction to grey system theory.** In: The Journal of grey system, 1989, v. 1, n. 1, p. 1–24.

GODOR, G.; DETARI, G. **Novel network selection algorithm for various wireless network interfaces.** In: IEEE. Mobile and Wireless Communications Summit, 16th IST, 2007, p. 1–5.

KASSAR, M.; KERVELLA, B.; PUJOLLE, G. **An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks.** In: Computer Communications, 2008, v. 31, n. 10, p. 2607–2620.

KAYACAN, E.; ULUTAS, B.; KAYNAK, O. **Grey system theory-based models in time series prediction.** Expert Systems with Applications, 2010, v. 37, n. 2, p. 1784–1789.

LU, J. **Multi-objective group decision making: methods, software and applications with fuzzy set techniques.** 2007, Imperial College Press, 408 p.

PEREIRA, S. W. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida.** 2004, Mestrado - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

RIOS, V. M.; MONTEIRO, C. C. **Uma Visão Geral sobre o Método AHP como Solução para a Seleção de Redes Heterogêneas.** In: Encontro Unificado de Computação na Parnaíba, 2011.

SAVITHA, K.; CHANDRASEKAR, C. **Grey relation analysis for vertical handover decision schemes in heterogeneous wireless networks.** In: European Journal of Scientific Research, 2011, v. 54, p. 560–568.

STEVENS-NAVARRO, E.; WONG, V. **Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks.** In: Vehicular Technology Conference. 2006. v. 2, p. 947–951.

TAI, C.; CHANG, C.; CHEN, L. **Applying grey relational analysis to the vendor evaluation model.** In: International Journal of the Computer, the Internet and Management, 2003, v. 11, n. 3, p. 45–53.

WANG, L.; BINET, D. **MADM-based Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks: A Simulation Study.** In: IEEE Wireless VITAE09, 2009, p. 559–564.

YOON, K.; HWANG, C. **Multiple attribute decision making: an introduction.** 1 ed. Sage Publications, Inc, 1995. 83 p.

# Use of Fuzzy Logic for Networks Selection in Heterogeneous Wireless Environment

Vinicius de Miranda Rios\*, Paulo Roberto de Lira Gondim\*\*, Claudio de Castro Monteiro\*\*\*

\* Information Systems Department, University of Tocantins, Palmas, Tocantins - Brazil

\*\*University of Brasilia, Electrical Engineering Department, Brasilia - Brazil

\*\*\*Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins, Computing Science Department, Palmas, Tocantins - Brazil

vinicius.mr@unitins.br, pgondim@unb.br, ccm@ifto.edu.br

**Abstract**— Two proposals are presented in this study in an attempt to solve the problem of network selection, which are based on fuzzy logic techniques and methods of decision making. The first proposal uses a combination of the fuzzy method with two MADM (Multiple Attribute Decision Making) methods, the AHP (Analytic Hierarchy Process) and the GRA (Grey Relational Analysis), whereas the latter uses only the fuzzy logic technique. The two are compared with each other and with a third proposal, which uses a combination of AHP method along with a cost function. The results show that the two proposals presented in this paper are more efficient to sort and select the best access network compared to the third one.

**Keywords**— Network selection, MADM, AHP, GRA, Fuzzy logic

## I. INTRODUCTION

The existence of multiple wireless access networks of different technologies bring along distinct Internet access characteristics (cost, network parameters, security, etc.), which influence directly the quality of service of these networks.

Thus, in these types of environment it is important that the computer can always select the best access point in order to obtain the required flow for the application in use. For this, the use of network selection techniques to classify and select the best access point available in the environment becomes a crucial point so that the handover is executed in a concise way, avoiding some problems such as the ping-pong effect.

With the evolution of the mobile terminals (laptop, netbook, mobile phones, etc.) with multiple network interfaces (Wi-Fi, WiMAX, UMTS, etc.) and with the development of IP-based applications, they have become able to connect to different wireless networks hoping to get the best of real-time services (voice and video) and non-real time (SMS, MMS) [14], i.e., connection anywhere and anytime with the best access network available (ABC - Always Best Connected) [2].

So, the management of the handover becomes an essential part of this scenario (NGWN - Next Generation Wireless Networks), being composed of three phases [3]:

- Phase 1 - checking the available networks in the environment where the device is;
- Phase 2 - sorting and selecting the best access network;
- Phase 3 - executing the handover.

As it may be noted above, the handover takes place between wireless networks with different technologies, known as vertical handover. Instead, the horizontal handover happens between wireless networks with the same technology [4].

The network selection process is within this context whose function is to classify and select the best access network among those available in the environment, and it is divided into three distinct logic blocks, which are [1]: data collection, processing of data and classification of access networks. In general, strategies and network parameters directly impact the selection of network and they can be divided into the following categories [1]:

- Category 1: includes parameters that are not related to quality of service, since they do not change frequently, such as monetary cost, encryption, etc.;
- Category 2: includes widely used quality of service parameters, dynamic or not, provided the network, such as jitter, delay, packet loss, throughput, etc.

Therefore, this study aims to present two proposals supported by the use of Fuzzy Logic technology, demonstrating which one is the most effective in assisting the handover in the proposed scenario, comparing their results with a proposal that does not use such technology.

The remainder of this paper is organized as it follows: the work related to the techniques used is presented in section II; the characterization of experiments is shown in section III; in section IV, the proposals of network selection are described; in section V, the results showing the best proposal are presented; and, finally, the conclusion and future work are presented in section VI.

## II. RELATED WORK

The authors in [5] make a comparison among the MADM, SAW, MEW and TOPSIS methods, whose goal is to classify access networks in three different scenarios. In the first scenario, TOPSIS and SAW methods proved similar in classification of networks, while the MEW method showed a slight variation in its classification. In the second scenario, where two networks are removed from the classification, the SAW and MEW methods proved similar, while the TOPSIS method obtained a change in its classification for suffering from the problem of abnormality ranking. Finally, a

distinction between the classifications obtained in the previous scenarios is presented in the third scenario, where the TOPSIS method proves to be more consistent in the variations, while the SAW and MEW methods are constant with little variability in the classification of networks.

The network selection made by the authors in [6] is based on a fuzzy multiple criteria decision-making, where all the selected criteria are normalized by a normalization function and the result is fuzzified, generating a degree of membership between 0 and 1, which will be used to give weights to these criteria. Finally, the selection of the best access network is made by a cost function.

The network selection algorithm of the authors in [7] gives first preference to the UMTS network, in case the wi-fi is not available, since the former has a greater geographic coverage, not allowing the mobile device to run out of connection. Therefore, the mobile device only initializes the data collection of QoS criteria in order to select the best access network, when there is at least a wi-fi available, the maximum signal is greater than the established limit and it possibly remains a period of time in this environment, thus avoiding the ping-pong effect. After confirming the availability of wi-fi networks in the environment, the mobile device starts data collection, together with the calculation of the weights for each of the criteria for QoS by AHP method. The final decision to select the network will be taken by a cost function.

The authors' article in [8] divides the process of network selection in four stages, which are:

- Checking the need for handover;
- Selecting the appropriate network to continue the application traffic;
- Classifying networks and selecting the best;
- Running the handover.

Thus, in the first stage, is checked whether there is a need for handover, by monitoring the received signal strength and quality of service of networks. If so, the second stage starts, which selects the appropriate networks to continue the user's applications, and, finally, there is the classification of networks according to the user's preferences like cost and network parameters like received signal strength (RSS) in the third stage. In all three stages fuzzy logic is used in three different environments, in this case, applications that use download, voice applications and the user's preference. In download environment the WIMAX network was selected 80% of the time, in voice application environment the cellular network was selected 80% of the time and, finally, in the user's preference environment the WLAN network was selected 80% of the time.

### III. METHODOLOGY

To assess the impacts of network parameters (QoS), jitter, delay and packet loss, in addition to the monetary cost parameter in the network selection process, a scenario with two computers and two access points was set up, which are structured as shown in Figure 1 and taking the following function:

- Computer 1: Client;

- Computer 2: Router;
- Wi-fi access point 1: 802.11b model;
- Wi-fi access point 2: 802.11g model;
- 3G base station 1: UMTS;
- 3G base station 2: UMTS.

The client computer has two USB (Universal Serial Bus) network interfaces and two USB 3G network interfaces, each previously connected to its respective access point. Therefore, the wi-fi interfaces are connected to access points 1 and 2, while the 3G interfaces are connected to different mobile operators, called base stations 1 and 2.

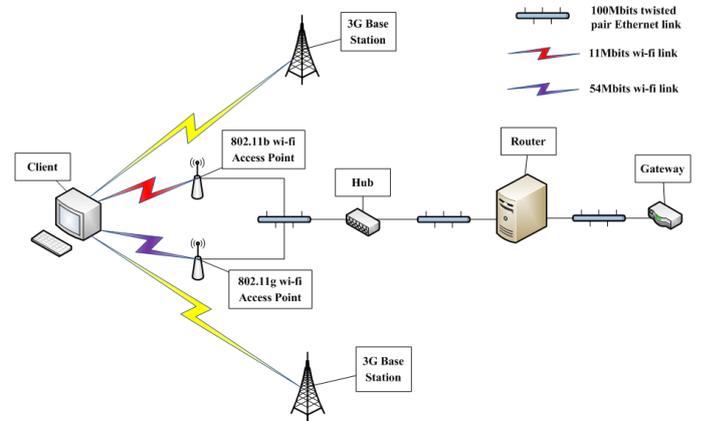


Figure 1. Representation of the structure of the test scenario

All computers used in the assembly of this scenario have the same configuration: Intel Atom Dual Core, 2GB RAM and 500GB hard drive. Table 1 shows the list of hardware and software installed and used in computers.

TABLE 1. LIST OF HARDWARE AND SOFTWARE USED IN SCENARIO FOR EXPERIMENTS

Computador	Software	Hardware
1	- Linux Ubuntu version 4.11 Natty Narwhal Operating System;  - gcc version 4.5.2.	- Two wi-fi network cards: * Tenda 802.11N pattern.  - Two 3G network cards: * ONDA MAS190UP model; * HUAWEI E173 model.
2	- FreeBSD version 8.2 operating system.  - ipfw dummysnet version 4.	- Three network cards: * 100Mbps Ethernet.

Thus, the experiments consisted of 35 iterations, each iteration consisting of two rounds and each round consisting of 10 ICMP (Internet Control Message Protocol) requirements of the client bound to its outgoing gateway, collecting the values of jitter, delay and packet loss generated in these two shifts, during a whole week, in the morning, afternoon and

night shifts, totaling 420 iterations on a single day. It is important to mention that the best access network is selected in each iteration (60 seconds). Then, the averaged values of these parameters were forwarded to the processing and classifying techniques which selected the best network access.

All traffic generated in wi-fi networks was done by the router through the ipfw (ipfirewall) command, since we have no control over the 3G networks because operators do not allow access to their infrastructure. Therefore, as there was no way of knowing how much traffic was being transmitted over 3G networks, our own traffic needed to be created in wi-fi access points, simulating a lot of traffic. Graphs based on these experiments will be designed to visually demonstrate at what point the best network was selected for each proposal, and the classification given by them as well.

It is relevant to mention that the experiments took place in a fixed terminal, i.e., with no movements in it.

#### IV. PROPOSALS

##### A. Network selection using fuzzy logic, AHP and GRA

Our first proposal for network selection is aimed at using two strategies already quite widespread in the literature, except combining them in order to rank and select the best available network access in the environment the most efficiently possible. The strategies are: fuzzy logic and two MADM, AHP and GRA methods.

The choice of fuzzy logic was motivated by the accurate output supplied from the raw data input, while the choice of AHP was motivated due to its efficient method to generate weights for objective data and, finally, the choice of GRA was motivated because it is a very efficient method of classifying alternatives to meet a certain goal, in this case the choice of the best access network.

Our system is divided into three functional blocks: the collector, processor and decision maker. The collector aims to collect data concerning the delay, jitter and packet loss, provided by the ICMP, as it can be seen in Figure 2.

The monetary cost parameter is fixed, with no need to be collected. It just needs to be informed by the mobile operator with the value of wi-fi networks, 0 and the network values of base station 1 and base station 2, 89.9 and 79.9 reais respectively, since only the terminal access to the access point is being considered.

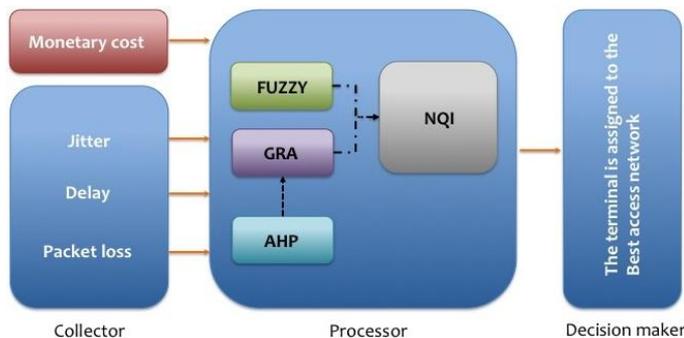


Figure 2. Architecture of the fuzzy logic, AHP and GRA proposal

This collection takes place through two rounds of 10 ICMP, based on the user's terminal to the access point, where at every turn the collected values are stored in a file, in this case, the medium RTT (Round Trip Time), because we are dealing with the sum of all the end-to-end delay [9].

Once stored, these data are then processed by the processor whose module consists of the fuzzy logic technique and the AHP and GRA methods in order to classify access networks in the environment where the terminal is.

Among the known types of traffic, there are the data, the audio and video, considering that the audio and video produce a large amount of network traffic. As there are no known video thresholds, we chose to use the thresholds audio in the fuzzy system, since they are already known and documented, stating that in a transmission of audio (VoIP - Voice over Internet Protocol), the delay cannot be greater than 300 ms, the jitter cannot be greater than 150ms and packet loss cannot exceed more than 3% [11] - [13], leaving the sound ineligible for the human ear, in these cases.

Under this assumption, in the fuzzy system, each linguistic variable jitter, delay, packet loss and monetary cost have three linguistic terms, which are: low, medium and high, where the universe of discourse of each of them is within the audio traffic thresholds. Each of these terms was fuzzified with triangle membership function with the inference of the Mamdani method over the generated result, as it can be seen in Figure 3.

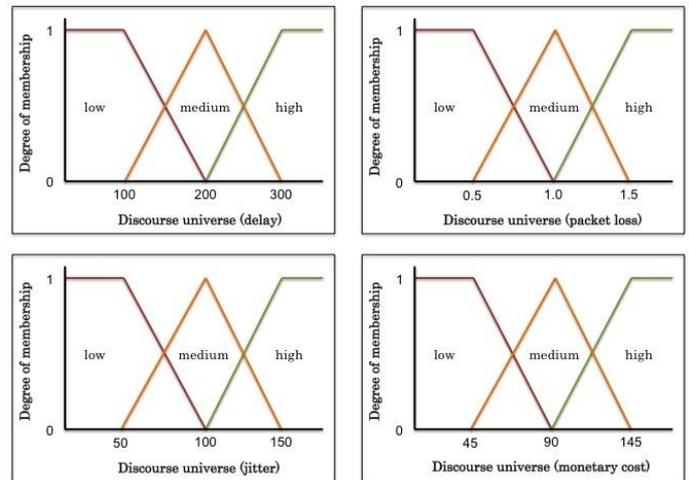


Figure 3. Fuzzification

Here are some examples of the rules of fuzzification used in this proposal.

- if delay is low and jitter is low and packet loss is low and monetary cost is low, then MOS is great;
- if delay is low and jitter is low and packet loss is low and monetary cost is medium, then MOS is great;
- if delay is low and jitter is low and packet loss is low and monetary cost is high, then MOS is great;
- if delay is low and jitter is low and packet loss is medium and monetary cost is low, then MOS is great;

- if delay is low and jitter is low and packet loss is average and monetary cost is medium, then MOS is close to great;
- if delay is low and jitter is low and packet loss is average and monetary cost is average, then MOS is good;

Finally, the defuzzification has the linguistic variable called "mos", which has five linguistic terms, which are: bad, close to good, good, close to great and great, as it can be seen in Figure 4. The final result is calculated by the maximum center method.

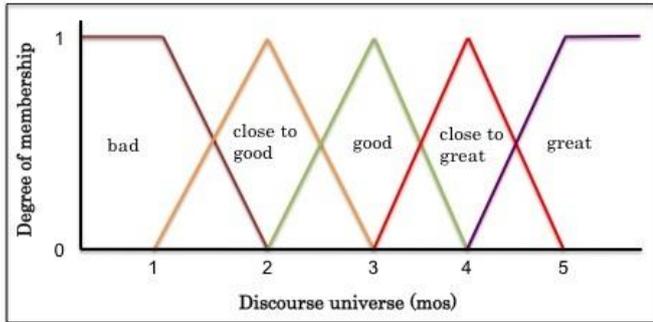


Figure 4. Deffuzification

So as it can be seen, our fuzzy system has four inputs and one output, the latter informs how much quality the network has. Besides, there is the GRA method, which will also receive the same values collected from jitter, delay, packet loss and monetary cost, resulting in the classification (score) of each network. This classification is made possible because of the weights provided by the AHP method for each criterion. The weights obtained by AHP for the criteria mentioned above are 0.18, 0.25, 0.05 and 0.52 respectively.

These weight values were based on the importance of each network QoS criterion concerning the audio transmission, i.e., jitter has a slightly larger importance than the delay for voice traffic and they have a much greater importance than the packet loss [13], while the monetary cost has a much greater importance than the criteria mentioned above, since we assume that the user will always opt for the cheaper access network.

Finally, there is the decision maker module, whose function is to select the best access network among those available in the environment where the user is, through the biggest value of the NQI (Network Quality index) variable resulting from the processor module, whose final value is an arithmetic average of the results generated by fuzzy logic and the result generated by the AHP and GRA methods.

### B. Network selection using fuzzy logic

Our second proposal of network selection has all the characteristics of the first one, except for the AHP and GRA methods, i.e., only the technique of fuzzy logic is used, as it can be seen in Figure 5.

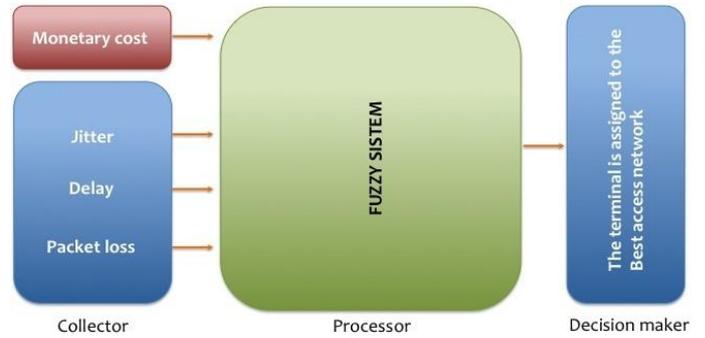


Figure 5. Architecture of the proposed fuzzy logic

Fuzzy logic is a mathematical technique that works with the theory of sets, i.e., each of the linguistic terms used in both the fuzzification and defuzzification are subsets as bad, good, great, etc. If all values collected from access networks meet, for example, within the range belonging to the bad subset, even with different values from each other, they will have the same score, a fact that constrains the application of this technology to the data sets that may not have this feature. Therefore, we present an alternative to the use of fuzzy logic on data with these characteristics, the use of the GRA technique.

## V. RESULTS

The results obtained with each of the proposals is featured in the graphics below, which were produced based on the total average of the parameters of jitter, delay and packet loss collected from the access networks that were selected in each iteration.

The proposal using the combination of fuzzy logic with the AHP and GRA methods proved very efficient in selecting network, with the final result of 99.76% correct choice on the access networks available in the environment, as shown in Figure 6.

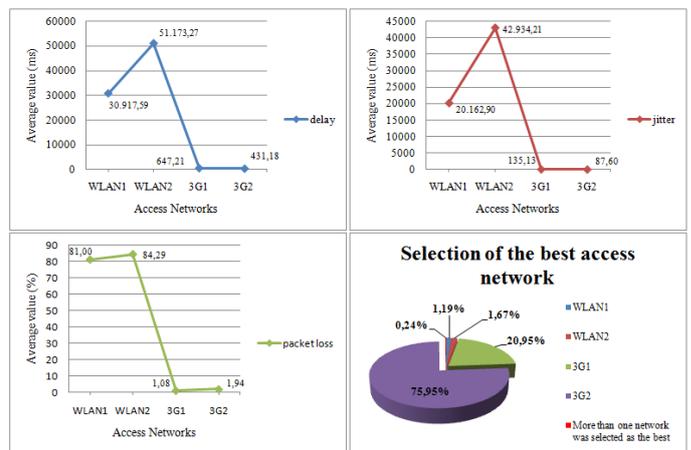


Figure 6. Network selection using fuzzy logic, AHP and GRA

By looking at the average values of each criterion, ranging from the tens or hundreds of one network to another, it is possible to notice that they are in the same fuzzy subset, i.e., the WLAN1 and WLAN2 access networks, though with high

values in their criteria, would have the same classification as the other networks in some iterations, and the classification by the given weights to each criterion prevailed when combined with the AHP and GRA methods. Thus, 1.19% of WLAN1 choice and 0.24% of WLAN2 choice occurred in an iteration where all criteria were judged by the fuzzy system getting the same punctuation and the same happened with the GRA method, since in this sense, the monetary cost criterion stood out at the time of choice.

The proposal using only fuzzy logic proved slightly less efficient in the network selection, with the final result of 97.86% correct choice on the access networks available in the environment, as shown in Figure 7.

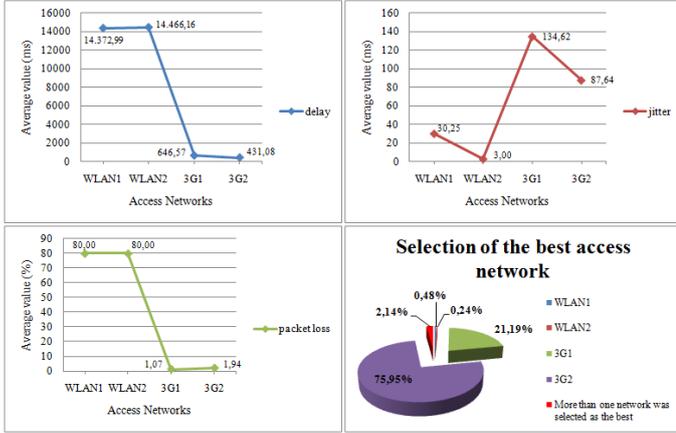


Figure 7. Network selection using fuzzy logic

By looking at the average values of each criterion, ranging from the tens or hundreds of one network to another, it is possible to notice that they are in the same subset, i.e., the access networks, though with high values in their criteria, would have the same classification as the other networks in some iterations. Thus, the 2.14% related to the selection of more than one access network is due to the fact that in more than one iteration the values of jitter, delay and packet loss are stored in the same fuzzy subset.

The proposal of network selection in [7], when used in our scenario, got a very poor performance in relation to the other two proposals, as shown in Figure 8. This is because of the cost function used by the authors, having a parameter value to 0, using equation (2), since all of our criteria are of cost, i.e., the lower the value of the collected data, the better the values of the operation, and even the final score of the access network will result in the value 0.

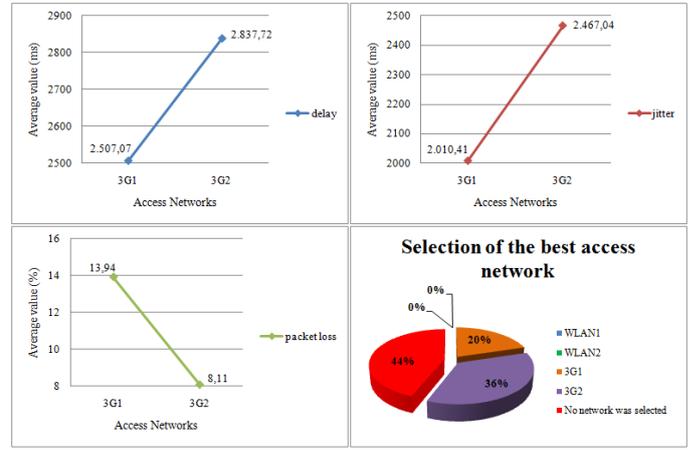


Figure 8. Network Selection using AHP and cost function

The weights given to jitter, delay, packet loss and monetary cost criteria through the AHP method were 0.323, 0.323, 0.198 and 0.154 respectively.

The authors standardized parameters using two assumptions:

The bigger, the better:

$$S(x_{ij}) = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (1)$$

The smaller, the better:

$$S(x_{ij}) = \frac{\min\{x_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m\}}{x_{ij}} \quad (2)$$

The normalization of the parameters is:

$$N(x_{ij}) = \frac{S(x_{ij})}{\sum_{j=1}^n S(x_{ij})} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Thus, the rate of decision making in the network  $i$  can be calculated as:

$$I_i = \sum_{j=1}^n w_j N(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Therefore, the proposal in [7] failed to select any access network in 44% of the experiments because the final score of WLAN1 and WLAN2 networks are equal to zero, making the solution ineffective for this type of scenario. By observing Figure 8, it is possible to verify that the 3G1 access network has a lower percentage of selection against 3G2 network, even with its monetary cost inferior to this network, it happens because some of the network parameters, delay, jitter and packet loss have values equal to zero in some iterations, thus influencing the choice of 3G2 network at certain times.

## VI. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this article we implemented two proposals, which had a very good performance in the proposed scenario, showing the effectiveness of the fuzzy logic technique that combined with classification methods as the GRA proved even more efficient.

Therefore, we can see that the decision-making methods are very useful in the classification of alternatives to achieve a goal and combined with an artificial intelligence technique makes the final result even more accurate.

As future work, these proposals are intended to be integrated with a handover software to a mobile device like a cell phone, enabling tests in motion, thus encompassing the whole process of mobility management.

#### REFERENCES

- [1] BARI, F. and LEUNG, V. Automated network selection in a heterogeneous wireless network environment. *Network*, IEEE, 21(1):34–40, 2007.
- [2] KASSAR, M.; KERVELLA, B.; PUJOLLE, G. An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, Elsevier, v. 31, n. 10, p. 2607–2620, 2008.
- [3] SINGHROVA, A.; PRAKASH, N. Adaptive Vertical Handoff Decision Algorithm for Wireless Heterogeneous Networks. In: IEEE COMPUTER SOCIETY. Proceedings of the 2009 11th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications. [S.l.], 2009. v. 0, p. 476–481.
- [4] CICCARESE, G. et al. Vertical handover algorithm for heterogeneous wireless networks. In: IEEE. 2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC. [S.l.], 2009. p. 1948–1954.
- [5] TRAN, P.; BOUKHATEM, N. Comparison of madm decision algorithms for interface selection in heterogeneous wireless networks. In: IEEE. Software, Telecommunications and Computer Networks, 2008. SoftCOM 2008. 16th International Conference on. [S.l.], 2008. p. 119–124.
- [6] RADHIKA, K.; REDDY, A. V. Network selection in heterogeneous wireless networks based on fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Computer Applications*, Foundation of Computer Science (FCS), v. 22, n. 1, p. 7–10, 2011.
- [7] WEI, Y.; HU, Y.; SONG, J. Network selection strategy in heterogeneous multi-access environment. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, v. 14, p. 16–49, 2007.
- [8] KRISHNA, M.; RAJESH, L. Implementation of fuzzy logic for network selection in next generation networks. In: IEEE. Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 2011 International Conference on. [S.l.], p. 595–600.
- [9] KUROSE, J.; ROSS, K. *Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem topdown*. 5. ed. - São Paulo, 2010.
- [10] ANWAR, Z. et al. Multiple design patterns for voice over ip (voip) security. In: IEEE. Performance, Computing, and Communications Conference, 2006. IPCCC 2006. 25th IEEE International. [S.l.], p. 8.
- [11] ITU-T, R.; RECOMMEND, I. G. 114. One-way transmission time, v. 18, 2000.
- [12] VLEESCHAUWER, D. D. et al. Quality bounds for packetized voice transport. *Alcatel Telecommunications Review*, Citeseer, p. 19–24, 2000.
- [13] SILVA, D. J. *Análise de qualidade de serviço em redes corporativas*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2004.
- [14] MONTEIRO, C. de C.; GONDIM, P. de L. Video Quality Guarantee for Mobile Users Across WLAN/3G Networks. In: IEEE. Advanced Communication Technology (ICACT), 2011 13th International Conference on. [S.l.], p. 1075–1079.