



Pós-Graduação em Ciência da Computação

**Ronaldo Vasconcelos Parente**

# **Uma Análise de uma Arquitetura de Seleção de Redes**



**Universidade Federal de Pernambuco**

**posgraduacao@cin.ufpe.br**

**[www.cin.ufpe.br/~posgraduacao](http://www.cin.ufpe.br/~posgraduacao)**

**Recife**

**2017**

**Ronaldo Vasconcelos Parente**

**Uma Análise de uma Arquitetura de Seleção de Redes**

Este trabalho foi apresentado à Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

**Área de Concentração:** Ciência da Computação

**Orientador:** Paulo André da Silva Gonçalves

Recife

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Monick Raquel Silvestre da S. Portes, CRB4-1217

P228a Parente, Ronaldo Vasconcelos  
Uma análise de uma arquitetura de seleção de redes / Ronaldo Vasconcelos Parente. – 2017.  
79 f.: il., fig., tab.

Orientador: Paulo André da Silva Gonçalves.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CIn, Ciência da Computação, Recife, 2017.  
Inclui referências.

1. Redes de computadores. 2. Redes heterogêneas. 3. Arquitetura de seleção. I. Gonçalves, Paulo André da Silva (orientador). II. Título.

004.6

CDD (23. ed.)

UFPE- MEI 2019-106

**Ronaldo Vasconcelos Parente**

**Uma Análise de uma Arquitetura de Seleção de Redes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre Profissional em 10 de julho de 2017.

Aprovado em: 10/07/2017.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Carlos André Guimarães Ferraz  
Centro de Informática / UFPE

---

Prof. Obionor de Oliveira Nóbrega  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Paulo André da Silva Gonçalves  
Centro de Informática / UFPE  
(Orientador)

*Dedico este trabalho à minha esposa Débora e meus filhos Arthur e Yuri.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Nossa Senhora de Fátima, que em minhas orações sempre me fez sentir amparado nos momentos difíceis.

À minha esposa Débora e aos meus filhos Arthur e Yuri pelo carinho, incentivo, ajuda e compreensão durante minhas ausências nos períodos de viagens e estudos.

À minha mãe Etelvina pelo apoio e orações. Professora de profissão, tive em casa as primeiras orientações sobre a importância e disciplina nos estudos.

Aos colegas de trabalho sempre solidários em todas as etapas.

Aos colegas de turma pela amizade, compartilhamento de conhecimentos técnicos e experiências profissionais, extremamente importantes durante o mestrado.

Ao Centro de Informática pela acolhida, em especial ao meu orientador Paulo Gonçalves pela fundamental ajuda e compreensão.

Ao IFTO e Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) pelo apoio durante as semanas de aulas e custeio do programa de mestrado.

## RESUMO

O cenário atual para usuários de dispositivos sem fio como *smartphones*, *tablets*, *notebook* e outros, equipados com múltiplas *interfaces* de comunicação sem fio, promovem a situação em que diversas tecnologias de redes de acesso sem fio são oferecidas em paralelo sob diferentes domínios administrativos, impactando na experiência do usuário durante o uso. Nessa situação, onde redes com características diferentes, concorrentes ou não, tornam-se elementos de escolha para usuários, cabe analisar o momento e a rede mais adequados para estabelecer uma conexão conforme os conceitos ABC (*Always Best Connected*). Pesquisas na área de seleção de redes ao longo dos últimos anos buscam definir métodos e arquiteturas que auxiliem no processo de escolha da melhor rede em ambientes heterogêneos, levando em consideração o perfil do usuário, requisitos de aplicação, posicionamento e movimentação dos dispositivos. Entre as técnicas de seleção pesquisadas estão os algoritmos MADM (*Multiple Attribute Decision Making*) utilizados para ponderar atributos e classificar as redes disponíveis. A maioria das pesquisas consiste em aplicar essas técnicas em algoritmos embarcados nos dispositivos sem fio em substituição ao método tradicional que considera apenas força do sinal e prioriza redes WLAN em relação a 3G/4G. Outras pesquisas consideram a necessidade de economia de recursos computacionais do lado do dispositivo sem fio e propõem arquiteturas de classificação do tipo cliente-servidor. Neste trabalho é implementada e avaliada uma arquitetura de seleção de melhor rede no modelo cliente-servidor, que entrega para usuários de redes WLAN a classificação das redes disponíveis de acordo com seu QoS e o posicionamento em relação ao dispositivo sem fio do usuário. A avaliação consiste na comparação da classificação sugerida pelo servidor com a classificação e escolha da melhor rede do ponto de vista do dispositivo sem fio.

**Palavras-chave:** Redes Heterogêneas. Seleção de rede baseada em GPS. Tomada de Decisão com Múltiplos Atributos. Arquitetura de Seleção. Sempre Melhor Conectado (ABC).

## ABSTRACT

The current scenario for the users of wireless devices such as smartphones, tablets, notebooks and others, which are equipped with multiple wireless interfaces, provide a situation where various wireless access network technologies are offered together under different administrative domains, impacting the user's experience during the usage. In this situation, where networks with different characteristics, being them concurrent or not become choice elements for the users, it is better to analyze the more appropriate moment and network to establish a connection according to the ABC (Always Best Connected) concepts. Researches carried out in the area of network selection along the past years seek to define methods and architectures that back up the choice process of the best network in heterogeneous environments, taking into consideration the user's profile, application requirements, devices placement and movement. Among the selection techniques surveyed are the MADM (Multiple Attribute Decision Making) algorithms that were employed to measure attributes and to classify the available networks. The majority of the researches consist of applying those techniques in algorithm embedded in the wireless devices substituting the traditional method that considers only the signal strength and prioritizes WLAN networks in relation to the 3G/4G. Other investigations consider the need of computational resources economy beside the wireless device and propose rating architectures of the client/server type. In this work, a selection of the best network client/server architecture is implemented and evaluated, that provides to the users of the WLAN networks a classification of the available networks according to their QoS and the positioning in relation to the user's wireless gadget. The evaluation is made up of the comparison of the server's suggested classification with the classification and choice of the best network on the perspective of the wireless device.

**Keywords:** Heterogeneous Wireless Networks. GPS-based Network Selection. Multiple Attribute Decision Making. Selection Architecture. Always Best Connected (ABC).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área com diferentes redes para conexão. . . . .	13
Figura 2 – Esquema de Seleção <i>WLAN-First</i> . . . . .	23
Figura 3 – Esquema handoff tradicional. . . . .	26
Figura 4 – Esquema de seleção concentrado no usuário. (CALVAGNA; MODICA, 2004) . . . . .	33
Figura 5 – Hierarquia do problema em AHP . . . . .	34
Figura 6 – Esquema de Seleção Arquitetura 1 . . . . .	42
Figura 7 – Esquema de handoff proposto em (FIONA; SHAJI; JAYAN, 2014) . . .	44
Figura 8 – Arquitetura cliente-servidor . . . . .	45
Figura 9 – Funções dos Módulos Servidor e Cliente - Arquitetura de (SILVA, 2015)	46
Figura 10 – Arquitetura cliente-servidor (SILVA, 2015) - Módulo Servidor . . . . .	47
Figura 11 – Arquitetura Implementada . . . . .	51
Figura 12 – Fluxo do Coletor de Redes Locais . . . . .	52
Figura 13 – Arquitetura do Coletor . . . . .	54
Figura 14 – Arquitetura do Classificador . . . . .	56
Figura 15 – Ambiente de Teste da Arquitetura . . . . .	62
Figura 16 – Pontos de coleta pelo DSF. . . . .	67
Figura 17 – Ponto1 - Posicionamento do DSF no ponto de coleta 1. . . . .	70
Figura 18 – Ponto1 - Percentual de leituras combinadas. . . . .	71
Figura 19 – Posicionamento do DSF no ponto de coleta 2. . . . .	72
Figura 20 – Ponto2 - Percentual de leituras combinadas. . . . .	73
Figura 21 – Posicionamento do DSF no ponto de coleta 3. . . . .	75
Figura 22 – Ponto3 - Percentual de leituras combinadas. . . . .	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala MOS . . . . .	29
Tabela 2 – Categoria de serviços e QoS . . . . .	29
Tabela 3 – Escala de comparação entre os critérios utilizados pelo AHP . . . . .	34
Tabela 4 – Comparação de atributos no AHP . . . . .	35
Tabela 5 – Normalização de atributos no AHP . . . . .	35
Tabela 6 – Pesos finais dos atributos no AHP . . . . .	35
Tabela 7 – Matriz modelo para exemplificar o processo com TOPSIS (SILVA, 2010)	37
Tabela 8 – Exemplo de normalização em TOPSIS . . . . .	37
Tabela 9 – Pesos dos valores normalizados . . . . .	38
Tabela 10 – Valores ideais e não ideais para a seleção TOPSIS. . . . .	38
Tabela 11 – Distâncias ideais positivas e negativas das alternativas em TOPSIS. . .	38
Tabela 12 – Proximidade com as soluções ideais TOPSIS. . . . .	39
Tabela 13 – Matriz de alternativas e atributos para GRA. . . . .	39
Tabela 14 – Valores adequados para o conceito MOS. . . . .	44
Tabela 15 – Valores obtidos no ponto de coleta 1 . . . . .	70
Tabela 16 – Ponto1 - Médias dos valores dos critérios. . . . .	71
Tabela 17 – Ponto1 - Frequência de Indicações de Redes. . . . .	71
Tabela 18 – Valores obtidos no ponto de coleta 2 . . . . .	73
Tabela 19 – Ponto2 - Médias dos valores dos critérios. . . . .	73
Tabela 20 – Ponto2 - Frequência de Indicações de Redes. . . . .	73
Tabela 21 – Valores obtidos no ponto de coleta 3 . . . . .	74
Tabela 22 – Ponto3 - Médias dos valores dos critérios. . . . .	74
Tabela 23 – Ponto3 - Frequência de Indicações de Redes. . . . .	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WLAN	Wireless Local Area Network
UTMS	Universal Mobile Telecommunications System
ABC	Always Best Connected
CDMA	Code Division Multiple Access
LTE	Long Term Evolution
DSF	Dspositivo Sem Fio
RSS	Received signal strength
AAA	Protocol of Authentication, Authorization and Accounting
DLS	Digital Subscriber Line
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
RSS	Received signal strength
CIR	Carrier-to-Interferences
SIR	Signal-to-Interferences
BER	Bit Error Rate
SQL	Structured Query Language
HTML	Hypertext Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
BASH	GNU Bourne-Again SHell
CRL	Coletor de Redes Locais
CRN	Classificador de Redes em Nuvem

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos do Trabalho</b>	<b>15</b>
1.2.1	Geral	15
1.2.2	Específico	15
<b>1.3</b>	<b>Estrutura da Dissertação</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>SELEÇÃO DE REDES</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Melhor Conectado</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Técnicas e Critérios</b>	<b>22</b>
2.3.1	Esquema <i>WLAN-First</i>	22
2.3.2	Problemas de <i>Handoff</i>	24
2.3.3	<i>Handoff</i> Controlado pela Rede	24
2.3.4	<i>Handoff</i> Controlado pelo DSF	25
2.3.5	Qualidade de Serviço e Qualidade de Experiência	27
2.3.6	Algoritmos de Seleção	30
2.3.7	Estratégia com Função de Custo	31
2.3.8	Estratégia Concentrada no Usuário	31
2.3.9	Estratégia Baseada em Múltiplos Atributos (MAD)	32
2.3.9.1	<i>AHP</i>	34
2.3.9.2	<i>SAW</i>	36
2.3.9.3	<i>TOPSIS</i>	37
2.3.9.4	<i>GRA</i>	39
2.3.9.5	<i>Conclusão sobre Técnicas MAD</i>	40
<b>2.4</b>	<b>Arquiteturas De Seleção</b>	<b>41</b>
2.4.1	Trabalhos Relacionados	41
2.4.2	Conclusão dos Trabalhos Relacionados	48
<b>3</b>	<b>ARQUITETURA IMPLEMENTADA PARA ANÁLISE</b>	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Coletor de Redes Locais</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>Classificador de Redes em Nuvem</b>	<b>55</b>
3.2.1	Base de Dados de Coletas	56
3.2.2	Classificação de Redes	57
3.2.3	Interface com o Cliente	58
3.2.4	Dispositivo Sem Fio	59

3.2.5	Conclusão . . . . .	59
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DA ANÁLISE . . . . .</b>	<b>61</b>
4.1	Introdução . . . . .	61
4.2	Ambiente de Teste . . . . .	61
4.3	Algoritmo dos Coletores . . . . .	64
4.4	Algoritmo do Dispositivo sem Fio . . . . .	65
4.5	Pontos de Análise . . . . .	67
4.6	CrITÉRIOS de Análise . . . . .	68
4.7	Conclusão . . . . .	68
<b>5</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>69</b>
5.1	Introdução . . . . .	69
5.2	Resultados dos Pontos de Coleta . . . . .	69
5.2.1	Ponto de Coleta 1 . . . . .	70
5.2.2	Ponto de Coleta 2 . . . . .	72
5.2.3	Ponto de Coleta 3 . . . . .	74
5.2.4	Segunda Área de Monitoramento . . . . .	76
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>77</b>
6.1	Trabalhos Futuros . . . . .	78
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Paralelo ao crescimento de dispositivos com *interfaces* de conexão sem fio (DSF) pessoais conectados a rede mundial de computadores, cresce também a oferta de conectividade e tecnologias de redes sem fio em locais diversos com áreas de cobertura cada vez mais abrangentes. Entre as tecnologias de rede sem fio mais comuns utilizadas por usuários de DSF, temos as redes de dados das operadoras de celulares (3G, 4G), que oferecem maior cobertura e conectividade, e as redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) disponíveis em ambientes comerciais, empresas, escolas e áreas públicas. Cada uma destas redes pode ser utilizada por provedores de serviços para usuários e seus dispositivos ou simplesmente prover a conectividade necessárias para o acesso à serviços disponíveis na rede mundial. Atualmente, considerando a quantidade de ambientes onde redes WLAN são disponibilizadas, é comum encontrarmos a situação em que um usuário e seu DSF, em um determinado local, disponham de vários pontos de acesso à redes WLAN distintas. Muitas destas redes podem operar sob tecnologias e domínios administrativos diferentes, ou não, dispondo de um ou vários pontos de conexão, além da conexão 3G/4G disponível para maioria dos DSF.

De acordo com a figura 1, com a disponibilidade de várias redes e pontos de acesso em um mesmo local, o DSF precisa lidar também com várias situações relacionadas à qualidade da conexão ponto a ponto, largura de banda disponível e regras de acesso, características que podem variar muito de uma rede para outra. Dependendo do serviço de rede que o DSF esteja acessando, é importante que a rede na qual esteja conectado ofereça as características necessárias para atender às condições de rede requeridas pelo serviço.

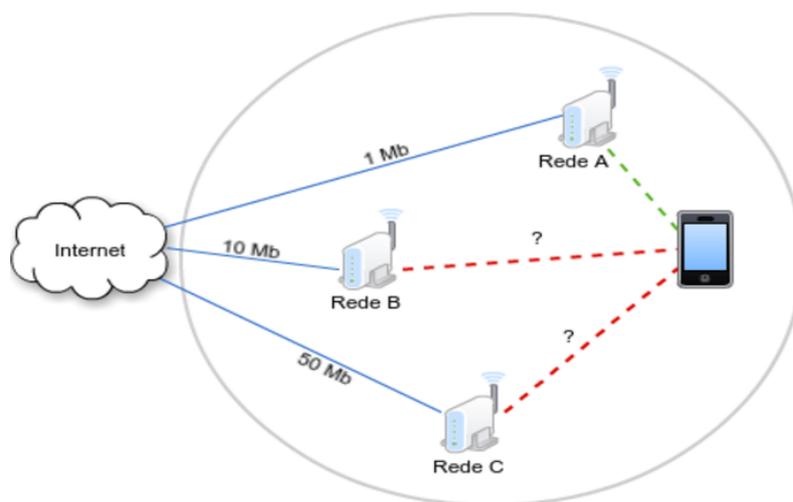


Figura 1 – Área com diferentes redes para conexão.

No momento em que um DSF tenha disponível mais de uma rede em que possa estabelecer uma conexão e através dela acessar serviços locais ou da rede mundial, uma avaliação das condições destas redes, com base em alguns parâmetros relevantes para os serviços a serem acessados, é fundamental para decidir qual rede o dispositivo deve estabelecer a conexão.

Atualmente os mecanismos de seleção de rede implementados na maioria dos DSF disponíveis no mercado ainda não oferecem um algoritmo eficiente para esta seleção. Na maioria dos casos, o algoritmo de seleção de rede toma como base apenas o nível de sinal recebido pela rede e medido pelo dispositivo, considerando o mais forte a melhor opção. Além disso, o custo financeiro para acesso às redes também é considerado. Entre redes WLAN e 3G/4G, a tendência é estabelecer a conexão com a primeira. Neste aspecto, outros parâmetros importantes são desconsiderados, o que pode comprometer seriamente o acesso a serviços de rede quando, por exemplo, a rede 3G estiver em melhores condições para os interesses do usuário e o mecanismo de seleção de rede optar pela rede WLAN.

Diante disso, cresce a necessidade de mecanismos de seleção de rede mais eficientes, que possam considerar mais parâmetros e utilizar técnicas de otimização computacional e/ou arquiteturas de rede otimizadas para seleção de redes, e assim possibilitar aos usuários de DSF uma melhor experiência no consumo de serviços disponíveis nas redes acessadas.

## 1.1 Motivação

Mecanismos de seleção de redes são pesquisados desde a década de 90 e ainda não há um modelo ótimo ou padrão formal consolidado. O mecanismo de seleção de rede comercialmente implementado na maioria dos DSF atuais é baseado no algoritmo *WLAN-First* (SONG; JIANG; ZHUANG, 2007),(TING et al., 2013), onde a conexão para serviços de dados e voz são priorizados sobre redes WLAN sempre que disponíveis. Basicamente, os critérios adotados neste esquema levam em consideração a qualidade do sinal do ponto de acesso (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*) e o custo financeiro da conexão.

A utilização única do *WLAN-First* como algoritmo de seleção de redes não garante aos DSF uma decisão razoável sobre qual rede utilizar, pois nem todas as redes disponíveis oferecem as condições necessárias para o perfil de consumo de serviço do usuário. Uma WLAN tipicamente é considerada como uma rede que oferece taxas de transferência de dados superiores às redes celulares que utilizam tecnologia 3G/4G. Esta consideração otimista nem sempre é confirmada quando uma análise mais criteriosa das condições da rede é aplicada. A decisão de migrar de uma rede 3G para uma rede WLAN pode, muitas vezes, comprometer o acesso a uma ou várias categorias de serviço de rede. (dados, voz e vídeo).

A evolução do processo de seleção de redes está relacionada ao mecanismo incorporado ao sistema operacional do DSF responsável pela análise das redes disponíveis e tomada de decisão, seja automático ou manual. Este mecanismo precisa considerar mais variáveis e utilizar técnicas de otimização/classificação mais avançadas para se obter uma postura mais inteligente no uso das conexões disponíveis. Pesquisas na área propõem a realização de testes utilizando diferentes técnicas computacionais, combinações de parâmetros para gerar uma classificação das redes disponíveis conforme serviço acessado e necessidade do usuário. Estes testes buscam um modelo que resolva ou atenua o problema de seleção de melhor rede descrito anteriormente e torne-se um padrão comercial.

Uma das preocupações nas pesquisas por um melhor mecanismo de seleção é não comprometer a capacidade de processamento dos DSF com esses novos algoritmos (SILVA, 2015). Para se chegar a uma classificação coerente da qualidade das redes disponíveis em uma área, é necessário ocorrer um processo de coleta de dados, análise e classificação. Dependendo da quantidade de parâmetros e da técnica computacional utilizados, este processo de seleção poderia consumir um tempo e um nível de processamento inviável para maioria dos DSF. Além disso, ainda não há uma indicação de quais parâmetros, técnica computacional ou arquitetura que representam um modelo ideal para o mecanismo de seleção.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

### 1.2.1 Geral

Pesquisar sobre técnicas e arquiteturas já utilizadas no processo de seleção de redes, considerando as últimas arquiteturas propostas para este cenário, implementar e avaliar uma dessas arquiteturas de seleção para redes WLAN.

### 1.2.2 Específico

- Estudar as técnicas implementadas no processo de classificação de redes em ambientes heterogêneos que incluam redes WLAN.
- Selecionar algumas arquiteturas de seleção já propostas e avaliar a implementação de uma delas propondo possíveis otimizações no esquema.
- Implementar e avaliar uma arquitetura de seleção de redes em ambiente real, de baixo custo e complexidade operacional, direcionada para redes WLAN.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

No capítulo 2 é apresentado uma introdução sobre os problemas relacionados no processo de escolha da melhor rede para DSF, os conceitos envolvidos que direcionam os estudos na área e também as estratégias já utilizadas em mecanismos de seleção envolvendo análise de múltiplos parâmetros, cálculos matemáticos e arquiteturas.

No capítulo 3 é descrito o ambiente implementado para avaliação de uma arquitetura de seleção de redes envolvendo dispositivos que monitoram pontos de acesso WLANs em uma determinada área com um classificador centralizado que fornece para usuários de DSF informações sobre as condições dessas redes tomando como base seu posicionamento.

No capítulo 4 é descrito o cenário onde a arquitetura foi aplicada, a forma como os dados foram coletados e os dispositivos utilizados na avaliação.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos na avaliação da arquitetura descrita nos capítulos 3 e 4.

No capítulo 6 são apresentados a conclusão e trabalhos futuros sobre os resultados obtidos na implementação e avaliação da arquitetura apresentados no capítulo 5.

## 2 SELEÇÃO DE REDES

### 2.1 Introdução

Com a evolução das redes sem fio, diferentes tecnologias estão hoje disponíveis no mercado e são utilizadas por grandes e médias empresas para prover serviços de dados e voz para clientes com dispositivos móveis. Telefone celular, *Tablets* e *Notebooks* são exemplos de dispositivos capazes de se conectarem a redes sem fio. Entre as tecnologias de rede sem fio mais utilizadas atualmente podemos destacar as redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) padrão IEEE 802.11, WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), 3G UMTS, 4G LTE. Algumas dessas tecnologias são utilizadas em várias categorias de redes de dados, desde grandes provedores de serviço a redes domésticas. Em alguns casos, tecnologias de conexão de rede diferentes são utilizadas pelo mesmo provedor de serviço como forma de aumentar a cobertura para seus clientes.

Dispositivos móveis ou sem fio (DSF) atuais possuem pelo menos duas *interfaces* de conexão para redes de tecnologias diferentes. Tomando como exemplo os telefones celulares mais modernos, a maioria é capaz de estabelecer conexão com redes 3G,4G e WLAN. Tais conexões são necessárias para utilização de serviços de dados e voz providos por empresas de telecomunicações.

Tecnologias de redes sem fio oferecem uma grande versatilidade quando permitem que um DSF se conecte a um ponto de acesso de uma rede de dados geograficamente distante. Entretanto, a conexão entre o DSF e o ponto de acesso à rede do provedor possui limitações relacionadas à distância entre eles e interferências ocasionadas por obstáculos físicos e outros sinais. Por este motivo não é possível um provedor de serviços sobre redes sem fio ter apenas um ponto de acesso em uma região metropolitana. Vários pontos de acesso, ou células, são necessários para uma maior cobertura. São as conhecidas redes celulares. Essa característica conduz os dispositivos a trocar de pontos de acesso conforme sua movimentação, desconectando-se de ponto de acesso e conectando em outro. Este processo é conhecido como *handover* ou *handoff*. Quando o *handoff* ocorre entre pontos de acesso com a mesma tecnologia de rede sem fio, são considerados *handoff* horizontal. Ou seja, quando o dispositivo está conectado a uma célula 3G/4G e muda para uma outra célula 3G/4G da mesma operadora. Em outro caso, quando um DSF desconecta-se de uma rede 3G/4G de uma operadora e conecta-se a um ponto de acesso utilizando, por exemplo, a tecnologia WLAN 802.11 da mesma operadora ou de outro domínio administrativo, é considerado *handoff* vertical.

A seleção de redes consiste em estratégias para gerenciar o processo de *handoff*

conforme perfil do usuário, requisitos da aplicação e condições do DSF. A estratégia mais comum consiste em avaliar as condições das redes disponíveis utilizando parâmetros predefinidos e determinar a melhor. O processo primário de gerenciamento de seleção de redes consiste em três fases (KASSAR; KERVELLA; PUJOLLE, 2008a):

- Coleta de Informações: fase inicial onde são levantadas todas as informações necessárias para o processo de seleção. Consiste em relacionar as redes disponíveis, características e condições atuais.
- Processo de Decisão: nesta fase as informações são analisadas, ponderadas e classificadas conforme critérios predefinidos. Esta análise define quando e como o processo de *handoff* deve ser iniciado.
- Processo de *Handoff*: consiste na execução do *handoff* conforme definido no processo de decisão.

## 2.2 Melhor Conectado

As pesquisas conduzidas para a resolução do problema de seleção de redes, em ambientes heterogêneos, provocou a definição de alguns conceitos relacionados a necessidade do usuário de estar sempre conectado à melhor rede disponível, e os aspectos envolvidos para alcançar essa condição. Em (GUSTAFSSON; JONSSON, 2003) o cenário de múltiplas conexões, serviços de rede, perfis de usuário e processo de *handoff*, é referenciado para a definição do modelo conceitual dos componentes que determinam a condição ABC (*Always Best Connected*) até hoje referenciada. O conceito destaca a necessidade de considerarmos, além de requisitos técnicos, relações comerciais e experiência do usuário. Grande parte do ABC está relacionado à acordos entre os componentes.

O conceito ABC não sugere apenas que um dispositivo móvel esteja sempre conectado, mas conectado com a melhor tecnologia disponível que atenda suas necessidades de continuidade de conexão e requisitos de aplicação. Isso inclui a utilização de várias tecnologias de conexão do tipo WLAN, 3G, *Bluetooth* e WiMax, desde que o dispositivo tenha *interfaces* compatíveis. Para uma melhor experiência do usuário, em uma situação ideal, o conceito ABC requer um ambiente em que seja possível a utilização de recursos de autenticação de usuários ao longo de redes sob um mesmo domínio administrativo, promovendo a mobilidade sem interrupção dos serviços, provedores de aplicações com capacidade de adaptação e redes privadas.

De acordo com (GUSTAFSSON; JONSSON, 2003) a definição de ABC está ligada aos seguintes aspectos que direcionam o processo de decisão sobre qual rede ou tecnologia

de acesso deve ser considerada para uma conexão, e em que momento algum processo de ajuste deve ser iniciado.

- Preferências de usuários
- Tamanho e capacidade dos dispositivos.
- Requerimento de aplicações
- Segurança
- Políticas corporativas
- Convergência de redes.

Os principais componentes destacados no modelo ABC:

- Terminal de Acesso: dispositivos móveis como Notebook e Celulares, rodando aplicativos que dependem de configurações TCP/IP para suas funções.
- Dispositivo de Acesso: *interfaces* de comunicação de dados presentes nos dispositivos móveis para conexão em diferentes tecnologias de redes sem fio, tais como, CDMA, WLAN e *Bluetooth*.
- Rede de Acesso: entidade privada ou comercial que prover pontos de conexões através de tecnologias de rede sem fio permitindo acesso a outras redes e serviços.

A estrutura utilizada para interligação de dispositivos em rede promovendo o meio para o tráfego de dados através de tecnologias como 3G/4G e WLAN, permitindo acesso aos serviços disponibilizados em rede.

- Provedor de Serviço de Rede: administra os serviços de rede adquiridos pelos usuários conectados através das redes de acesso.
- Servidor de Aplicação: aquele que provê e controla o acesso à aplicações em rede.

O conceito considera importante a experiência do usuário, em situações de mobilidade, quando a troca de tecnologias de acesso ao longo do seu caminho seja transparente sempre que possível, sem perda de dados, interrupções ou instabilidade nas aplicações em curso. Preferências de usuário, pré-definidas, e requisitos de aplicações conhecidos, são

informações necessárias para selecionar a rede ou tecnologia com o nível de serviço mais adequado. Na condição mais simples o conceito não prevê mobilidade, ou seja, mudança de rede sem interrupção do serviço.

O provedor de serviços ABC deve conhecer o perfil do usuário com suas preferências de conexão em termos de, por exemplo, largura de banda mínima, custo de transferência de dados e requisitos mínimos para suas aplicações primárias. Essas informações são necessárias para tomada de decisão sobre qual tecnologia deve ser indicada para o cliente, seja de forma automática, transparente para o cliente, ou sempre que solicitado. Isso faz parte do relacionamento de negócio entre as partes quando o provedor ABC dispõe de diferentes tipos de serviços e tecnologias de rede em seu domínio administrativo.

A implementação de um ambiente ABC considera os seguintes módulos ou etapas:

- **Descoberta de Redes de acesso (*Access discovery*)** - A primeira etapa na implementação de um modelo ABC, consiste na análise do ambiente pelo terminal móvel a procura de redes de acesso disponíveis. A princípio, a primeira escolha pode consistir no tipo de tecnologia que ofereça o menor custo financeiro para o terminal, que atualmente é o mecanismo padrão nos dispositivos móveis. Mesmo depois de estabelecido uma conexão, o terminal móvel precisa periodicamente verificar o ambiente a procura de novas redes disponíveis, analisar as características de cada uma e considerar uma possível mudança para uma rede melhor. O mais importante nessa etapa é ter definido quais características serão medidas em cada rede, como serão coletadas e tratadas.
- **Seleção da rede de Acesso (*Access selection*)** - Esta etapa consiste no processo utilizado para determinar com qual rede será estabelecido uma conexão, em que momento, o que deve ser considerado e quem tomará a decisão. Como já mencionado, alguns fatores são observados neste processo, dependendo da arquitetura de seleção de rede, entre eles estão as preferências do usuário, preferências do provedor de serviços ABC, características da rede (custo, largura de banda, etc), capacidade do dispositivo e requisitos da aplicação. Este processo de seleção pode ocorrer a partir dos seguintes pontos:
  - **Terminal de acesso** - Quando o provedor de serviços não fornece informações sobre as condições atuais das redes sob seu domínio, ficando a cargo do terminal móvel o processo de busca, coleta de informações sobre as condições de cada rede, processamento dessas informações com base nas suas prioridades e tomada de decisão. Isso requer que o terminal possua algoritmos ativos de seleção de ativos e independentes.

- Rede de acesso - Quando o provedor dos serviços e terminal móvel trabalham com protocolos específicos, para que o móvel obtenha da rede informações atualizadas sobre características técnicas e condições atuais de uso da rede. Este esquema promove uma redução na carga de processamento do lado do servidor e atenua as consultas à rede por parte do terminal, tornando o sistema mais eficiente.
  - Intervenção do Usuário - Quando o processo de seleção de rede não ocorre de forma automática através de algum protocolo de rede ou algoritmo embarcado no terminal. A conexão ou mudança de rede depende da intervenção do usuário do terminal móvel.
- Suporte a autenticação (AAA) - Como o conceito ABC prevê acordos de conectividade e entrega de serviços entre o usuário e o provedor da rede, faz-se necessário um suporte a AAA (autenticação, autorização e auditoria). Com isso o provedor de serviços ABC poderá identificar o usuário do dispositivo móvel, sugerir redes conforme seu perfil, gerenciar mobilidade e disponibilizar aplicações, assim como tarifar os serviços em questão. Alguns provedores fornecem acesso através de diferentes tecnologias (3G,4G, WLAN) em áreas de acesso distintas (áreas públicas, estabelecimentos comerciais, escolas,etc). Através do suporte AAA o usuário do terminal móvel poderá se identificar e ter acesso aos pontos de conexões disponíveis nessas áreas.
  - Gerenciamento de Mobilidade (*Mobility Management*) - Uma característica importante, prevista mas não obrigatória, em um cenário ABC é o suporte à mobilidade. Essa característica consiste no uso de protocolos de rede que promovam ao terminal móvel a mudança de rede de acesso sem interrupções na execução das aplicações em andamento. Ou seja, quando em deslocamento, o terminal móvel em algum momento poderá mudar de tecnologia de acesso e conseqüentemente de domínio administrativo, provocando alterações de endereçamento IP e condições de QoS da conexão. Nessas condições, serviços de mobilidade buscam manter as sessões de acesso das aplicações, transferência de sessão para outros dispositivos do usuário e possibilidade de acessar o sistema do usuário em sua rede particular.
  - Manuseio de Perfis (*Profile Handling*) - Cadastro do perfil do usuário no prestador de serviço ABC. Necessário para adaptações dos sistemas às necessidades do usuário e autenticação para algumas permissões de acesso.
  - Adaptação de Conteúdo (*Content adaptation*) - As aplicações disponibilizadas pelo provedor de serviços ABC precisam adaptar-se dinamicamente de acordo com as mudanças na rede, capacidade do dispositivo móvel e perfis de usuário. Essas mudanças

podem ser detectadas pela própria aplicação, informadas pelo dispositivo do usuário ou pelo provedor da rede de acesso.

## 2.3 Técnicas e Critérios

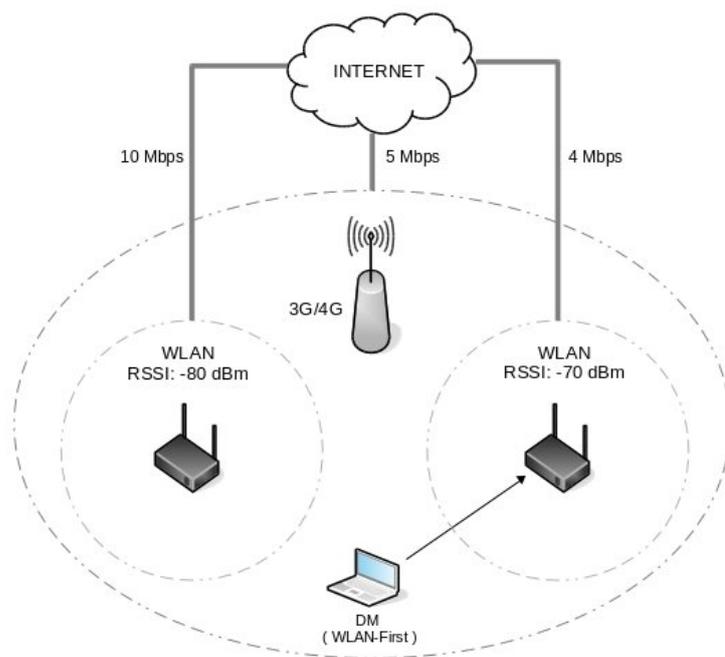
Nessa sessão serão apresentadas algumas técnicas utilizadas no processo de seleção de redes em determinados ambientes, condições de tráfego, necessidades de *handoff* e parâmetros utilizados no processo.

### 2.3.1 Esquema *WLAN-First*

Redes heterogêneas consistem na sobreposição de tecnologias de acesso sem fio para DSF disponíveis em pequenas e grandes áreas de cobertura. Atualmente as tecnologias mais populares e compatíveis com os dispositivos móveis predominantes no mercado são WLANs (802.11) e redes celulares 3G e 4G. No caso dos dispositivos celulares, na maior parte do tempo, pelo menos as redes 3G e/ou UTMS estão disponíveis para conexão. Atualmente a tendência é que redes 3G/4G e WLAN tenham características complementares já que a grande maioria dos dispositivos móveis possuem *interfaces* para essas tecnologias. Muitos provedores de telefonia celular utilizam redes WLAN em estabelecimentos comerciais como complemento de sua rede de dados 3G/4G, oferecidas no pacote de serviços aos clientes, servindo também como uma forma de aliviar a carga de tráfego de dados em suas redes celulares (DEIF; EL-BADAWY; EL-HENNAWY, 2010).

Neste cenário de redes heterogêneas um dos principais desafios é o gerenciamento na mudança de tecnologia de acesso, procedimento conhecido como *handoff*. Este procedimento utilizado em redes sem fio consiste na transição de um dispositivo móvel entre células de um ponto de acesso de forma automática, sem intervenção do usuário. Considera-se *handoff* horizontal quando ocorre a transferência de células sem mudança na tecnologia de acesso. WLAN para WLAN ou UTMS para UTMS. Entretanto, há casos em que essa transição ocorre entre células com diferentes tecnologias de acesso, no caso, UTMS para WLAN e vice-versa. Neste último caso é conhecido como *handoff* vertical. O processo de *handoff* vertical possui três etapas: descoberta do sistema, decisão de transferência e execução da transferência. A etapa de decisão de transferência é considerada a mais importante e mais estudada (DEIF; EL-BADAWY; EL-HENNAWY, 2010).

Um dos processos de decisão de transferência mais utilizados até hoje, na maioria dos dispositivos móveis equipados com múltiplas *interfaces* de conexão, é o esquema conhecido como *WLAN-First*. Neste esquema as redes WLANs, quando disponíveis, têm sempre preferência em relação às redes 3G/4G. Essa preferência leva em consideração a maior capacidade de transferência de dados e redução de custo para o usuário. Em

Figura 2 – Esquema de Seleção *WLAN-First*

situações em que o esquema tenha que decidir entre várias células WLANs, o critério é optar pela rede que tiver o RSS (*Received Signal Strength*) mais elevado.

Embora o *WLAN-First* seja ainda hoje o esquema padrão nos dispositivos móveis para a etapa de decisão de transferência do processo de *handoff*, é considerado um mecanismo básico que não garante ao usuário uma conexão coerente com suas necessidades, ou a melhor opção disponível em termos de capacidade de tráfego de dados entre o dispositivo e o provedor dos serviços de rede.

A figura 2 demonstra as prioridades de conexão do esquema *WLAN-First*. Em uma área onde existam sobreposições de sinais de diferentes tecnologias, 3G/4G e WLAN, a prioridade é sempre pela WLAN e entre elas a que tiver melhor sinal. No caso de ausência de sinais WLAN é que 3G/4G serão selecionadas. Podemos notar que o exemplo mostra que embora um sinal de uma das redes WLAN seja mais forte, não significa que o link de saída para a Internet a partir deste ponto de acesso seja o melhor. A rede de acesso escolhida pelo dispositivo possui link para internet inferior a rede que foi classificada como segunda opção pelo esquema. Considerando apenas a diferença da força de sinal, o fato de ser inferior poderia ser compensado pela maior largura de banda oferecida, e, portanto, poderia ser a melhor escolha para o dispositivo.

Embora WLANs tenham maior capacidade de tráfego de dados em comparação às redes celulares, muitos fatores podem torná-las uma escolha ruim para o DSF no cenário em questão. A sobrecarga de conexões ativas, baixa capacidade de processamento dos pontos de acesso, interferências de sinais e baixa largura de banda disponível ocorridas entre os

clientes conectados, são fatores que influenciam fortemente na qualidade da conexão. Em situações assim, considerando que as duas WLANs do exemplo apresentam este quadro de saturação no momento da tomada de decisão pelo DSF, a rede 3G/4G, mesmo com capacidade de banda inferior, poderia ser a melhor escolha.

Partindo deste exemplo, podemos concluir que um esquema de seleção de redes para dispositivos móveis precisa de algoritmos aprimorados que colem mais informações sobre as redes disponíveis e assim avaliar qual delas oferece as melhores condições de uso para as aplicações em curso. Contudo, além de conhecer as condições das redes e decidir a conexão inicial, esses algoritmos precisam perceber mudanças nas condições de acesso, principalmente em função do próprio deslocamento, e avaliar de forma coerente o momento adequado para iniciar o processo de *handoff*.

### 2.3.2 Problemas de *Handoff*

Além da análise, métodos de classificação e escolha da melhor rede com a qual um DSF deve estabelecer uma conexão, também é importante o momento em que deve ocorrer uma troca de conexão entre os pontos de acesso disponíveis, procedimento conhecido como *handoff*. Essa sessão descreve este cenário e algumas técnicas envolvidas no processo.

### 2.3.3 *Handoff* Controlado pela Rede

Frente ao avanço das tecnologias celulares com serviços de dados e voz, paralelo a popularização das tecnologias WLAN através do padrão IEEE 802.11 no final da década de 90, diversas linhas de pesquisas foram direcionadas para análise de comportamento e problemas de *handoff* em redes híbridas. Em (PAHLAVAN et al., 2000) é analisado o comportamento e diferenças de *handoff* em redes celulares, dados, voz e WLAN, tanto horizontal como vertical. Os autores consideram que os problemas relacionados a *handoff* estão divididos em duas categorias: problemas de arquitetura, relacionados a metodologia, controle e elementos de hardware/software envolvidos no processo de roteamento e conexão; e problemas de algoritmos de decisão, relacionados às métricas utilizadas e métodos de avaliação de performance.

Em termos de arquitetura, procedimentos de *handoff* precisam de protocolos para troca de informações entre os componentes de rede envolvidos na conexão. Um DSF normalmente está associado a um dos pontos de acesso de um conjunto de células que cobre uma determinada região. Os protocolos de controle da rede mantêm o registro sobre qual célula está associado cada cliente, para assim proceder com os ajustes de roteamento necessários entre as células, e assim direcionar os pacotes de dados e voz adequadamente.

Quando o processo de *handoff* é executado pelo DSF, ou seja, no momento em que

move-se do ponto de conexão de uma célula para outra do mesmo domínio administrativo, todos os componentes envolvidos na conexão deste cliente, com a rede, precisam ser informados para os devidos ajustes de roteamento, de maneira que a conexão do cliente, seja ela dados ou voz, não seja interrompida. Existem duas formas para essa troca de conexão: uma delas consiste na completa desconexão de uma célula para depois conectar em outra. Nessa transição existe um curto intervalo em que o DSF perde o vínculo com a rede. Isso é conhecido como *handoff* rígido. O outro caso consiste num *handoff* suave em que o DSF se desconecta de uma célula só depois que já estabeleceu conexão com a próxima.

Os mecanismos de tomada de decisão relacionados ao processo de *handoff* podem estar ativos em componentes ligados a rede, como é o caso das redes celulares que controlam os serviços de voz, como também podem integrar os algoritmos embarcados nos DSF, como é o caso de redes de dados celulares e WLANs. Nestes casos são conhecidos respectivamente por *Network-controlled handoff* (NCHO) e *mobile-controlled handoff* (MCHO). Há casos em que o processo de *handoff* é avaliado pela troca de informações entre DSF e a rede. (PAHLAVAN et al., 2000)

### 2.3.4 *Handoff* Controlado pelo DSF

Tradicionalmente, os algoritmos MCHO embarcados nos dispositivos móveis tomam como métrica principal a força ou qualidade do sinal gerado pelo ponto de acesso da célula, conhecido como RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), para decidir o momento em que o procedimento de *handoff* deve ser iniciado. O RSS do ponto de acesso atual é sempre comparado com o RSS dos pontos de acessos vizinhos. Na forma mais básica, sempre que for encontrado um ponto de acesso com RSS maior, o *handoff* é iniciado. Em situações em que existam pontos de acesso próximos com área de cobertura de sinal se sobrepondo, o processo de *handoff* pode ocorrer muitas vezes em um pequeno intervalo de tempo, principalmente quando o dispositivo estiver em movimento. Isso ocorre quando o DSF encontra-se em uma área de convergência de sinal de dois pontos de acesso, onde a diferença entre dois RSS é pequena. Isso causa o efeito conhecido como ping-pong, quando o DSF fica alternando entre dois pontos de acesso em um pequeno espaço de tempo (DING; XUE; LI, 2009).

Para minimizar o efeito ping-pong foram adotadas outras métricas associadas ao RSS, entre elas estão os limites (*threshold*) para o sinal RSS, Hysteresis e temporizadores (*dwell timer*). O processo de decisão de *handoff* com essas métricas ocorre da seguinte forma:

- $RSS + Threshold$  - É definido um limite mínimo de RSS aceitável antes de considerar a mudança para um novo ponto de acesso. Neste caso o *handoff* só ocorre se o novo

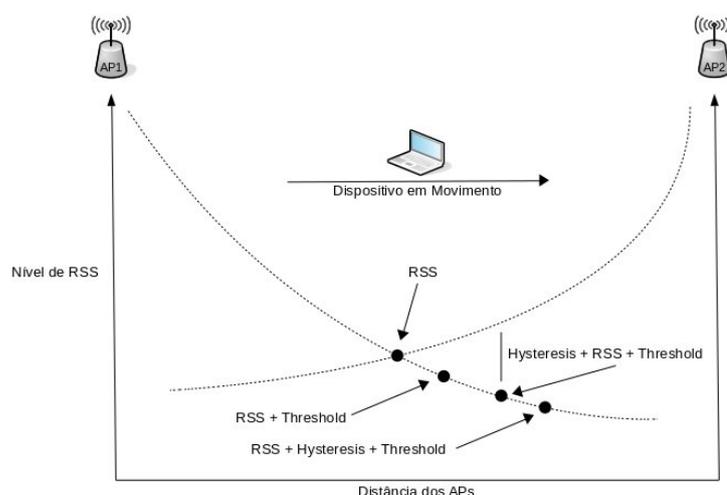


Figura 3 – Esquema handoff tradicional.

ponto de acesso tiver RSS maior que o atual e o RSS do atual for menor que o limite mínimo predefinido.

- $RSS + Hysteresis$  - O uso da *Hysteresis* na análise do RSS define uma margem, para mais ou para menos, na comparação com o RSS vizinho. O processo de *handoff* só é iniciado quando o RSS do vizinho somado ao valor da *hysteresis* foi maior que o RSS do ponto atual.
- $RSS + Hysteresis + Threshold$  - O uso da *Hysteresis* e *Threshold* na análise do RSS condiciona o *handoff* na situação em que o RSS do vizinho somado ao valor da *hysteresis* for maior que o RSS do ponto atual e o RSS do ponto atual for menor que o *Threshold* predefinido.
- *Dwell Timer* - Alguns desses algoritmos também utilizam temporizadores. A partir de uma determinada condição de uma análise de sinal uma contagem de tempo é iniciada. Se essa condição permanecer até o final da contagem de tempo, o processo de *handoff* é iniciado.

Além das técnicas tradicionais de análise de RSS descritas acima, outras técnicas foram utilizadas para o processo de decisão de *handoff*. Entre elas estão os níveis de interferências *Carrier-to-Interference Ratio* (CIR), *Signal-to-Interference Ratio* (SIR); taxas de erro de transmissão como *Bit Error Rate* (BER), *Block Error Rate* (BLER) e ainda informações relacionadas à distância do DSF e o ponto de acesso, além da velocidade de movimentação.

Este esquema tradicional de seleção de redes, tomando como base apenas níveis de RSS e poucas métricas associadas, já foi considerado ineficaz em função da diversidade

de tecnologias de acesso sem fio disponíveis de forma paralela, além da grande variação das condições de tráfego de dados e requisitos de aplicações, considerando não somente a conexão entre o cliente e ponto de acesso, mas a conexão do cliente com os provedores de serviços de rede de outros domínios administrativos acessados via internet.

Para que o processo de decisão de *handoff* ocorra de forma mais coerente com as necessidades do usuário e alterações na rede, outras métricas começaram a ser utilizadas para uma melhor avaliação das condições da rede. Pesquisas foram direcionadas no sentido de selecionar o melhor conjunto de métricas, técnicas de ponderação/classificação, algoritmos e arquiteturas que tornem o processo mais eficiente.

### 2.3.5 Qualidade de Serviço e Qualidade de Experiência

Qualidade de Serviço (QoS) é o termo utilizado em redes de computadores como indicador de qualidade referente à capacidade da rede oferecer melhor um serviço para um determinado tipo de tráfego sobre um determinado tipo de tecnologia comutada (MARKAKI; CHARILAS; NIKITOPOULOS, 2007). Dependendo da tecnologia, rede de comutação de pacotes ou redes de comutação de circuitos, QoS pode ser interpretado por diferentes parâmetros. Em redes comutadas por pacotes, das quais trata este trabalho, os parâmetros normalmente utilizados, relacionados à entrega de dados entre cliente e provedor do serviço, são: **Delay** (Atraso), **Jitter** (Variação do atraso), **Loss** (Perda de dados) e **Throughput** (Taxa de transferência) e BER( Bit error rate ). Dependendo do tipo de serviço de rede utilizado pelo usuário, ou característica do fluxo de dados, cada um destes parâmetros citados pode ter uma relevância maior ou menor. Além disso, a variação de um parâmetro pode influenciar diretamente no outro.

Segundo (KUMAR; SINGH, 2010),(THE 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT - 3GPP, ) podemos considerar as seguintes classes de tráfego de dados para serviços de rede:

- **Conversational class** - Tipo de tráfego comum em aplicações de voz. Com o surgimento da Internet, aplicações multimídia como Voz sobre IP e Videoconferência também geram este tipo de tráfego. Este tráfego normalmente ocorre entre pares de usuários em tempo real, portanto é mais sensível a atrasos de transferência de dados. Níveis de atrasos não aceitáveis resultam na baixa qualidade de áudio e/ou vídeo, ocasionando uma imediata percepção negativa pelo usuário.
- **Streaming class** - Quando ocorre um fluxo de dados contínuo seguindo um só sentido, do servidor para o usuário final. Um exemplo são as transmissões de áudio e vídeo recebidas por um usuário. Neste tráfego os níveis de atrasos devem ser controlados para não ocorrerem interrupções perceptíveis na transmissão ponto a

ponto. Numa transmissão de vídeo, por exemplo, o atraso não poderia ser elevado devido ao alinhamento do tempo entre transmissor e receptor. Mas aplicações deste tipo podem compensar o atraso dos dados e alinhar o fluxo no tempo do receptor. Isso promove uma tolerância maior aos atrasos de transmissão sem que o usuário perceba alguma falha.

- **Interactive class** - Quando ocorre uma entrega de dados pelo servidor de aplicação ao usuário mediante solicitação. Um exemplo deste fluxo ocorre quando um usuário ou sistema solicita uma página de um servidor Web ou registros de um banco de dados. O fluxo de dados nessa classe é caracterizado por uma requisição do usuário final e uma resposta do servidor. Após a consulta o usuário espera a resposta em um determinado tempo. O tempo gasto entre a requisição e a resposta, e a taxa de erros de transmissão são parâmetros de QoS importantes nessa classe.
- **Background class** - Este esquema é caracterizado quando o usuário final, que é tipicamente um computador, envia e recebe dados em *background*. Um exemplo disso são as aplicações de entrega de e-Mails, atualizações de base de dados, SMS e recepção de registro de medições.

Outra forma de medir a qualidade de uma rede é baseado na experiência de usuário, métrica conhecida como QoE (*Quality of Experience*). Essa métrica é definida pelas sensações e opiniões dos usuários da rede ao utilizar um determinado serviço. Essas sensações do usuário com relação ao uso da rede podem ser boas, toleráveis ou desagradáveis. Muitos fatores influenciam na opinião do usuário, incluindo condições de tráfego da rede, requisitos de software e dispositivo utilizado. QoE pode ter significados diferentes dependendo da aplicação em uso. Por exemplo, um bom QoE para aplicativos de áudio significa uma reprodução clara do som e a capacidade de troca suave de áudios durante uma conversação. Já numa aplicação de vídeo o QoE está relacionado com a taxa de quadros e clareza da imagem sem cortes. Uma alta latência numa transmissão de vídeo sob demanda não afeta muito o QoE, diferente de uma aplicação interativa, como é o caso de webconferência, podem provocar sensações negativas ao usuário (PATRICK et al., 2004).

Em alguns casos, QoS e QoE podem ser medidos através de um único parâmetro cujo valor pode ser influenciado por qualquer uma das métricas indicadas acima, refletindo na QoS final oferecida. Seguem dois parâmetros normalmente utilizados:

**MOS** (*Mean Opinion Score*) - Este parâmetro consiste em uma medida estatística de qualidade de áudio e vídeo baseado na opinião do usuário. As opiniões são baseadas no julgamento da qualidade de uma conversa ou na audição de amostras de áudio. Essas medidas são puramente subjetivas pois a sensação de qualidade de cada usuário utilizando

o mesmo serviço pode variar. A opinião de um usuário sobre o que é bom, pode ser ruim para outro. A avaliação de um serviço de áudio e vídeo pelo parâmetro MOS pode ser obtida de forma objetiva através de algoritmos de medição que avaliem um sinal de áudio/vídeo e tentam estimar uma percepção subjetiva, ou através de opiniões coletadas de vários usuários sobre as condições de uso (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, ). O MOS é definido pelas médias dessas opiniões tomando como base os valores apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Escala MOS

MOS	Qualidade
5	Excelente ( Distorções imperceptíveis )
4	Bom ( Distorções discretas sem incômodo )
3	Razoável ( Distorções perceptíveis e ligeiramente incômodas )
2	Pobre ( Distorções incômodas )
1	Mau ( Distorções muito incômodas )

**File Delivery Time** - Indica o tempo requerido até que um arquivo seja transferido integralmente entre do ponto de origem e o ponto de destino.

A vantagem na utilização de valores subjetivos como MOS e *File Delivery* como parâmetro de qualidade, é a possibilidade de avaliar indicadores através de medições e simulações. Entretanto, utilizar QoS na avaliação de uma rede é fundamental para selecionar a rede que ofereça as melhores condições para um determinado serviço, levando em consideração o tráfego dos dados entre os dispositivos envolvidos. Os métodos utilizados para se obter QoE dependem de pontuações subjetivas fornecidas pelos usuários, demandam tempo para processá-las e custo elevado. (MARKAKI; CHARILAS; NIKITPOULOS, 2007)

Níveis de QoE são afetados por um ou mais parâmetros de QoS relacionados, dependendo dos requisitos da aplicação. Tomando como base as categorias de tráfego definidas anteriormente, segue um exemplo do relacionamento das classes com os parâmetros importantes que influenciam na qualidade do serviço.

Tabela 2 – Categoria de serviços e QoS

Classe	Serviço	Parâmetro	Indicador
<i>Conversational</i>	Telefone, Vídeochamada	<i>Delay, Jitter</i>	MOS
<i>Streaming</i>	Áudio e Vídeo sob demanda	<i>Jitter</i>	MOS
<i>Interactive</i>	Navegador WEB	<i>Delay, BER</i>	<i>File Delivery Time</i>
<i>Background</i>	<i>Download</i> HTTP,FTP, e-Mail	<i>BER, Loss</i>	<i>File Delivery Time</i>

### 2.3.6 Algoritmos de Seleção

A diversidade de redes de dados para dispositivos móveis com diferentes tecnologias de acesso torna o processo de decisão de *handoff* mais complexo. Muitos fatores dinâmicos nas redes precisam ser considerados para tornar o processo de tomada de decisão mais eficiente. Por exemplo, características técnicas, custo de acesso, condições de tráfego, preferências de usuário e posicionamento ou velocidade de deslocamento do DSF, entre outras condições que podem influenciar no processo de decisão. Para um processo de *handoff* eficiente e transparente para o usuário é preciso estabelecer políticas de seleção de rede e algoritmos que as execute automaticamente sem intervenção do usuário e com o mínimo de interrupções para as aplicações. As políticas são definidas tomando como base os fatores dinâmicos citados. A princípio esses algoritmos foram implementados nos dispositivos móveis, que periodicamente precisam avaliar a rede e aplicar as políticas de seleção. (J.WANG; KATZ; GIESE, 1999)

O aprimoramento do processo de seleção de redes em ambientes heterogêneos, especificamente o processo de tomada de decisão de *handoff* vertical e horizontal, consiste no aperfeiçoamento dos algoritmos embarcados nos dispositivos móveis responsáveis por automatizar este processo. Esses algoritmos tem a função de monitorar as redes disponíveis, ponderar e classificar cada uma delas, tomando como base um conjunto de parâmetros e estratégias de classificação. Muitos dos algoritmos propostos na literatura utilizam parâmetros estáticos, como preferências de usuário e custo de acesso, e dinâmicos quando relacionados a alterações de rede, serviço e dispositivos móveis. Alguns parâmetros podem ser agrupados da seguinte forma:

- Rede: largura de banda, latência, RSS, CIR, SIR, BER, custo, etc.
- DSF: velocidade, capacidade da bateria, localização, etc.
- Usuário: perfil e preferências.
- Serviço: QoS, QoE e capacidade de atendimento.

Cada algoritmo de seleção de rede embarcado nos dispositivos móveis foi concebido para trabalhar com um conjunto de parâmetros e uma política de classificação. Na literatura são considerados algumas estratégias utilizadas por esses algoritmos no processo de classificação de melhor rede. A estratégia tradicional, já descrita anteriormente, consiste na medida do RSS dos pontos de acesso combinada com outros parâmetros, por exemplo, RSS + taxa de transferência de dados e usuários conectados, como o algoritmo proposto em (YLIANTTILA et al., 2001) para controle de *handoff* entre redes WLAN e GPRS/EDGE.

Além da estratégia tradicional mencionada, em (KASSAR; KERVELLA; PUJOLLE, 2008b) são consideradas outras estratégias de decisão *handoff* baseadas em Função de Custo, Concentradas no Usuário, Lógica *Fuzzy*, Redes Neurais, Multicritérios e Contexto Computacional.

### 2.3.7 Estratégia com Função de Custo

A segunda categoria de algoritmo é baseada em função de custo para medir o benefício obtido no uso de uma determinada rede, calculado para cada rede disponível na área do usuário. A função de custo retorna a soma dos pesos dos parâmetros utilizados para avaliar cada rede. A rede submetida a função que retornar o mais baixo custo será eleita para conexão. Este Tipo de política de seleção de rede estima um tempo de estabilidade da rede e define intervalos de tempo entre as avaliações das redes pela função. Em (J.WANG; KATZ; GIESE, 1999) é proposto uma das primeiras funções de custo para classificação de redes em um processo de tomada de decisão. A função consiste na soma dos parâmetros Largura de Banda (B), Consumo de Energia (P) e Custo Monetário (C), normalizados por uma função  $N(x)$  e multiplicados pelo seu peso (W) definido pelo usuário. Caso o parâmetro não tenha relevância para o usuário é atribuído o peso zero. A função de custo para uma rede  $F_n$  pode ser escrita da seguinte forma:

$$F_n = W_b \cdot N\left(\frac{1}{B_n}\right) + W_p \cdot N(P_n) + W_c \cdot N(C_n)$$

Muitas propostas de algoritmos de seleção utilizam funções de custo associadas a outros métodos. Em (CHEN; LIU; HUANG, 2004) é utilizado o método proposto em (J.WANG; KATZ; GIESE, 1999) adaptando o cálculo do tempo estimado de estabilidade da rede atual em função da aplicação corrente. Para evitar *handoff* desnecessário o valor retornado pela função de custo de uma rede candidata deve ser melhor N vezes a rede atual considerando a aplicação corrente. Além disso, outro ajuste ocorre no processo de descoberta de novas redes. Basicamente o processo de descoberta necessita que todas as *interfaces* do DSF permaneçam ativas prontas para uma nova busca em períodos regulares. Neste esquema os autores consideram um servidor de localização de pontos de acesso e suas áreas de cobertura, de forma a orientar o dispositivo sobre a proximidade de novas redes e sugerir o momento ideal para ativação de suas *interfaces* para iniciar o processo de descoberta e avaliação da nova rede.

### 2.3.8 Estratégia Concentrada no Usuário

Políticas de *handoff* baseadas simplesmente em condições técnicas provocam mudanças automáticas para redes consideradas melhores sempre que disponíveis. Essa situação pode gerar instabilidades frequentes e indesejadas nas aplicações do usuário. Estratégias

concentradas no usuário incluem no processo de tomada de decisão alguns parâmetros de interesse do usuário, tais como, tipo de aplicativo em execução no DSF e custo das conexões, além de fatores relacionados à rede.

A tomada de decisão prioriza o que é mais interessante do ponto de vista do usuário. Em (CALVAGNA; MODICA, 2004) são propostas duas políticas de *handoff* estabelecendo limites entre redes GPRS e WLAN. O objetivo dessa estratégia é dar ao usuário mais controle sobre o processo de tomada de decisão da rede que melhor atenda suas necessidades. Afinal, o conceito da melhor rede pode variar entre os usuários que podem estabelecer pesos diferentes entre os parâmetros de tomada de decisão. O processo de avaliação de cada rede observa as preferências do usuário predefinidas e armazenadas no DSF, modificadas pelo usuário sempre que precisar.

Os autores sugerem as seguintes preferências de usuário ajustáveis que serão avaliadas em conjunto com fatores de QoS relacionados a rede:

1. Do ponto de vista de custo de conexão o usuário pode priorizar as redes mais baratas, sem garantir a continuidade das sessões dos aplicativos.
2. Priorizar a continuidade das sessões das aplicações em curso sempre que possível, independente do custo da conexão.
3. Tentar equilibrar as opções de custo e continuidade das sessões das aplicações.
4. Relacionar as aplicações quem tenham prioridade quando ocorrer uma degradação na performance da rede.
5. Relacionar as aplicações que devem ser notificadas sobre alterações na rede.

Como mostra a figura 4 o módulo de seleção proposto analisa continuamente todas as redes disponíveis através das *interfaces* de rede presentes no DSF. Depois de relacionar as redes conectáveis são acionados mecanismos de coleta de informações para classificá-las em termos de QoS. O processo de escolha da melhor rede consiste na avaliação do QoS juntamente com as preferências do usuário. A mudança de uma rede para outra pode ocorrer não somente pela indisponibilidade da anterior, mas porque não atendia às preferências estabelecidas pelo usuário.

### 2.3.9 Estratégia Baseada em Múltiplos Atributos (MAD)

A busca por uma estratégia de decisão adequada aos interesses do usuário e ao conceito ABC consiste na classificação e escolha da melhor rede entre as alternativas disponíveis, tomando como base a análise de diferentes atributos. Cada rede candidata

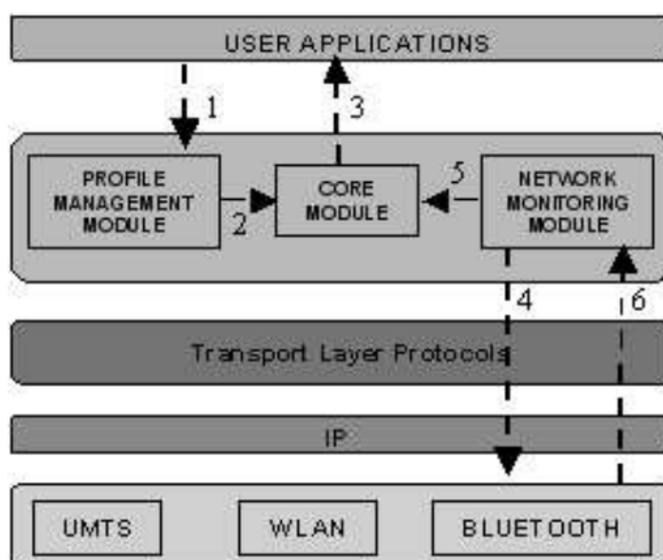


Figura 4 – Esquema de seleção concentrado no usuário. (CALVAGNA; MODICA, 2004)

pode ser avaliada por vários atributos. Alguns estáticos, como custo de conexão, e dinâmicos como largura de banda, força de sinal e níveis de QoS. Além disso, características dos terminais móveis, preferências de usuário e requisitos de aplicações também entram na lista de atributos a serem avaliados. Cada um destes atributos possui diferentes unidades de medida, valores úteis e não exatos. Antes de comparados e tratados em conjunto precisam ser ajustados e ponderados para que representem a sua importância no processo de seleção. (WANG; BINET, 2009)

Processos de tomada de decisão que consideram mais de um atributo são definidas como métodos de decisão multicritério, tratados na literatura como métodos MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*). Métodos utilizados no MODM avaliam as alternativas de acordo com uma lista de critérios predefinidos, onde cada critério, com valores exatos ou não, provocam a ordenação das alternativas. Assim, alguns métodos associados são utilizados para normalizarem e ponderarem esses valores, para depois serem utilizados na classificação das alternativas. (KAHRAMAN, 2008)(WANG; BINET, 2009)

Alguns autores dividem o método MCDM em duas categorias: MADM (*Multiple Attribute decision-making*) e MODM (*Multiple Objective Decision Making*). MADM trata de problemas de decisão com objetivo único e poucas alternativas, caracterizadas por atributos geralmente conflitantes. As alternativas são comparadas através de seus atributos ponderados e classificadas pelo quanto satisfazem o objetivo. MODM trata de problemas onde vários objetivos precisam ser alcançados e normalmente são conflitantes (AOUAM; CHANG; LEE, 2003). Entre os métodos MADM mais utilizados, divididos entre classificadores de alternativas e ponderadores de atributos, temos o ponderador AHP,

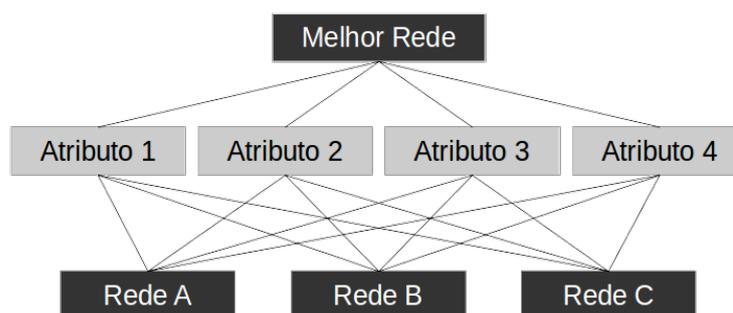


Figura 5 – Hierarquia do problema em AHP

e os classificadores SAW, TOPSIS e GRA.

### 2.3.9.1 AHP

AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é utilizado no processo de tomada de decisão em diversos cenários para ponderar os atributos de acordo com sua importância no processo de seleção. Para facilitar a análise dos componentes, primeiramente o problema é dividido em níveis hierárquicos onde o nível mais alto destaca o objetivo do problema, nos níveis intermediários os atributos de seleção e no nível mais baixo as alternativas, como mostrado na figura 5. (SONG; JAMALIPOUR, 2004)

Depois de definido a hierarquia do problema, o AHP analisa todos os atributos em pares, definindo entre eles uma escala de importância no processo de seleção. A forma mais utilizada no AHP para definir a importância entre dois atributos é baseada na escala de importância proposta por (SAATY, 1987). Essa escala representa valores subjetivos baseados em opiniões humanas e são indicados na matriz comparativa de atributos do AHP pela avaliação numérica de 1 a 9. A tabela 3 mostra os valores ímpares da escala que são mais utilizados para dar maior distinção entre as opiniões (SAATY, 1987).

Tabela 3 – Escala de comparação entre os critérios utilizados pelo AHP

ESCALA	Avaliação Numérica	Recíproco
Extremamente preferido	9	1/9
Preferência muito forte	7	1/7
Preferência forte	5	1/5
Preferência moderada	3	1/3
Igualmente preferido	1	1

Depois de definida a hierarquia, é montada a matriz comparativa dos atributos e inseridos os valores subjetivos de importância. Para os mesmos atributos é dado o

valor 1, igualmente preferido, e valores entre 1 e 9 para atributos distintos. O valor de importância recíproco para o atributo menos significativo é dado na forma de fração  $1/\text{avaliação numérica do atributo mais significativo}$  (SAATY, 1987).

Tabela 4 – Comparação de atributos no AHP

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Atributo 1	1	1/5	1/3	1/9
Atributo 2	5	1	3	1/9
Atributo 3	3	1/3	1	1/9
Atributo 4	9	9	9	1

Antes de chegar nos pesos finais dos atributos é necessário normatizar os valores da matriz. A normatização é feita dividindo cada valor da matriz pela soma dos valores de cada coluna. Depois de obter os valores normatizados é calculado a média desses valores para cada atributo. Ao final temos uma tabela com o peso de cada atributo, com base nas preferências humanas em relação ao objetivo principal na hierarquia do AHP. Esses pesos são aplicados aos atributos de cada alternativa para se obter o valor total da alternativa e comparar com as demais. A alternativa que tiver a melhor pontuação é considerada a melhor opção.

Tabela 5 – Normatização de atributos no AHP

	Atributo 1	Atributo 2	Atributo 3	Atributo 4
Atributo 1	$(1/18)=0,055$	0,018	0,025	0,083
Atributo 2	$(5/18)=0,277$	0,094	0,225	0,083
Atributo 3	$(3/18)=0,166$	0,031	0,075	0,083
Atributo 4	$(9/18)=0,500$	0,854	0,675	0,751

Tabela 6 – Pesos finais dos atributos no AHP

	Peso
Atributo 1	0,040
Atributo 2	0,016
Atributo 3	0,008
Atributo 4	0,690

As etapas no processo do AHP são as seguintes (SAATY, 1987) :

- Identificar os fatores de decisão e estruturar o problema em níveis hierárquicos;
- Comparar todos os critérios em pares e definir a escala de importância entre eles;

- Normalizar os valores da matriz e obter o valor médio de cada atributo.
- Classificar os atributos pelo seu peso.

### 2.3.9.2 SAW

SAW, ponderação aditiva simples, é uma das técnicas de tomada de decisão com múltiplos atributos amplamente utilizada pela sua simplicidade. Este método classifica as alternativas através de uma pontuação individual obtida pelo somatório dos seus atributos e pesos. (SIMPLE. . . , 2010)

Os pesos podem ser definidos pela comparação dos atributos em pares e ponderados de acordo com uma escala de importância, tal qual demonstrado no método AHP. Depois de definido os pesos, o processo de classificação utilizando o método SAW consiste na construção de uma matriz com os valores normalizados dos atributos de cada alternativa. A melhor alternativa é escolhida através da seguinte equação (SIMPLE. . . , 2010):

$$A_i = \sum w_j * v_{ij}$$

Onde:

- $A_i$  = Somatório da alternativa i;
- $w_j$  = Peso do parâmetro j para alternativa i;
- $v_{ij}$  = Valor do parâmetro j da alternativa i.

Para um problema de seleção com múltiplos critérios utilizando o SAW são necessários os seguintes passos (RIOS, 2012):

- Ajustar os valores positivos e negativos dos critérios para torná-los compatíveis;
- Aplicar os pesos correspondentes para cada critério;
- Somar os valores de cada alternativa.

A normalização dos valores dos atributos consiste na utilização das fórmulas abaixo, uma para valores positivos de acordo com a sua representação para o problema, quando maior melhor (*throughput*), e para valores negativos, quanto menor melhor (*delay*) (RIOS, 2012).

Para valores positivos, quanto maior melhor:

$$v_{ij} = \frac{C_{ij} - C_j^{min}}{C_j^{max} - C_j^{min}}$$

Para valores negativos, quanto menor melhor:

$$v_{ij} = \frac{C_j^{max} - C_{ij}}{C_j^{max} - C_j^{min}}$$

### 2.3.9.3 TOPSIS

TOPSIS (*Technique for order preference by similarity to ideal solution*) É a técnica de classificação e escolha da melhor alternativa buscando aquela que mais se aproxima da solução ideal e mais distante da solução não ideal. A alternativa que apresentar maior similaridade com a solução ideal será a escolhida. As alternativas extremas são obtidas considerando os melhores e piores valores de cada critério. (LASSOUED et al., 2008)

O processo de classificação das alternativas pelo método TOPSIS consiste de 6 passos (SILVA, 2010):

Tabela 7 – Matriz modelo para exemplificar o processo com TOPSIS (SILVA, 2010)

	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
Rede A	0.85	0.100	1
Rede B	0.65	0.65	5

1) Normalizar a matriz de decisão inicial de forma que todos os valores dos critérios estejam no intervalo entre 0 e 1. Para isso utiliza-se a seguinte equação:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Tabela 8 – Exemplo de normalização em TOPSIS

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

2) Aplicar os pesos dos critérios aos seus respectivos valores normalizados de acordo com equação  $v_{ij} = w_j * r_{ij}$ . Pesos predefinidos: *delay*(0,24) , *jitter*(0,14) e *packet loss*(0,62).

Tabela 9 – Pesos dos valores normalizados

	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
Rede A	$0,64 \times 0,24 = 0,15$	$0,07 \times 0,14 = 0,01$	$0,75 \times 0,62 = 0,47$
Rede B	$0,12 \times 0,24 = 0,02$	$0,12 \times 0,14 = 0,01$	$0,96 \times 0,62 = 0,59$

3) Determinar a solução ideal e a não ideal, aplicando as fórmulas abaixo. A primeira fórmula seleciona os critérios de maior valor, proporcional a sua importância em relação a melhor escolha, quanto maior melhor (largura de banda, nível de sinal, etc). A segunda fórmula seleciona os critérios de menor valor, quanto menor melhor (*delay*, perda de pacotes, etc). O valores obtidos são apresentados na tabela 10.

- 1)  $A^+ = \{v_1^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{max_j v_{ij}\}$
- 2)  $A^- = \{v_1^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\} = \{min_j v_{ij}\}$

Tabela 10 – Valores ideais e não ideais para a seleção TOPSIS.

	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
A+	0,02	0,01	0,47
A-	0,15	0,01	0,59

4) Calcular as medidas de separação, que são as distâncias positivas e negativas de cada alternativa utilizando as equações abaixo. Sendo  $v_{ij}$  os valores normalizados dos critérios e os valores definidos na etapa anterior atribuídos a  $s_j^+$  e  $s_j^-$ . A tabela 11 apresenta o resultado final com os valores das maiores ( $D_i^+$ ) e menores ( $D_i^-$ ) distâncias de cada alternativa (RIOS, 2012).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - s_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^N (v_{ij} - s_j^-)^2}$$

Tabela 11 – Distâncias ideais positivas e negativas das alternativas em TOPSIS.

		Distância ideal positiva e negativa	Total
Rede A	$D^+$	$\sqrt{(0,15 - 0,02)^2 + (0,01 - 0,01)^2 + (0,47 - 0,47)^2}$	<b>0,169</b>
Rede A	$D^-$	$\sqrt{(0,15 - 0,02)^2 + (0,01 - 0,01)^2 + (0,47 - 0,59)^2}$	<b>0,144</b>
Rede B	$D^+$	$\sqrt{(0,02 - 0,02)^2 + (0,01 - 0,01)^2 + (0,59 - 0,47)^2}$	<b>0,144</b>
Rede B	$D^-$	$\sqrt{(0,02 - 0,15)^2 + (0,01 - 0,01)^2 + (0,59 - 0,59)^2}$	<b>0,169</b>

5) Calcular a proximidade relativa da solução ideal utilizando a equação abaixo.

$$A_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

Tabela 12 – Proximidade com as soluções ideais TOPSIS.

	Valor
Rede A	$\frac{0.144}{0.169+0.144} = 0.46$
Rede B	$\frac{0.169}{0.144+0.169} = 0,54$

6) Ordenar as alternativas pelo valor obtido na etapa anterior. Os valores de proximidade com a melhor solução variam entre 0, representando a pior situação, e 1 representando melhor situação. Quanto mais próximo de 1 melhor é a alternativa. No exemplo utilizado na tabela 12 mostra que a Rede B é a melhor escolha (RIOS, 2012).

### 2.3.9.4 GRA

O GRA é considerado um método eficiente no processo de tomada de decisão através de comparações entre o conjunto de atributos de cada alternativa e o conjunto de elementos tomados como referência de uma situação ideal. O objetivo é buscar um relacionamento de similaridade entre os atributos. O grau de similaridade entre os conjuntos de atributos é representado pelo Coeficiente Relacional Cinza (GRC). Quanto maior o GRC melhor será a alternativa (SONG; JAMALIPOUR, 2005),(SHIAO et al., 2009),(MARTÍNEZ-MORALES; PINEDA-RICO; STEVENS-NAVARRO, 2010).

O GRA é normalmente implementado em quatro etapas: definição de matriz de alternativas, normalização dos dados , cálculo dos coeficientes relacionais e cálculo do GRC entre os atributos das alternativas (RIOS, 2012).

1) Definição de uma matriz de alternativas e atributos para cálculo dos valores de referência.

Tabela 13 – Matriz de alternativas e atributos para GRA.

	<i>delay</i>	<i>jitter</i>	<i>packet loss</i>
Rede A	0,02	0,01	0,47
Rede B	0,15	0,01	0,59

2) Normalização dos valores dos atributos utiliza as seguintes equações.

Valores quanto maior melhor:

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min(x_i^0(k))}{\max(x_i^0(k)) - \min(x_i^0(k))}$$

Valores quanto menor melhor:

$$x_i(k) = \frac{\max(x_i^0(k)) - x_i^0(k)}{\max(x_i^0(k)) - \min(x_i^0(k))}$$

Onde  $x_i^0$  representa o valor de cada índice da matriz de atributos,  $\max(x_i^0(k))$  e  $\min(x_i^0(k))$  os maiores e menores valores entre os elementos de cada coluna da matriz de atributos e  $x_0$  a série principal com valores normalizados dos atributos que representam os melhores valores como referência (RIOS, 2012).

3) Cálculo dos coeficientes relacionais dos valores normalizados utilizando a equação abaixo (SHIAO et al., 2009).

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta min + \Delta max}{x_0(k) - x_i(k) + \Delta max}$$

Onde  $\Delta max, min = |x_0(k) - x_i(k)|$  representam os maiores e menores valores entre elementos de cada coluna da matriz de atributos.

4) Determinar o GRC entre os atributos de cada alternativa de acordo com a equação abaixo (RIOS, 2012).

$$S_i = \sum_{i=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) * w_j$$

Onde  $\gamma(x_0(k), x_i(k))$  é o valor GRC de cada atributo das alternativas e  $w_j$  é o peso de cada atributo. A alternativa com maior GRC com a série de atributos referência será selecionada.

Em alguns casos estes critérios e/ou atributos podem entrar em conflito e o algoritmo de decisão deve considerar dados imprecisos e ambíguos. Na literatura, muitos algoritmos de decisão normalizam estes dados imprecisos através de lógica Fuzzy, associados à diversas técnicas de decisão MADM. (AOUAM; CHANG; LEE, 2003)

### 2.3.9.5 Conclusão sobre Técnicas MAD

Métodos MADM tem sido largamente testados e utilizados em propostas de algoritmos de seleção, na maioria embarcados nos dispositivos móveis, considerando que estes são os responsáveis pelo processo. O objetivo é aprimorar o mecanismo de escolha da melhor alternativa em redes heterogêneas (UTMS, WLAN) na necessidade de um *handoff*. O ambiente de múltiplas alternativas e múltiplos critérios, a considerar durante este processo, de seleção torna os algoritmos MADM uma alternativa adequada e bastante pesquisada. O rumo das pesquisas ao longo dos anos, consiste na busca do algoritmo MADM mais eficiente para o problema de seleção de rede, incluindo análises com estes

algoritmos combinados e utilização de outras técnicas tais como Lógica Fuzzy e Algoritmos genéticos (LAHBY; BAGHLA; SEKKAKI, 2015).

## 2.4 Arquiteturas De Seleção

Nos últimos anos, a maioria das propostas de algoritmos de seleção de rede encontradas na literatura concentra o processo de seleção do lado do cliente, ou seja, todo o processo de busca de redes, coleta de dados e classificação de alternativas fica a cargo do DSF. Propostas mais recentes propõem arquiteturas onde o processo de seleção, ou maior parte dele, ocorra na forma de serviço para o usuário, poupando recursos computacionais dos dispositivos móveis. O objetivo é prover aos dispositivos móveis informações já processadas sobre as condições da rede, auxiliando no processo de decisão de *handoff*.

### 2.4.1 Trabalhos Relacionados

Em (TAWIL et al., 2007) os autores consideram dispendioso o processo de análise e classificação das redes ocorrer apenas no DSF, e propõem uma arquitetura de seleção distribuída entre o operador da rede e o DSF. O esquema consiste numa troca de informações entre cliente e controlador da rede, com o objetivo de qualificar cada rede disponível para que o cliente possa classificá-las e decidir qual delas oferece melhores condições. O processo consiste em 3 etapas:

1) DSF envia para cada rede disponível seu perfil com o valor dos critérios requeridos que indicam as condições desejáveis para estabelecer uma conexão. No caso os critérios que compõe o perfil do usuário são: D (*dropping probability*) ou probabilidade queda da rede, critério adotado neste esquema; B (largura de banda requerida), WD (Peso do parâmetro D) e WB (Peso do critério B).

2) Ao receber a notificação do cliente sobre o seu perfil, cada rede calcula seu nível de qualidade (Q) e deve retornar este valor para o cliente. Uma função de custo é utilizada do lado da rede para calcular o nível de qualidade, tomando com base alguns critérios, tais como, QoS, custo do serviço, segurança e consumo de energia. De acordo com o perfil enviado pelo cliente, pesos são atribuídos à estes critérios para ajustar a medida de qualidade aos interesses do cliente. A função de custo que retornará para o cliente o nível de qualidade  $Q_v$  utiliza a seguinte equação:

$$Q_v = \begin{bmatrix} W_{D_{req}} & W_{B_{req}} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \frac{1}{D_{off}} & B_{off} \\ \frac{1}{D_{req}} & B_{req} \end{bmatrix}$$

Onde,  $D_{off}$  e  $B_{off}$  representam, respectivamente, a probabilidade de queda da rede e largura de banda fornecidos pela rede;  $D_{req}$  e  $B_{req}$  os valores mínimos de probabilidade

de queda da rede e largura de banda requeridos pelo cliente e seus respectivos pesos  $W_{D_{req}}$  e  $W_{B_{req}}$ .

Com base nos parâmetros de pré-requisitos enviados pelo cliente, o controlador da rede também avalia se aceita ou não o pedido de conexão, levando em consideração algumas políticas e níveis de QoS suportados. Este processo é chamado de *Call Admission Control* (CAC). Dependendo da avaliação da rede o CAC pode obter os seguintes valores: 0, indicando que a rede não aceita participar do processo de decisão de *handoff*; e 1, caso a rede aceite a solicitação do cliente em participar do processo de *handoff*. Após calcular o nível de qualidade  $Q_v$ , a rede retorna para o cliente o valor final  $F_v$ , que representa o  $Q_v$  multiplicado pelo valor do CAC. O valor do CAC definirá se o cliente receberá  $F_v$  com valor zero, indicando que a rede não deve ser considerada no processo de decisão ou o valor do nível de qualidade a ser considerado na classificação das redes.

$$F_v = Q_v * cac$$

3) Do lado do dispositivo móvel, após coletar e classificar os valores  $F_v$  de todas as redes disponíveis, o processo de tomada de decisão para qual rede direcionar o tráfego de dados consiste na escolha da rede que retornou o maior valor de  $F_v$ . O gráfico a seguir ilustra o processo de seleção proposto:

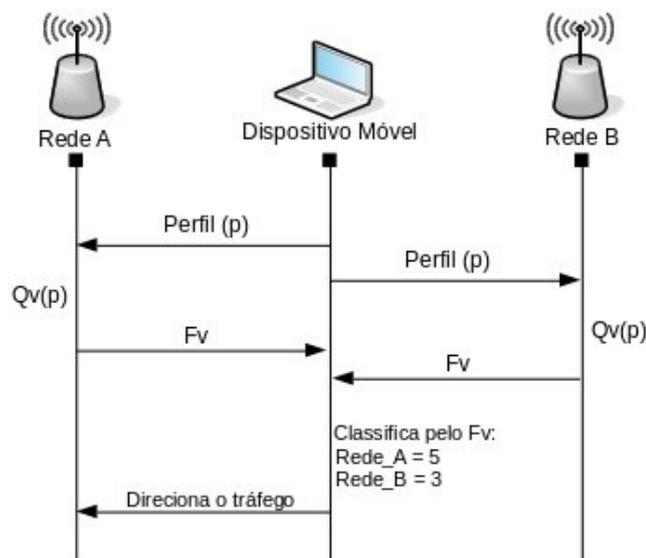


Figura 6 – Esquema de Seleção Arquitetura 1

Em (FIONA; SHAJI; JAYAN, 2014) os autores propõem uma estrutura de seleção de redes que auxilie os usuários de uma rede celular durante a troca de área de cobertura, e decisão de *handoff* entre as redes disponíveis. O administrador da rede mantém uma

base de dados com informações de QoS de cada ponto de acesso disponível nas áreas de cobertura do seu domínio administrativo. Quando o usuário sair de uma área de cobertura provida por um ou mais pontos de acesso, o administrador da rede disponibiliza para ele a lista classificada dos pontos de acesso da área em que ele estiver entrando, para assim o usuário do DSF decidir pelo melhor ponto de acesso na nova área. Na comunicação entre cliente e administrador da rede, são trocadas informações sobre a localização do DSF e área de cobertura dos pontos de acesso para identificar o momento de transição do DSF entre as áreas e selecionar os pontos de acesso da área onde o DSF se encontra.

Pelo esquema apresentado, o administrador da rede mantém uma lista dos pontos de acesso de suas áreas, avalia as condições de uso de cada ponto considerando alguns critérios críticos como custo, *jitter*, *delay* e erros de transmissão, fornecendo para o DSF conectado uma classificação por QoS, auxiliando no processo FBSS (*Fast Base Station Switching handover*).

Alguns valores dos critérios para construção da tabela de decisão de *handoff* das redes, são obtidos através de protocolos de rede tais como MIH (*Media Independent Handover*), desde que a rede e dispositivos móveis o utilizem. Valores de *delay*, *jitter* e perda de pacotes, são registrados pelos pontos de conexão da área durante a troca de pacotes de dados com os dispositivos móveis conectados. Grandes perdas de pacotes estão relacionadas com a distância do DSF e o ponto de acesso. Periodicamente os valores destes critérios são coletados de cada ponto de acesso da área, ponderados através do método WRMA (*Weighted Rating of Multiple Attributes*), descrito em (YANG; TSENG, 2011), submetidos ao algoritmo TOPSIS para classificação e atualização da tabela de decisão de *handoff* e fornecida para o DSF, conforme esquema a seguir:

Em (MOREIRA et al., 2015) os autores demonstraram a preocupação quando o processo de seleção de redes é implementado apenas do lado do DSF. Consideram que o desejo primário de usuários móveis é se manter sempre conectado a melhor rede disponível, conforme os conceitos ABC. Entretanto, a maioria destes dispositivos possuem recursos computacionais modestos (processador, memória e bateria) que poderiam ser poupados quando liberados do processo de análise e classificação de redes.

A proposta aborda dois aspectos: mecanismo de classificação baseado em redes neurais e uma arquitetura de seleção cliente-servidor, como demonstrado na figura 8. O lado servidor consiste em monitorar as redes disponíveis em intervalos predefinidos, coletar níveis de QoS de cada rede e classificá-las utilizando métodos de aprendizado de redes neurais. Em cada ciclo de busca das redes disponíveis o servidor avalia os seguintes critérios: *jitter*, *delay*, perda de pacotes, nível de sinal, *throughput* e custo monetário. O método MOS (*Mean opinion Score*), muito utilizado para representar a medida de qualidade de voz em redes telefônicas, foi utilizado para classificar cada rede em termos de Excelente, Bom, Razoável, Pobre e Ruim. Para cada nível de qualidade MOS foram definidos os

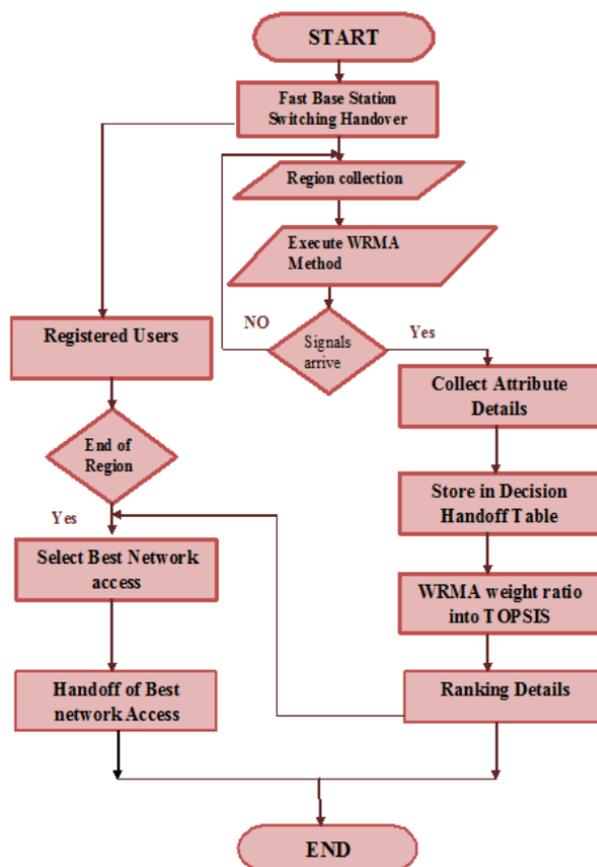


Figura 7 – Esquema de handoff proposto em (FIONA; SHAJI; JAYAN, 2014)

valores adequados para os critérios avaliados. A tabela 14 mostra os valores que foram utilizados como base para treinar o módulo classificador utilizando redes neurais.

Tabela 14 – Valores adequados para o conceito MOS.

Classificação	Jitter	Delay	Packet Loss	Signal	Throunghput	Custo
Excelente	0-1	0-0.5	0-0	60-100	5000-15000	0-5
Boa	1-3	0.5-1	0-1	40-60	1500-5000	1-6
Razoável	3-5	1-3	1-3	30-40	800-1500	2-7
Pobre	5-10	3-190	3-10	20-30	500-800	3-8
Ruim	10-15	10-15	10-15	0-20	0-500	4-9

A classificação final das redes disponíveis, ordenada por níveis de qualidade MOS, é fornecida para o DSF através de *web services* sempre que consultado. Entende-se que neste processo cada grupo de pontos de acesso sem fio possui um servidor responsável pelo monitoramento e classificação. Cabe ao cliente conhecer o servidor e ter acesso para requisitar essa classificação durante o processo de *handoff*.

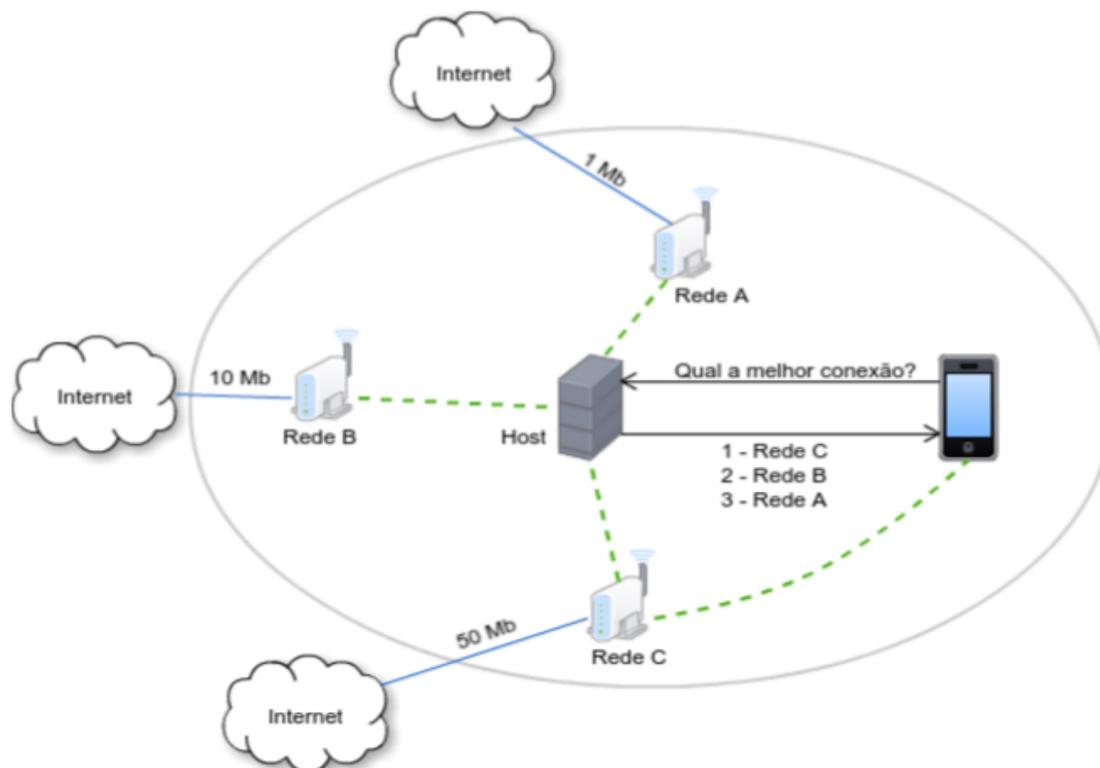


Figura 8 – Arquitetura cliente-servidor

Em (SILVA, 2015) o autor propõe uma arquitetura cliente-servidor semelhante ao proposto em (MOREIRA et al., 2015), onde o processo de coleta de informações das redes disponíveis em uma determinada área e aplicação de métodos de classificação são implementados do lado do servidor. Cada servidor é responsável pelo mapeamento das redes sem fio disponíveis em uma determinada área, sendo do mesmo domínio administrativo ou não, abrangendo redes WLAN, WMAN e UTMS, desde que o servidor tenha conexão com essas tecnologias. Em uma área onde são disponibilizados vários pontos de acesso seria necessário pelo menos um servidor de seleção de redes para fornecer informações sobre as condições de acesso. Cada servidor periodicamente coleta informações das redes que monitora, classifica e armazena em base de dados local.

Quando um determinado DSF necessitar de informações sobre as condições das redes da área em que se encontra, poderá solicitar do servidor que monitora a área e decidir qual rede conectar. Cada servidor, além de fornecer a classificação das redes que monitora, também fornecerá seu posicionamento geográfico e uma lista de servidores de outras áreas e suas respectivas localizações geográficas. Dessa forma, quando um determinado cliente consultar um servidor, informando seu posicionamento, poderá receber como resposta o endereço para consulta do servidor mais próximo do cliente, caso esteja na lista de parceiros do servidor. Esta é a forma proposta para distribuir a lista de servidores para os clientes.

Como também proposto por (RIOS, 2012) e (MOREIRA et al., 2015), o processo de seleção do lado do servidor consiste de um módulo coletor de dados, responsável por analisar as redes disponíveis e coletar dados dos critérios de seleção predefinidos; um módulo de classificação das redes, responsável por aplicar o método escolhido para ponderar os dados coletados e classificar as redes disponíveis, e o módulo de interação com o cliente.

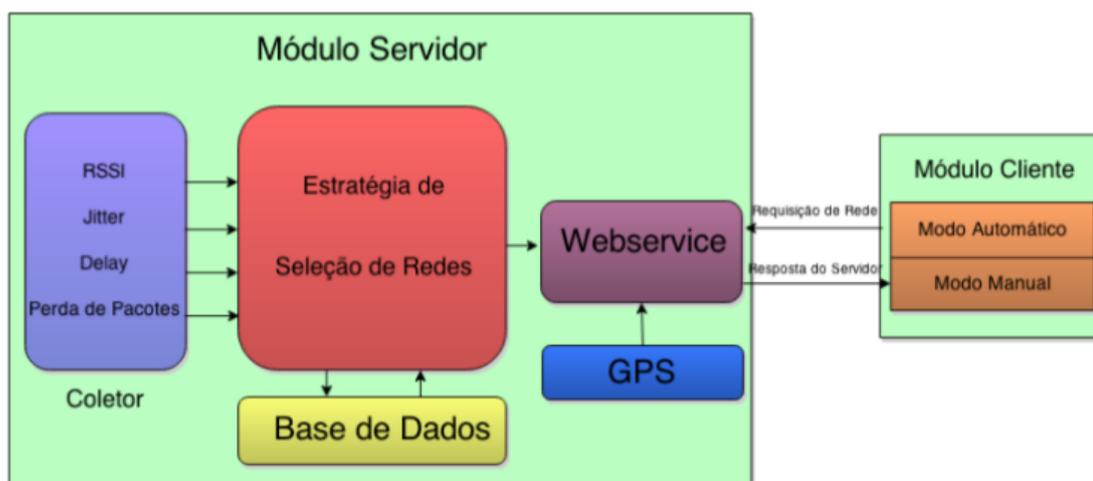


Figura 9 – Funções dos Módulos Servidor e Cliente - Arquitetura de (SILVA, 2015)

Em resumo, cada servidor mantém sua base de dados com classificações periódicas das redes que monitora e uma lista com a localização geográfica de outros servidores. O módulo cliente deve ter pelo menos um servidor cadastrado para consultar as condições das redes de uma determinada área e/ou obter informações de outros servidores de acordo com a sua localização. Conforme consultas à servidores de sua lista, os clientes podem adicionar novos servidores conforme sua localização, indicados por servidores de outros parceiros. A cada novo servidor de área essas listas devem ser atualizadas.

Coordenadas geográficas, nessa proposta, são utilizadas apenas para localizar os servidores parceiros e determinar qual deles está mais próximo do cliente móvel, caso o cliente não esteja em sua área de cobertura. Ocorre que em determinadas situações, quando servidores parceiros monitoram áreas próximas, o servidor inicialmente consultado, poderá indicar para o cliente outro servidor em função de sua localização. Entretanto, mesmo se uma das redes monitoradas pelo servidor inicialmente consultado estiver mais próxima do cliente que o servidor indicado, o cliente fará uma segunda consulta para o servidor indicado e receberá a classificação de outras redes.

No núcleo de processamento dos dados coletados, responsável pela classificação das redes, foi utilizado a combinação dos métodos AHP, para ponderação dos dados, já mencionado anteriormente, e o método Promethee II ((ROSSINI, 2011)) para análise e

classificação multicritério. O trabalho analisou a eficiência da aplicação destes métodos no processo de classificação sobre essa arquitetura, comparando a análise das redes sob pontos de vista de cliente e servidor.

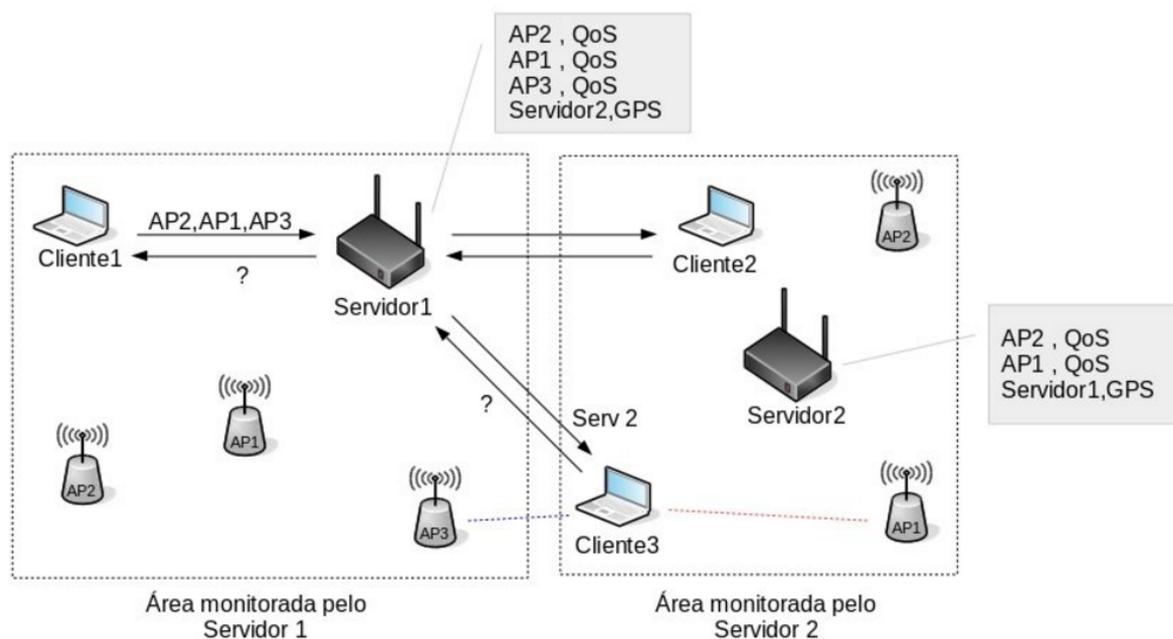


Figura 10 – Arquitetura cliente-servidor (SILVA, 2015) - Módulo Servidor

Como mostra o cenário na figura 10, duas áreas próximas são monitoradas por 2 servidores parceiros. O cliente1, posicionado na área monitorada pelo servidor1, faz uma consulta sobre as condições das redes. Para isso ele deve saber previamente o endereço do servidor daquela área. Sabendo que o cliente1 está em sua área, o servidor1 retorna a classificação das redes monitoradas por ele. O cliente2, embora esteja em outra área, sabe apenas o endereço do servidor1 e faz uma consulta. O servidor1 pode retornar a classificação de sua rede monitorada como também pode indicar o endereço do servidor2 como sugestão por estar mais próximo do cliente2, e poderá fornecer informações sobre redes mais próximas. Isso considerando que o servidor1 saiba da existência do servidor2. Já o cliente3, também consultando o servidor1, pode receber a mesma indicação sobre o servidor2, mesmo estando mais próximo de uma rede monitorada pelo servidor1. No caso do cliente3 perceber as redes das duas áreas, deverá fazer consultas a servidores diferentes para obter as condições das redes próximas a ele e assim tomar uma decisão sobre qual conectar.

Perfil da estrutura:

- Um servidor em cada área com vários pontos de acesso.
- Servidor de área atua também como classificador e armazenador dos dados.

- Cada servidor mantém uma lista de endereços de outros servidores.
- Informa ao cliente o endereço de outro servidor mais próximo dele caso conheça.
- Cliente deve manter lista de servidores conhecidos.
- Localização baseada apenas no servidor e não nos pontos de acesso.

## 2.4.2 Conclusão dos Trabalhos Relacionados

Diante de muitas propostas de arquiteturas, protocolos e algoritmos utilizados para seleção de redes, o cenário atual sugere que ainda não foi definido um padrão eficiente e viável do ponto de vista de implementação e custo, de forma que substitua o esquema *WLAN-First* ainda utilizado na maioria dos DSF populares, e que atenda as necessidades do usuário conforme os conceitos ABC.

As variadas situações de conectividade que um DSF possa enfrentar, tais como, diferentes tecnologias de acesso, decisões de *handoff*, mobilidade, interrupções de serviços entre as trocas de conexões, instabilidade de sinal e tráfegos de dados; representam de forma individual e associada alguns problemas a serem resolvidos em ambientes de conectividade sem fio.

Para um DSF que precisa manter-se conectado com a melhor rede disponível, considerando apenas redes WLAN com vários pontos de acesso, já representa uma situação que necessita de uma análise mais eficiente sobre as condições de cada ponto de acesso. Cada um destes pontos, independente da força de sinal que atualmente é o principal parâmetro de qualidade, pode oferecer condições de conectividades variadas que influenciem na qualidade de experiência do usuário.

Os trabalhos aqui referenciados representam uma das frentes de pesquisa que analisam a eficiência de mecanismos de tomada de decisão, independentes e associados, sobre estratégias de arquitetura de rede como serviço, promovendo um processo de seleção distribuído no modelo cliente-servidor. As propostas buscam um modelo de implementação viável e mais leve para os DSF no sentido computacional.

Em (TAWIL et al., 2007), (FIONA; SHAJI; JAYAN, 2014) e (SILVA, 2015) os autores propõem estruturas de seleção que auxiliem o usuário no processo de tomada de decisão sobre qual das redes disponíveis é a melhor opção. Estes trabalhos propõem modelos de gerenciamento de conexões onde cada rede, formada por vários pontos de conexão sem fio sob o mesmo domínio administrativo, mantém dispositivos dedicados que monitoram, coletam e armazenam informações de QoS de cada ponto de acesso. Nestes dispositivos também são processadas as informações coletadas e aplicadas técnicas de ponderação e classificação das redes.

Analisando os aspectos relacionados a conectividade sem fio, é válido questionar o quanto as informações de QoS fornecidas por um destes agentes coletores de cada rede pode ajudar na tomada de decisão dos dispositivos dos usuários. Apenas o posicionamento do agente coletor em relação aos pontos de acesso e ao cliente, já representa uma variação na análise das redes disponíveis. Embora o objetivo de alguns trabalhos seja apenas analisar a eficiência das técnicas de ponderação e classificação dos dados coletados, é importante avaliar também a implementação da arquitetura, a forma de acesso às classificações de redes distintas e o posicionamento do cliente em relação aos pontos de acesso.

### 3 ARQUITETURA IMPLEMENTADA PARA ANÁLISE

A pesquisa em questão consiste na implementação e avaliação de um modelo de arquitetura de seleção de redes, tomando como base os trabalhos de (SILVA, 2015), (RIOS, 2012) e (MONTEIRO, 2012). O modelo implementado busca avaliar a eficiência da arquitetura em ambiente real, considerando alguns ajustes na estrutura cliente-servidor propostos nos trabalhos referenciados, modificando o esquema de busca, retorno, processamento e armazenamento das informações entre os dispositivos envolvidos.

Os ajustes na arquitetura implementada neste trabalho envolvem a forma como os dados das redes são armazenados e processados através de um único servidor, dando ao usuário um ponto único de consulta; e também no método de classificação que inclui entre os critérios de avaliação o posicionamento do DSF em relação ao ponto de acesso mais próximo, através de coordenadas GPS (*Global Positioning System*).

Utilizando o conceito de coletor de dados e classificador de redes como serviço para DSF, a estrutura a ser avaliada consiste de um agente coletor de informações de QoS de redes WLAN e um servidor/classificador em nuvem que concentrará as informações das redes analisadas pelos coletores (CRL). Quando consultado pelos DSF, o servidor em nuvem fornece indicações da melhor rede em sua área.

A proposta de aprimoramento na arquitetura de seleção de redes implementada consiste na distribuição das funções de coleta de informações das redes disponíveis e no armazenamento/processamento dessas informações. Os coletores, unidades que monitoram as redes disponíveis em uma determinada área, têm a única função de coletar informações de QoS das redes conectáveis em sua área e enviar essas informações para um servidor de classificação em nuvem.

O servidor é o agente único na estrutura que concentra as informações enviadas pelos coletores de várias áreas, responsável pela análise, classificação e entrega para os DSF a indicação da melhor rede conforme sua localização geográfica. O servidor é também o ponto único de consulta para os DSF, sem a necessidade de conhecer o endereço dos diversos coletores de áreas.

Tendo em vista o posicionamento fixo dos pontos de acesso e do agente coletor, sem muitas variações na qualidade do sinal entre eles, busca-se analisar a eficiência da indicação da melhor rede entregue ao cliente, considerando o seu o posicionamento em relação aos pontos de acesso e não apenas sob o ponto de vista do coletor da área. A análise consiste em comparar a opção de melhor rede do ponto de vista do DSF, sem deslocamento, com a indicação do servidor. A questão é avaliar o quanto a indicação do servidor é coerente com a análise feita pelo DSF.

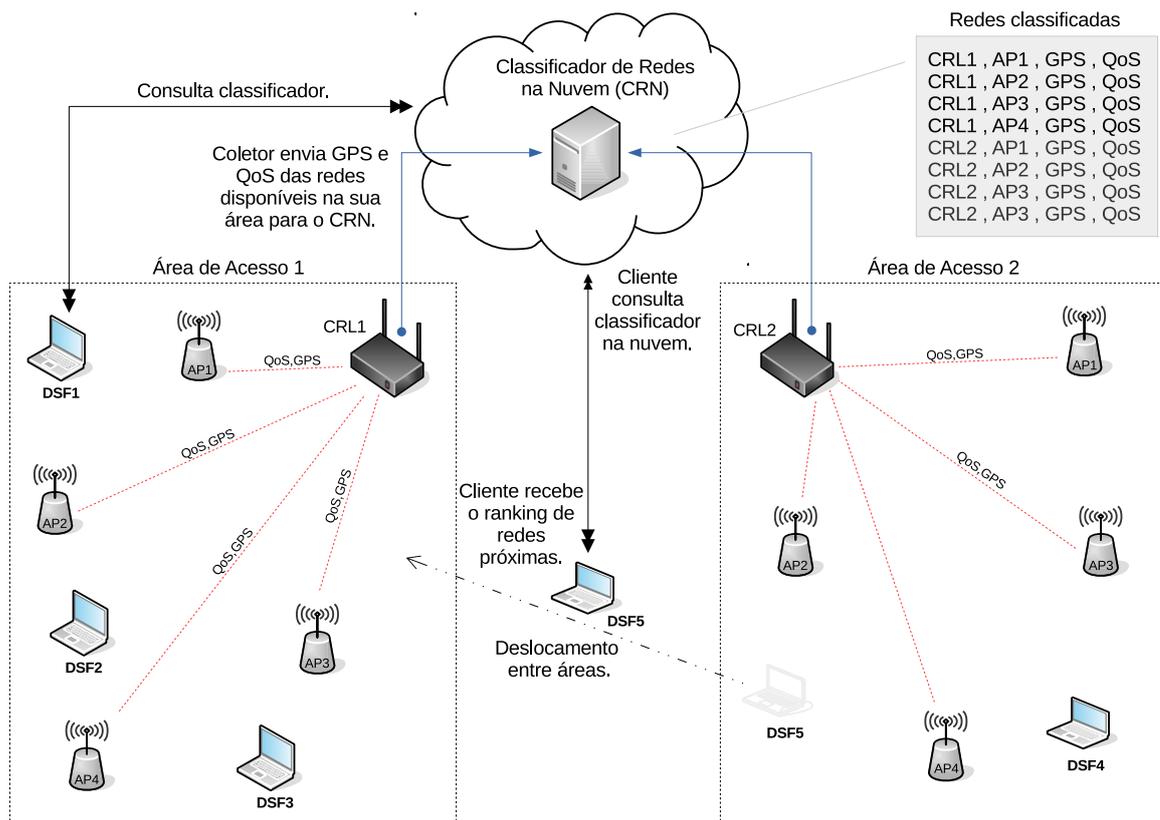


Figura 11 – Arquitetura Implementada

### 3.1 Coletor de Redes Locais

Na arquitetura implementada, o Coletor de Redes Locais (CRL) consiste de um dispositivo de monitoramento configurado com *interface* de conexão sem fio compatível com as redes que se propõe a monitorar. Sua função primária consiste em verificar continuamente, em tempos regulares, a disponibilidade das redes WLAN previamente definidas para sua área de gerenciamento. Para cada rede local disponível o CRL estabelece uma conexão e inicia o processo de coleta de dados para análise de QoS (*Jitter*, *Delay*, *Packet Loss*, *RSS* e *throughput*).

A cada ciclo de análise das redes disponíveis, nesta avaliação configurado com intervalos de 2 minutos, os dados são organizados e enviados para o Classificador de Redes em Nuvem (CRN). O CRL atua como um cliente comum, estabelecendo uma conexão com cada uma das redes disponíveis para que possa avaliar as condições de acesso e tráfego de dados. São enviados para o CRN apenas as avaliações das redes que o CRL estabeleceu conexão, e foi possível uma coleta de dados. Cada CRL possui uma tabela, com os nomes das redes a serem monitoradas, e suas coordenadas geográficas que devem ser enviados para o CRN junto com os dados de QoS.

Depois de estabelecida a conexão entre coletor e rede monitorada, os dados relacionados aos critérios *Jitter*, *Delay* e *Packet Loss* são obtidos através do protocolo ICMP, capturando a média de uma sequência de resumos estatísticos retornados pelo comando *ping* dos sistemas UNIX. Ao final do comando temos informações relacionadas à latência no formato **rtt min/avg/max**, representando os valores mínimo, médio e máximo do tempo de resposta em milissegundos. Neste resumo também é apresentado o percentual de pacotes perdidos (*packet Loss*).

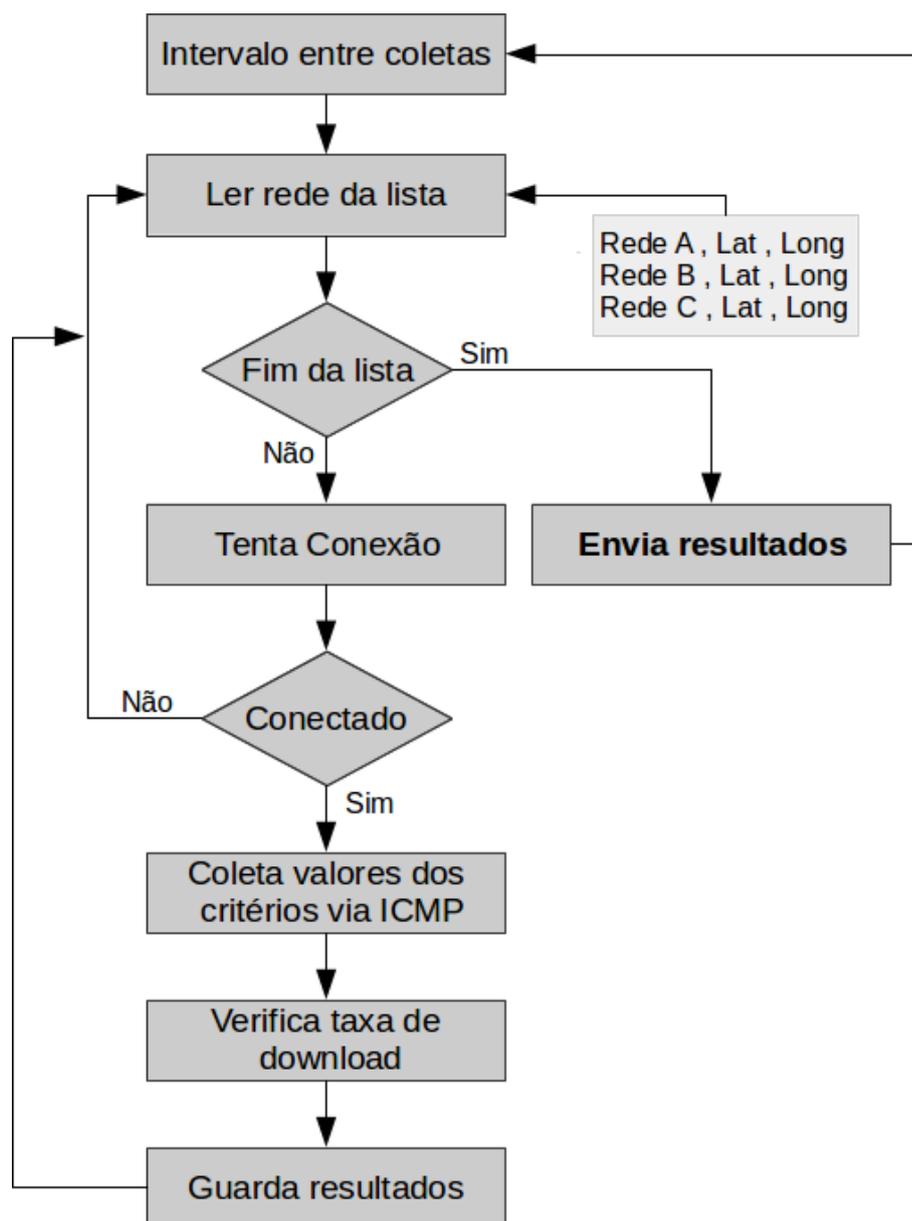


Figura 12 – Fluxo do Coletor de Redes Locais

A coleta de dados através do comando *ping*, consiste na média dos resultados das estatística de 5 comandos sequenciais, com envio de 10 pacotes com intervalos de 1ms. Segue exemplo da saída do comando:

```
1 ping -c 10 -i 0.0001 8.8.8.8
2 PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) 56(84) bytes of data.
3 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=41 time=102 ms
4 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=41 time=102 ms
5 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=41 time=102 ms
6 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=4 ttl=41 time=102 ms
7 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=5 ttl=41 time=102 ms
8 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=6 ttl=41 time=102 ms
9 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=7 ttl=41 time=102 ms
10 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=8 ttl=41 time=102 ms
11 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=9 ttl=41 time=102 ms
12 64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=10 ttl=41 time=102 ms
13
14 --- 8.8.8.8 ping statistics ---
15 10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 124ms
16 rtt min/avg/max/mdev = 102.351/102.405/102.475/0.380 ms, pipe 8,
    ipg/ewma 13.827/102.409 ms
```

A taxa de transferência de dados (*throughput*), entre o CRL e servidores na Internet, é definida através de testes de *download* utilizando aplicações para análise de largura de banda. No caso foi utilizado o *script speedtest-cli*<sup>1</sup> que utiliza uma lista de servidores externos para este fim. A cada execução o *script* procura em sua lista os servidores mais próximos da rede origem do teste. Para não utilizar sempre o mesmo servidor a cada ciclo de testes, e assim evitar fluxos contínuos para mesma rede externa, o CRL possui uma lista com alguns servidores próximos utilizados pelo *speedtest-cli* e alterna os testes entre eles.

Dependendo da largura de banda disponível nas redes monitoradas e na frequência dos testes realizados pelo CRL, o *speedtest-cli* pode impactar no consumo da banda disponível utilizada pelos usuários. Nos testes o *speedtest-cli* transferiu em média 30Mbytes de dados em cada medição. Em redes com baixa largura de banda é necessário ajustar o intervalo dos testes, utilizar um aplicativo regulável com relação aos limites de transferência ou utilizar uma técnica de medição mais adequada.

O nível de sinal de cada rede foi obtido através do comando *iwconfig*, utilizado para configurar e exibir informações de *interfaces* WiFi ativas no sistema. Entre as informações exibidas pelo comando temos o *Signal level* que apresenta a força do sinal em dBm, como pode ser observado no exemplo a seguir:

```
1 w1 IEEE 802.11abgn ESSID:"IFTO_ADM_01"
2   Mode:Managed Frequency:2.462 GHz Access Point: 18:D6:C7:FC
3   Bit Rate=144.4 Mb/s Tx-Power=15 dBm
```

<sup>1</sup> <https://github.com/sivel/speedtest-cli>

```

4  Retry short limit:7   RTS thr:off   Fragment thr:off
5  Encryption key:off
6  Power Management:on
7  Link Quality=62/70   Signal level=-48 dBm
8  Rx invalid nwid:0   Rx invalid crypt:0   Rx invalid frag:0
9  Tx excessive retries:0   Invalid misc:542   Missed beacon:0

```

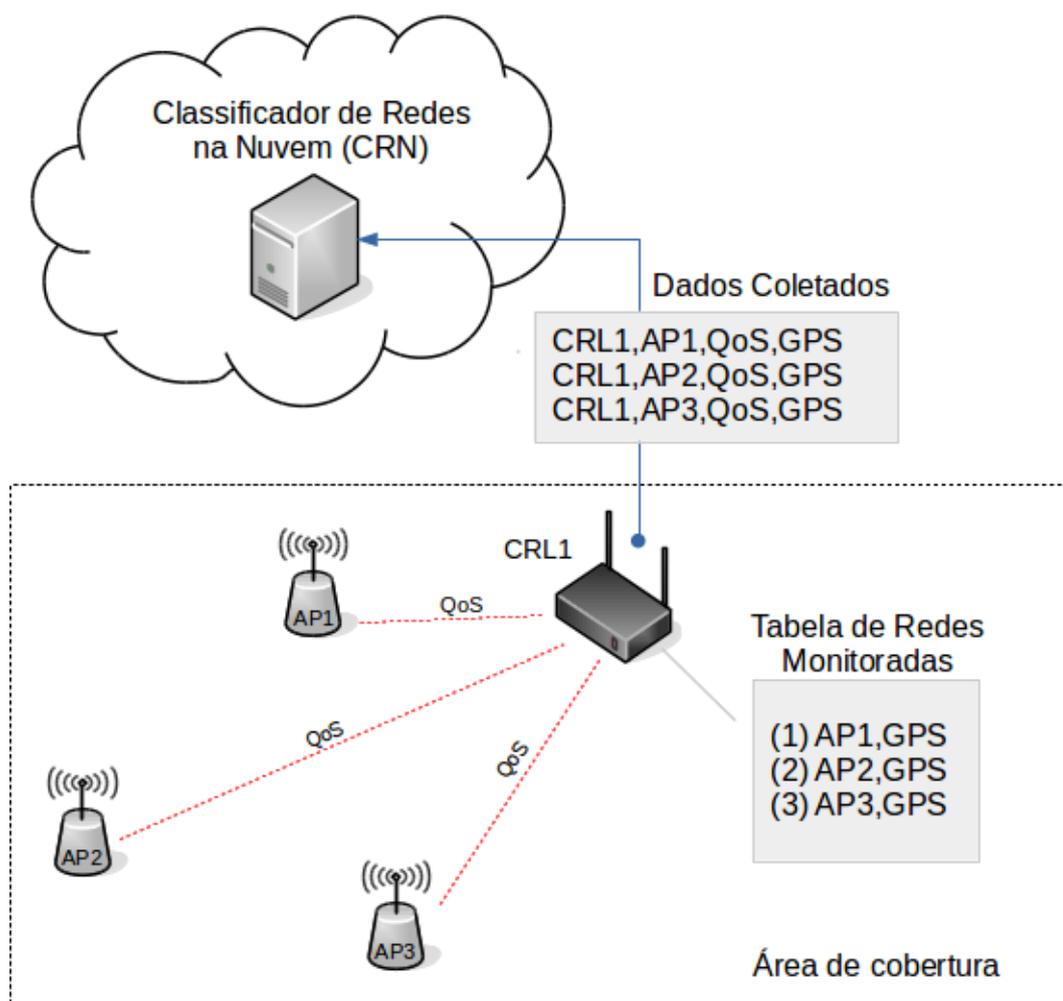


Figura 13 – Arquitetura do Coletor

Para o processo de coleta foi desenvolvido um *script* único utilizando a linguagem de comandos BASH (GNU *Bourne-Again SHell*), disponível como padrão no sistema operacional Linux Debian<sup>2</sup> versão 8.0 instalada no coletor. Além do Bash, outras aplicações disponíveis no sistema operacional instalado foram utilizadas no *script*, tais como, *ifconfig*, *dhclient*, *iwconfig* e *ping* para configurações de rede e coleta dados.

Conforme demonstrado na figura 13, após cada ciclo de análise, o CRL envia seus dados para o CRN, através de uma conexão TCP via Internet para o banco de dados de

<sup>2</sup> <https://www.debian.org/>

coletas administrado pelo CRN. A aplicação de linha de comando *psql*, módulo cliente para conexões com o banco de dados PostgreSQL<sup>3</sup>, foi utilizada para o envio destes dados à base de dados do CRN através de instruções SQL. No final de cada ciclo, o CRL envia dois comandos *psql* para a base do CRN: o primeiro marca os registros já enviados como coletas anteriores; o segundo envia as novas coletas que serão consideradas como atuais.

Os dados correspondentes à cada rede analisada são enviados para o CRN na seguinte estrutura: **coleta** (Data coleta, Hora Coleta, Nome Coletor, Nome da Rede, Rede Latitude, Rede Longitude, Valor do Jitter, Valor do Delay, Total Packet Loss, Taxa de Download em Mbps, Coletor Latitude, Coletor Longitude )

Exemplo de comandos de envio de dados pelo coletor:

```
1 sql_comando1 = "update coletas set ultima_coleta = 0
2           where coletor = id_coletor"
3 sql_comando2 = "insert into coletas
4           values ('$data', '$hora', '$id_coletor',
5                   '$rede', $rede_lat, $rede_lon,
6                   $jitter, $delay, $loss, $throughput, '1',
7                   $rss, $coletor_lat, $coletor_lon)"
8
9 psql -h $host_crn -d $bd_coletas -U $usuario_coletor -c $comando1
10 psql -h $host_crn -d $bd_coletas -U $usuario_coletor -c $comando2
```

Cabe ao CRL buscar as redes disponíveis em sua área, testar a conexão com os critérios predefinidos e enviá-los sem nenhum tipo de ponderação ou classificação. A lista com o nome das redes WLAN a serem monitoradas deve ser conhecida pelo CRL juntamente com as informações de posicionamento (Latitude e Longitude) de cada uma. O ciclo de coletas segue o fluxo apresentado na figura 12.

## 3.2 Classificador de Redes em Nuvem

A entidade central da arquitetura implementada consiste de um sistema *Web* com a função de receber, armazenar e processar as informações das redes de diversas áreas enviadas pelos coletores (CRL) parceiros. As informações armazenadas, ou seja, os últimos valores dos critérios básicos de QoS das redes são submetidos à métodos de ponderação e classificação, e disponibilizados para os DSF sempre que solicitados. O objetivo do CRL é prover um ponto de consulta único em nuvem, como apoio aos DSF no processo de seleção de redes.

---

<sup>3</sup> <https://www.postgresql.org/>

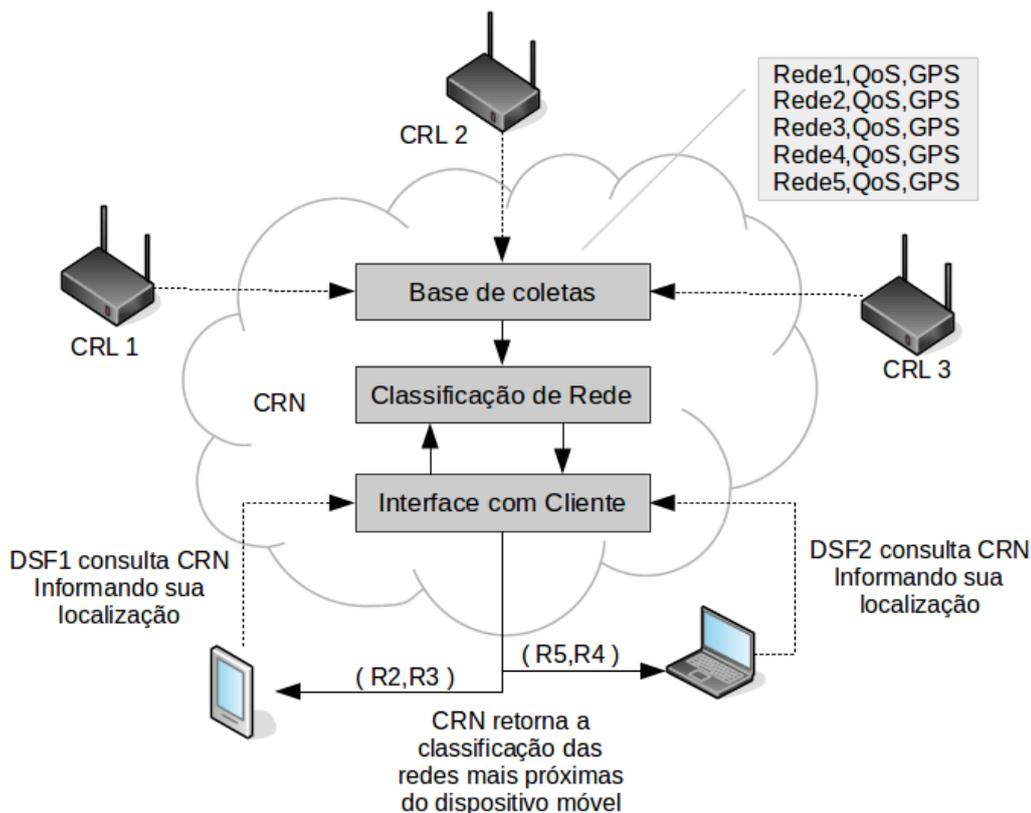


Figura 14 – Arquitetura do Classificador

### 3.2.1 Base de Dados de Coletas

Sistema gerenciador de banco de dados (SGDB), configurado para aceitar conexões remotas dos coletores parceiros, para o registro persistente dos dados das redes monitoradas. O Postgresql versão 9.5 foi o SGBD utilizado para o gerenciamento destes dados, instalado sobre o sistema operacional Debian 8.0. Além de armazenar dados, o SGBD também foi utilizado para prover funções úteis que auxiliam no processo de classificação dos dados, tais como, função para cálculo de peso de QoS e função para calcular a distância entre dois pontos através de coordenadas GPS. Segue a estrutura da tabela de coletas no formato de definição de dados SQL:

```

1 CREATE TABLE public.coletas
2 (
3     data date NOT NULL,
4     hora time without time zone NOT NULL,
5     coletor smallint NOT NULL,
6     rede character(50) NOT NULL,
7     rede_lat numeric,
8     rede_lon numeric,
9     rede_jitter numeric,

```

```

10 rede_delay numeric ,
11 rede_loss numeric ,
12 rede_thro numeric ,
13 ultima_coleta character(1) ,
14 dbm smallint ,
15 coletor_lat numeric DEFAULT 0 ,
16 coletor_lon numeric DEFAULT 0 ,
17 CONSTRAINT coletas_pk PRIMARY KEY (data , hora , coletor , rede)
18 )

```

### 3.2.2 Classificação de Redes

O módulo de classificação implementa as políticas e métodos de ponderação e classificação configurados no CRN, aplicados aos valores dos critérios das redes selecionadas. De forma escalável vários métodos de classificação podem ser implementados posteriormente. A política inicial de seleção utilizada nesta implementação, consiste em consultar na base de dados as redes mais próximas do DSF e depois classificá-las pelas condições de QoS. Outros parâmetros podem ser considerados dependendo das informações enviadas pelo DSF, tais como, requisitos mínimos de banda, perfil de aplicação em curso e tecnologia de rede preferida (WLAN,WiMAX,LTE), caso existam registros de coletores para estes tipos de rede. O envio de novos parâmetros pela aplicação do DSF depende do CRN estar configurado para recolhê-los e possuir uma política de classificação adequada.

No CRN os métodos de classificação podem ser definidos através consultas SQL e funções implementadas no próprio SGBD. Dessa forma a aplicação que recebe as requisições dos DSF, pode utilizar a consulta mais adequada de acordo com os parâmetros enviados e a política de classificação necessária. Na avaliação da arquitetura foi utilizada uma política de classificação simples, calculando o QoS por uma soma direta dos parâmetros ( $pj*jitter + pd*delay + pl*packetloss + pb*banda$ ) multiplicados pelo seus respectivos pesos, opcionalmente enviados pelo DSF.

Segue uma instrução SQL, implementada no módulo de classificação, que consulta a base de dados de coletas utilizando as funções auxiliares e os parâmetros recebidos:

```

1 metodo_basico = "select
2     rede ,rede_jitter ,rede_delay ,rede_loss ,rede_thro ,dbm ,
3     distancia_m(%s,%s,rede_lat ,rede_lon) as dist_cli_rede ,
4     funcao_qos (pj ,pd ,pl ,pb ,rede_jitter ,rede_delay ,rede_loss
5     ,rede_thro) as qos
6     from coletas
7     where distancia_m(%s,%s,rede_lat ,rede_lon) <= %s and
8     ultima_coleta = '1'

```

```
7      order by dist_cli_rede, qos desc limit 3 " % (x_lat,x_lon
      ,x_lat,x_lon,x_raio)
```

Na instrução acima duas funções auxiliares são utilizadas: a função *distancia\_m* recebe as coordenadas GPS enviadas pelo cliente, compara com as coordenadas da rede na tabela de coletas e retorna a distância em metros. A função *funcao\_qos* recebe valores de QoS, seus respectivos pesos e retorna o nível de qualidade. Ao final, a instrução retorna 3 opções de redes, ordenadas pelas mais próximas do cliente, dentro do raio solicitado e depois pelo nível de qualidade. Com as coordenadas dos APs, informadas pelo CRL, e o filtro das redes baseadas em um raio de cobertura, predefinido pelo administrador do CRN, garantem que o cliente sem fio esteja dentro da cobertura do sinal dos APs selecionados.

### 3.2.3 Interface com o Cliente

A camada de *interface* com cliente é encarregada de receber as requisições dos DSF sobre as redes disponíveis, repassar para o classificador e devolver o resultado. Essa *interface* representa um endereço de Internet para um serviço de consulta, com passagens de parâmetros através do protocolo HTTP. A linguagem de *script* Python<sup>4</sup>, também nativa no sistema operacional Linux, foi utilizada na implementação desse módulo. Para que o *script* atuasse como *web service*<sup>5</sup> sobre o protocolo HTTP, foi instalado o framework Flask<sup>6</sup> que fornece as funções necessárias para a linguagem utilizada.

Para as aplicações de consulta implementadas nos DSF, é necessário conhecer o endereço na Internet do CRN e os parâmetros necessários, que devem ser enviados no formato de passagem de parâmetro do protocolo HTTP<sup>7</sup>. O formato de consulta esperado pelo CRN, na configuração avaliada, considera os seguintes parâmetros: coordenadas, na forma de latitude e longitude, raio de busca para as redes mais próximas, tipo de classificação e pesos dos critérios. Caso o parâmetro de raio seja omitido na consulta, adota-se o raio de 50 metros.

Segue exemplo de consulta ao módulo de *interface* com cliente do CRN utilizando o protocolo HTTP, passando como parâmetros as coordenadas geográficas no formato geodésico decimal:

```
1 http://crn.parente.eti.br/redes?lat=-10.199243&lon=-48.312852
```

Se omitido a indicação do tipo de classificação, o CRN adotará a política de classificação básica com pesos no valor de 1. Opcionalmente pode ser incluído na consulta ao CRN, o tipo de classificação requerida e os pesos dos critérios no seguinte formato:

<sup>4</sup> <https://www.python.org/>

<sup>5</sup> [https://pt.wikipedia.org/wiki/Web\\_service](https://pt.wikipedia.org/wiki/Web_service)

<sup>6</sup> <http://flask.pocoo.org>

<sup>7</sup> <https://tools.ietf.org/html/rfc2616>

```
1 http://crn.parente.eti.br/redes?lat=-10.199243&lon=-48.312852&cla  
   =1&pj=-0.0425&pd=-0.0002&pl=0.0013&pb=1
```

O retorno da consulta anterior é recebido pelo cliente no formato texto simples com a lista das redes mais próximas das coordenadas informadas, ordenadas por proximidade e nível de qualidade de QoS. Como mostra o exemplo abaixo, cada linha corresponde a uma rede com as seguintes informações separadas por vírgulas: nome da rede, *jitter*, *delay*, *packet loss*, largura de banda, nível de sinal e QoS.

```
1 IFTO_ADM_01 , 5.541 , 38.803 , 0 , 20.91 , -62 , 20.7  
2 IFTO_ADM_LABINS , 3.736 , 39.051 , 0 , 0.24 , -77 , 0.1
```

### 3.2.4 Dispositivo Sem Fio

Na arquitetura implementada, considera-se cliente do CRN qualquer dispositivo equipado com *interfaces* de conexão sem fio (celulares, notebook), e sistema operacional com aplicações ativas dedicadas ao controle de *handoff*, que buscam informações sobre as condições das redes em sua área. As informações providas pelo CRN servem de referência para comparações entre o ponto de vista do cliente e os valores sugeridos, auxiliando no processo de decisão sobre qual rede oferece as condições necessárias.

### 3.2.5 Conclusão

A estrutura em questão promove uma escalabilidade em termos de quantidade de áreas monitoradas, tecnologias analisadas e métodos de classificação. Para cada nova área monitorada basta implementar um CRL e configurá-lo como parceiro de um CRN. As funcionalidades do CRN podem ser escaladas provendo serviços tanto para os CRNs parceiros quanto para os DSF. Além de oferecer um ponto único de consulta no auxílio aos DSF no processo de tomada de decisão, pode oferecer estatísticas de QoS com base no histórico das informações das redes já armazenadas.

A inclusão do posicionamento geográfico aos critérios de classificação, proposta na arquitetura a ser implementada, configura-se como um critério a ser testado para validar o questionamento sobre a consistência de uma classificação de redes, que considera apenas o ponto de vista do CRL. Para que possam ser utilizados posicionamentos geográficos no esquema proposto, é necessário que o ambiente em que o DSF se encontra forneça as condições necessárias para uma boa leitura de sinais de GPS.

A implementação dos componentes envolvidos nesta arquitetura de seleção, coletores e servidor de classificação, não necessita de configurações especiais no núcleo das redes monitoradas ou dependência de protocolos especiais. O objetivo é avaliar uma arquitetura

escalável utilizando recursos acessíveis. Neste trabalho, a avaliação da arquitetura está direcionada para redes WLAN sem considerar o deslocamento dos DSF durante as consultas. A implementação e análise desta arquitetura para ambientes heterogêneos, ou seja, considerando tecnologias de acesso como 3G/4G entre as redes WLAN, está prevista em trabalhos futuros.

## 4 METODOLOGIA DA ANÁLISE

### 4.1 Introdução

Tomando como base o descrito no capítulo anterior, este capítulo descreve o cenário onde foi implementado a arquitetura avaliada. O objetivo foi analisar a funcionalidade da arquitetura em um ambiente real, utilizando redes preexistentes com tráfegos reais na área de um campus de um instituto de educação. A avaliação consiste em instalar agentes coletores para monitorar as condições de algumas redes, e enviar essas informações para um servidor de classificação em nuvem. Para a função de DSF na função de cliente foi configurado um notebook que analisa as redes disponíveis em determinados pontos na área de testes, e ao mesmo tempo consulta o classificador em nuvem. Dessa forma, busca-se comparar a classificação das redes feita pelo cliente e a sugestão de classificação recebida.

Em condições normais o DSF não precisaria fazer as mesmas medições feitas pelo agente monitor local. Essa abordagem será necessária apenas para avaliar o quanto a classificação das redes sugerida pelo servidor, levando em consideração o posicionamento do DSF em relação aos pontos de conexão, pode ser considerada e ajudar na tomada de decisão em um processo de *handoff*.

### 4.2 Ambiente de Teste

Na montagem do ambiente de testes foram utilizados alguns *Access Points* padrão IEEE 802.11bg<sup>1</sup>, preexistentes e ativos, parte de um conjunto de roteadores que integram a rede WiFi do Instituto Federal de Educação do Tocantins - Campus Palmas, de uso constante por professores e alunos. Entende-se que as condições de uso dessa rede, e a localização dos pontos de acesso na área do campus, representam um ambiente adequado daquele que a arquitetura avaliada se propõe a colaborar.

Para atuar como CRL em duas áreas do campus, analisando de forma constante as condições de uso de cada ponto de acesso em sua área, foram utilizados 2 computadores compactos com *interface* de conexão sem fio IEEE802.11bg, utilizada para coleta de dados das redes monitoradas, e uma *interface Ethernet*<sup>2</sup> para conexão com a rede cabeada do campus e link para Internet. A figura 15 demonstra a estrutura de teste implementada na área do campus.

<sup>1</sup> <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>

<sup>2</sup> <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>



Figura 15 – Ambiente de Teste da Arquitetura

O DSF utilizado para os testes foi um notebook convencional com sistema operacional Linux instalado, *interface* de conexão IEEE802.11bg integrada e um receptor GPS externo conectado via porta USB.

O Classificador de Redes (CRN), parte externa da arquitetura acessível via Internet pelos coletores parceiros, foi disponibilizado como um VPS (*Virtual Private Server*) hospedado pelo provedor de serviços DigitalOcean<sup>3</sup>. O servidor possui CPU Intel(R) Xeon(R) E5-2630L v2 @ 2.40GHz, 512 de RAM, 20GB de armazenamento e Sistema Operacional Ubuntu 16.04 x64.

<sup>3</sup> <https://www.digitalocean.com/>

Configuração dos dispositivos utilizados no ambiente de teste:

**2 Coletores (CRL):** Raspberry Pi<sup>4</sup> Pi 3 (CPU 4x1.2GHz, 1GB RAM, Ethernet 10/100, 2.4GHz 802.11n wireless, Bluetooth 4.1 Classic, 1 microSD Storage, 4x USB 2.0 ), Sistema Operacional: Minibian<sup>5</sup> ( Linux Debian 8 )

**1 Dispositivo sem fio:** Notebook HP Pavilion (CPU Intel i5 2.27GHz, 4GB RAM, HD 500 GB, IEEE 802.11bgn wireless, Ethernet 10/100/1000), Sistema Operacional: Linux Ubuntu 16.04 LTS, Receptor GPS: Usb Glonass U-blox 7.

**5 Access Points:** 3 roteadores Cisco 1130AG (padrão IEEE802.11abg, frequência 2.4GHz, Antena interna de 3dBi, porta Ethernet 10/100BASE-T, 32MB RAM ) e 2 roteadores TP-Link TL-WR1043ND (padrão IEEE802.11bgn, frequência 2.4GHz, portas Ethernet 10/100BASE-T e 3 antenas externas de 3dBi)

Os roteadores WiFi da área 1 (Rede 1,2 e 3), encontram-se posicionados em áreas internas do campus, aproximadamente a 40 metros de distância um do outro, provendo acesso à Internet para servidores, alunos e visitantes. Cada roteador está conectado à rede cabeada em VLAN ( *Virtual Local Area Network* ) própria, conectados à Internet através de 2 links: Rede 1 e 2 na VLAN administrativa com link de 1 Gbps, e Rede 3 na VLAN dos laboratórios com link de 200 Mbps.

Os roteadores WiFi da área 2 (Rede 3 e 4), também posicionados em áreas internas no bloco da biblioteca do campus, com aproximadamente 50 metros de distância entre eles, estando um na área inferior e outro na área superior do prédio. Da mesma forma que os roteadores da área 1, ambos estão conectados à rede cabeada, com link de saída para Internet de 1 Gbps.

Todas as redes WiFi possuem tráfegos de dados constantes, em função da quantidade de conexões ativas durante os 3 turnos, pois sustenta a conectividade de vários DSF nas atividades dos servidores administrativos, professores e alunos. Diante disso, entende-se que certamente ocorre uma variação na qualidade de acesso entre as redes, provocada pela diferença de conexões simultâneas em cada rede e links diferentes.

Este cenário sugere a necessidade de uma melhor avaliação das condições de cada rede além do nível do sinal, normalmente parâmetro único utilizado pela maioria dos DSF. Neste sentido, a estrutura de rede WiFi do campus se mostrou apropriada para os testes da arquitetura avaliada, sem a necessidade de simulações de tráfego.

<sup>4</sup> <https://www.raspberrypi.org/>

<sup>5</sup> <https://minibianpi.wordpress.com/>

### 4.3 Algoritmo dos Coletores

Em nosso ambiente de testes, os coletores foram dispostos como mostrado na figura 15, todos posicionados de forma fixa e dedicados a essa tarefa de forma contínua. O coletor 2, posicionado no bloco da biblioteca, monitora 2 redes disponíveis naquele ambiente: IFTO\_ACAD\_01 e IFTO\_ACAD\_02. O coletor 1, posicionado em um dos blocos administrativos, monitora 3 redes: IFTO\_ADM\_01, IFTO\_ADM\_03 e IFTO\_LABINS.

O algoritmo utilizado nas análises das redes é exatamente o mesmo nos dois coletores. Como já descrito, ambos possuem sistemas operacionais Linux instalados, e a linguagem de comandos BASH foi utilizada no processo. As análises ocorreram de forma ininterrupta em intervalos de tempo regulares, utilizando sempre os mesmos parâmetros para análise. ( *jitter, delay, packet loss, throughput* e RSSI).

Estrutura do algoritmo do coletor:

```
1
2 redes = Ler_Lista_Redес ();
3 Repetir
4     Aguardar(2 minutos);
5     repetir
6         Rede = redes.nome[i];
7         GPS = redes.gps[i];
8         conectar(Rede);
9         n,jitter,delay,loss = 0
10        Repetir
11            retorno = envia_pings();
12            jitter = jitter + retorno[jitter];
13            delay = delay + retorno[delay];
14            loss = loss + retorno[loss];
15            n = n + 1
16        ate (n = 5)
17            jitter = ( jitter / 5 );
18            delay = ( delay / 5 );
19            loss = ( loss / 5 );
20            banda = speedtest();
21            rss = nivel_sinal_interface();
22            arquiva(Rede,GPS,jitter,delay,loss,rss,banda);
23        ate(final_lista)
24        enviar_dados_crn(coletorID,redes_arquivadas())
25 ate (continuo)
```

## 4.4 Algoritmo do Dispositivo sem Fio

O algoritmo do DSF utilizado para avaliação da arquitetura, implementado em BASH sobre o sistema operacional Linux Ubuntu 16.04, possui estrutura semelhante ao algoritmo utilizado nos CRLs. Ambos realizam análises das mesmas redes com as quais estabelecem conexões. A diferença do algoritmo do DSF é que os dados coletados, utilizando os mesmos critérios adotados pelos CRLs, são ponderados e classificados seguindo os mesmos critérios do CRN. Depois de analisar e classificar as redes acessíveis do seu ponto de vista, o DSF consulta o CRN para agrupar a classificação local com a classificação recebida. A cada ciclo de análise local em cada ponto de coleta, os conjuntos de classificações são arquivados para posterior análise comparativa. Estrutura do algoritmo no DSF:

```
1 redes = Ler_Lista_Redes();
2 GPS_DSF = consultacoordenadas();
3 peso_jitter = 1;
4 peso_delay = 1;
5 peso_loss = 1;
6 peso_banda = 1;
7 Repetir
8     Aguardar(2 minutos);
9     repetir
10        Rede = redes.nome[i];
11        conectar(Rede);
12        n,jitter,delay,loss = 0
13        Repetir
14            retorno = envia_pings();
15            jitter = jitter + retorno[jitter];
16            delay = delay + retorno[delay];
17            loss = loss + retorno[loss];
18            n = n + 1
19        ate (n = 5)
20            jitter = ( jitter / 5 ) * peso_jitter;
21            delay = ( delay / 5 ) * peso_delay;
22            loss = ( loss / 5 ) * peso_loss;
23            banda = speedtest() * peso_banda;
24            qos = calcula_qos(jitter+delay+loss+banda);
25            arq = arq+(Rede,jitter,delay,loss,banda,rss,qos)
26    ate(final_lista)
27    class_LOCAL = classificador(arq);
28    class_CRN = consulta_CRN(GPS_DSF);
29    leituras = leituras + (class_LOCAL + class_CRN);
30 ate (continuo)
```

O algoritmo realiza suas coletas de forma contínua, em intervalos de 2 minutos, acumulando no arquivo de leituras um conjunto de classificações, DSF/CRN, suficientes para uma validação aproximada. Pelo menos 100 conjuntos foram coletados em cada ponto de teste. Falhas de conexão com algumas redes e até mesmo com o CRN foram observadas, e não consideradas para inclusão no arquivo de leituras. Pelo menos uma análise de uma rede local e uma resposta do CRN foram necessárias para comparar os resultados.

Segue um exemplo de dois blocos de análises registrados no arquivo de leituras gerado pelo algoritmo do DSF. Os registros iniciados com CLI representam a classificação das redes realizadas pelo DSF sob seu ponto de vista; e os registros iniciados com SER representam a classificação sugerida pelo CRN, consultado logo após a geração da classificação local. No exemplo podemos observar que no primeiro bloco a classificação do DSF indica a rede IFTO\_ADM\_01 como a melhor no momento, de acordo com os critérios avaliados, sendo a mesma indicação do CRN, incluindo a segunda rede melhor.

```
1 origem , rede , jitter , delay , loss , banda , rss , qos
2 --
3 CLI , IFTO_ADM_01 , 3.951 , 37.225 , 0 , 18.95 , -62 , 22.2523
4 CLI , IFTO_ADM_03 , 4.394 , 36.886 , 0 , 14.06 , -66 , 17.3436
5 SER , IFTO_ADM_01 , 4.259 , 39.305 , 0 , 9.75 , -62 , 9.6
6 SER , IFTO_ADM_03 , 4.130 , 37.768 , 0 , 2.17 , -75 , 2.0
7 --
8 CLI , IFTO_ADM_03 , 3.640 , 36.922 , 0 , 12.42 , -66 , 15.7356
9 CLI , IFTO_ADM_02 , 2.433 , 36.700 , 0 , 1.71 , -58 , 5.0769
10 SER , IFTO_ADM_01 , 4.410 , 38.170 , 0 , 8.24 , -59 , 8.0
11 SER , IFTO_ADM_03 , 4.850 , 38.863 , 0 , 1.19 , -75 , 1.0
12 --
```

Podemos observar ainda no primeiro bloco de análise, que a taxa de *download* (18.95), registrada pelo DSF, é maior comparada com o taxa enviada pelo CRL (9.75) ao CRN com relação à mesma rede. Mesmo assim, a sugestão do CRN indica a rede IFTO\_ADM\_01, pois, o CRN leva em consideração o posicionamento da rede em relação ao DSF. Já no segundo bloco as indicações não combinam. A indicação do CRN como melhor rede foi a IFTO\_ADM\_01, que não aparece na lista classificada pelo DSF. Isso ocorreu porque neste ciclo de análise o DSF não conseguiu estabelecer uma conexão com a rede IFTO\_ADM\_01. Já a segunda indicação do CRN foi a considerada pelo DSF.

## 4.5 Pontos de Análise

A estratégia para verificar o quanto a arquitetura pode contribuir no processo de tomada de decisão, consiste numa coleta de dados e classificação das redes geradas pelo algoritmo do DSF. No ambiente proposto, conforme ilustrado na figura 16, alguns pontos foram definidos para que o DSF fosse posicionado e, durante algumas horas, gerasse o arquivo com uma série de blocos de classificação DSF/CRN, conforme descrito na seção 4.4.



Figura 16 – Pontos de coleta pelo DSF.

## 4.6 Critérios de Análise

A princípio, o objetivo da arquitetura é prover um ponto único de consulta para DSF, no auxílio à tomada de decisão sobre a melhor rede em sua área, desde que exista um CRL parceiro do CRN, e considerar no processo de classificação o posicionamento do DSF em relação à rede mais próxima. Na análise dos dados coletados pelo DSF, durante os testes, busca-se observar as seguintes questões:

- Quantidade de blocos válidos analisados sem falhas de conexão;
- Total de indicações do CRN que combinam com a escolha do DSF;
- Das indicações combinadas, quantas o QoS do DSF foi maior;
- Redes mais indicadas pelo DSF;
- Redes mais indicadas pelo CRN.

Na manipulação dos dados foi utilizada a linguagem de *script* Python, para leitura e separação das informações, e banco de dados SQLite<sup>6</sup> para consultas de agrupamento.

## 4.7 Conclusão

O ambiente de teste, descrito neste capítulo, tem o objetivo de implementar e avaliar a arquitetura modelo em um ambiente real. Considerou-se o ambiente em questão apropriado para esta avaliação, pois, apresenta um nível de concorrência de conexões e tráfego de dados, coerentes com a instabilidade encontrada na maioria das redes a que se destina a pesquisa de seleção de redes.

A arquitetura proposta, foi pensada de forma que representasse uma implementação viável do ponto de vista de custo e recursos técnicos disponíveis, sem muita dependência de protocolos de controle de rede, incomuns nos DSF populares.

O custo de implementação, consiste na aquisição de um equipamento dedicado para atuar como agente de coleta de dados das redes disponíveis para cada área monitorada, descrito neste trabalho como CRL; e na contratação de um *Virtual Private Server* (VPS) para implementação do CRN. O custo de cada CRL e mensalidade do VPS, considerando as configurações descritas no capítulo 4.2, representam em média os valores de R\$ 200,00 e R\$ 20,00 respectivamente. Além disso, restam os custos relacionados à mão de obra especializada para instalação e manutenção dos sistemas e equipamentos.

---

<sup>6</sup> <https://www.sqlite.org/>

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Introdução

O capítulo apresenta os resultados obtidos nos testes realizados no ambiente proposto, com base nas coletas executadas pelo DSF conforme descrito no capítulo 4. Inicialmente, serão apresentados os resumos das leituras colecionadas pelo DSF em cada ponto de análise, conforme os critérios indicados na seção 4.6.

Para cada ponto de coleta, apenas as conexões estabelecidas e analisadas pelo DSF foram consideradas, assim como, as consultas ao CRN com retorno, gerando o arquivo com os blocos de classificações DSF/CRN conforme descrito na seção 4.4. Consultas ao CRN sem retorno, podem ocorrer devido não haver dados recentes enviados pelos CRL para a área solicitada.

### 5.2 Resultados dos Pontos de Coleta

Para os resultados apresentados neste capítulo, o algoritmo utilizado no DSF permaneceu ativo durante algumas horas, nos períodos de maior atividade sobre as redes analisadas. Algumas falhas de conexão foram observadas entre o DSF e algumas redes, mas nesses casos considerou-se algum estresse no aplicativo dos roteadores sem fio, bloqueio de rede ou variação de sinal.

As tabelas com os valores das leituras apresentam os seguintes quantitativos:

- **Leituras:** Total de tentativas de leituras realizadas pelo algoritmo, incluindo válidas e as que apresentaram alguma falha de conexão ou resposta nula do CRN.
- **Leituras válidas:** Total de leituras com classificações do DSF e do CRN.
- **Classificação combinada:** Bloco de análise onde a opção de melhor rede considerada pelo DSF foi a mesma indicada pelo CRN.
- **QoS do cliente maior:** Entre as leituras combinadas, em quantas o QoS calculado pelo cliente foi maior. Indica que o CRN considerou o posicionamento antes do valor do QoS por ele calculado.

Na sequência da tabela de valores, obtidos nos pontos de coletas, segue gráfico com o percentual de leituras convergentes, valores médios dos critérios durante as leituras e um resumo ordenado das indicações por rede.

### 5.2.1 Ponto de Coleta 1

Nesta análise, com 3 redes WLAN ativas, DSF e CRL foram posicionados conforme ilustrado na figura 17, aproximadamente com as seguintes distâncias entre eles: (CRL, Rede1: 15m), (CRL, Rede2: 30m), (CRL, Rede3: 40m), (DSF, CRL: 12m), (DSF, Rede1: 16m), (DSF, Rede2: 37m), (DSF, Rede3: 30m).

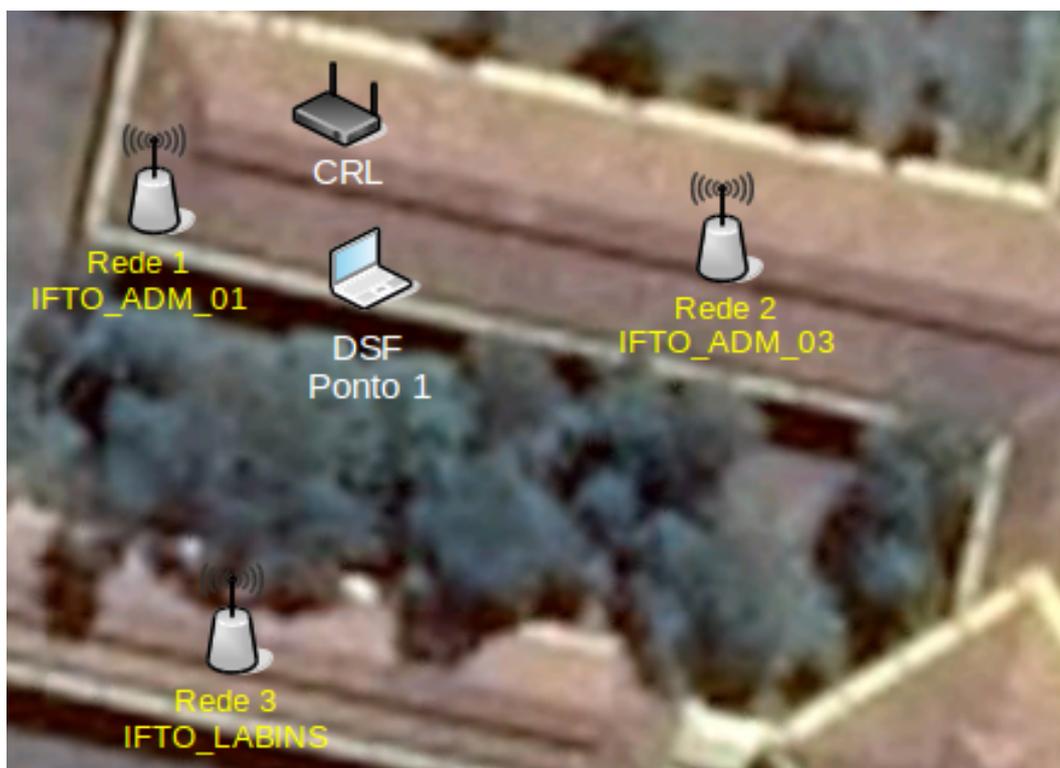


Figura 17 – Ponto1 - Posicionamento do DSF no ponto de coleta 1.

Tabela 15 – Valores obtidos no ponto de coleta 1

Análise	Total
Leituras	300
Leituras válidas	213
Classificação Combinada	133
Classificação Divergente	80
QoS do Cliente Maior	80

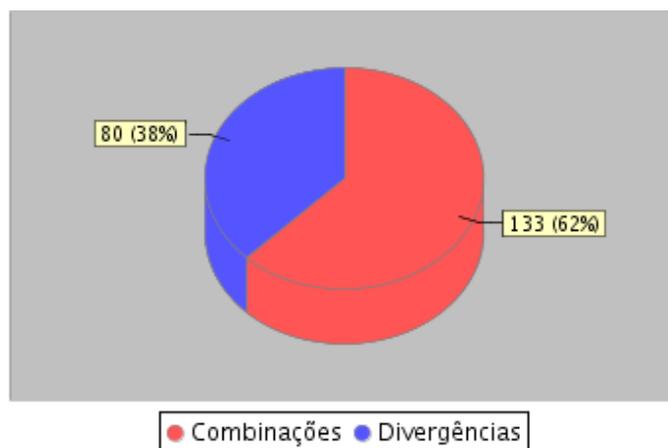


Figura 18 – Ponto1 - Percentual de leituras combinadas.

Tabela 16 – Ponto1 - Médias dos valores dos critérios.

	<i>Jitter</i>	<i>Delay</i>	<i>loss</i>	Banda (Mbps)	RSSI	QoS
DSF	9,7	52,4	2,3	15.8 (max:82)	-64.6	18,8
CRN	4.2	41.9	0.2	15.4 (max:45)	-62.4	15.2

Tabela 17 – Ponto1 - Frequência de Indicações de Redes.

Rede	DSF	CRN
IFTO_ADM_01	114	188
IFTO_ADM_03	82	17
IFTO_LABINS	17	8

Na tabela 15, observa-se que 71% das leituras foram aproveitadas. Grande parte das leituras inválidas ocorreu pela falha de conexão do DSF com as redes avaliadas, devido a incapacidade de obtenção de IP ou indisponibilidade de acesso à Internet, no momento da análise. A relação entre classificações combinadas e divergentes, apresentou um índice de 62% de eficiência em favor da arquitetura, ou seja, a rede que indicava ser a melhor escolha na análise do DSF, após os testes, foi a mesma sugerida pelo CRN. Das 133 leituras combinadas, em 80 delas (60%) o QoS definido pelo DSF apresentou valor maior. Essa situação indica que mesmo o CRN tendo a informação de um menor QoS para aquela rede, a indicação pelo posicionamento prevaleceu.

Na tabela 16 os valores médios dos critérios analisados nas leituras do DSF e do CRN estão bem próximos. Alguns deles um pouco melhor no caso do DSF, devido a melhor capacidade de recepção de sinal. Isso sugere, que a capacidade de análise de ambos esteve bem próxima, mesmo com pontos de vista diferentes em relação aos pontos de acesso da rede.

A tabela 17 mostra o total de indicações por rede na análise do DSF e do CRN durante as leituras. No caso do DSF, indicou uma ordem relacionada à distância em que se encontrava das redes. A rede IFTO\_ADM\_01 mais próxima, IFTO\_ADM\_03 intermediária e a IFTO\_LABINS mais distante. O CRN seguiu a mesma ordem, entretanto, os valores não estão mais equilibrados devido algumas falhas de conexão do DSF com uma das redes. No caso do IFTO\_ADM\_01, por exemplo, em algumas leituras, não estava presente na lista de redes classificadas pelo DSF, devido alguma falha de conexão, mas constava da lista classificada pelo CRN. Neste caso podemos concluir que a escolha foi divergente, tendo o DSF em sua lista apenas outras redes e não a indicada pelo CRN.

### 5.2.2 Ponto de Coleta 2

Nesta análise, com 3 redes WLAN ativas, DSF e CRL foram posicionados conforme ilustrado na figura 17, aproximadamente com as seguintes distâncias entre eles: (CRL, Rede1: 15m), (CRL, Rede2: 30m), (CRL, Rede3: 40m), (DSF, CRL: 37m), (DSF, Rede1: 32m), (DSF, Rede2: 40m), (DSF, Rede3: 5m).

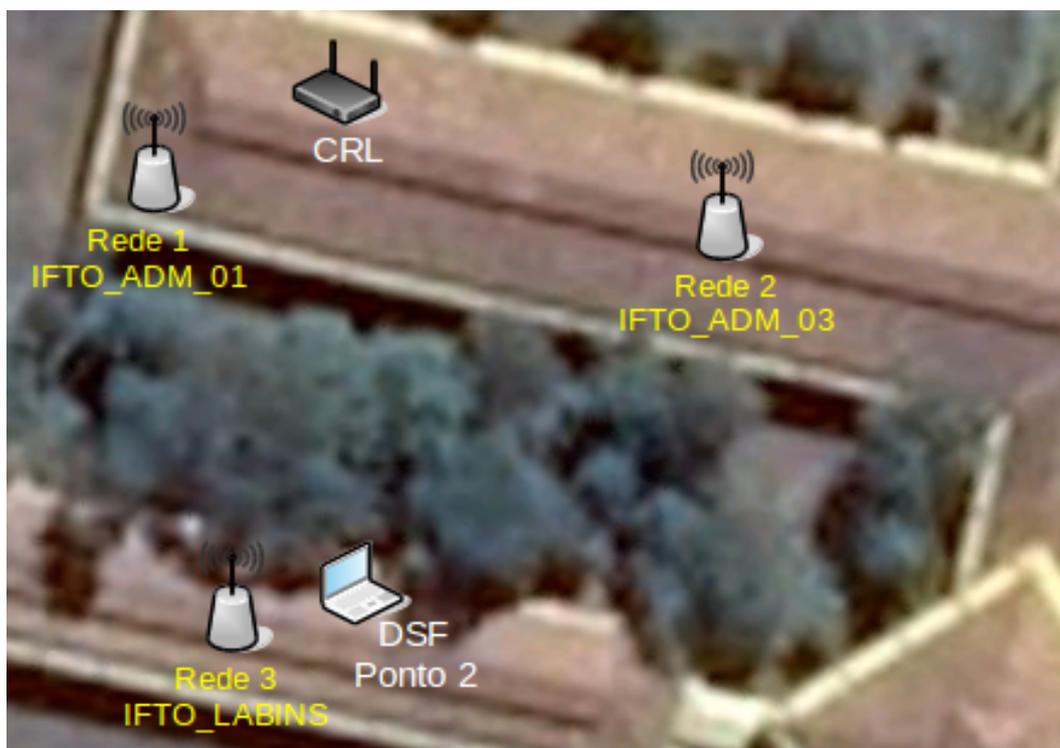


Figura 19 – Posicionamento do DSF no ponto de coleta 2.

Tabela 18 – Valores obtidos no ponto de coleta 2

Análise	Total
Leituras	300
Leituras válidas	173
Classificação Combinada	145
Classificação Divergente	28
QoS do Cliente Maior	137

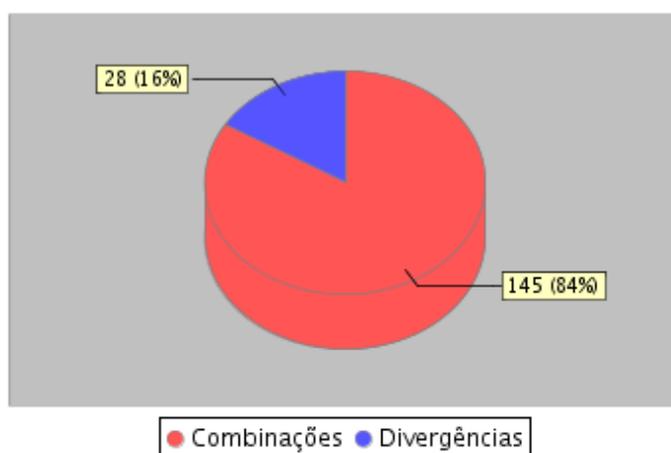


Figura 20 – Ponto2 - Percentual de leituras combinadas.

Tabela 19 – Ponto2 - Médias dos valores dos critérios.

	<i>Jitter</i>	<i>Delay</i>	<i>loss</i>	Banda(Mbps)	RSSI	QoS
DSF	19,6	90,4	3,4	5,2 (max:15)	-43,6	7.8
CRN	8,8	61,1	4,5	2,7 (max:27)	-77,4	2.3

Tabela 20 – Ponto2 - Frequência de Indicações de Redes.

Rede	DSF	CRN
IFTO_LABINS	135	151
IFTO_ADM_03	31	7
IFTO_ADM_01	7	15

A tabela 18 mostra que 57% das leituras no ponto 2 foram aproveitadas. Falhas de conexão foram observadas pelo mesmos motivos das leituras do ponto 1. A relação entre classificações combinadas e divergentes melhorou em relação ao ponto 1, apresentando um índice de 84% de eficiência em favor da arquitetura. Das 145 leituras combinadas, em 137 delas (94%) o QoS definido pelo DSF apresentou valor maior. Nota-se que o aumento desse

percentual em relação ao ponto 1, deve-se ao aumento da distância do DSF em relação ao CRL. Isso reforça a relevância do CRN considerar o posicionamento do DSF.

A tabela 19 com os valores médios dos critérios apresenta uma situação um pouco mais divergente. Entende-se que a variação de *Jitter*, *delay* e *packet loss* ocorrem pela diferença de *links* de saída para Internet, utilizados pelas redes, e regras de prioridade de tráfego implementadas na rede dos laboratórios. O posicionamento do DSF em relação às redes, com menos obstáculos comparado ao ponto 1, provocou uma melhora do RSSI em relação ao CRL, tornando a largura de banda um pouco melhor. Vale lembrar que as análises de largura de banda utilizam servidores diferentes daqueles utilizados para os demais critérios.

A tabela 20 com a frequência de indicações das leituras do ponto 2 combinam apenas na indicação da rede IFTO\_LABINS, mais próxima do DSF. Nota-se mais uma vez, que a ordem de indicações do DSF é proporcional à sua distância entre os pontos de acesso. Quanto mais próximo melhor. A ordem invertida das indicações do CRN deve-se ao posicionamento do coletor em relação aos pontos de acesso.

### 5.2.3 Ponto de Coleta 3

Nesta análise, com 3 redes WLAN ativas, DSF e CRL foram posicionados conforme ilustrado na figura 17, aproximadamente com as seguintes distâncias entre eles: (CRL, Rede1: 15m), (CRL,Rede2: 30m), (CRL,Rede3: 40m), (DSF,CRL: 46m), (DSF,Rede1: 58m), (DSF,Rede2: 12m), (DSF,Rede3: 55m).

Tabela 21 – Valores obtidos no ponto de coleta 3

Análise	Total
Leituras	200
Leituras válidas	121
Classificação Combinada	117
Classificação Divergente	4
QoS do Cliente Maior	101

Tabela 22 – Ponto3 - Médias dos valores dos critérios.

	<i>Jitter</i>	<i>Delay</i>	<i>loss</i>	Banda(Mbps)	RSSI	QoS
DSF	16.1	52.9	3,7	5.4 (max:14)	-47,7	8.1
CRN	8.3	46,9	5,8	4,9 (max:15)	-75,1	4,6

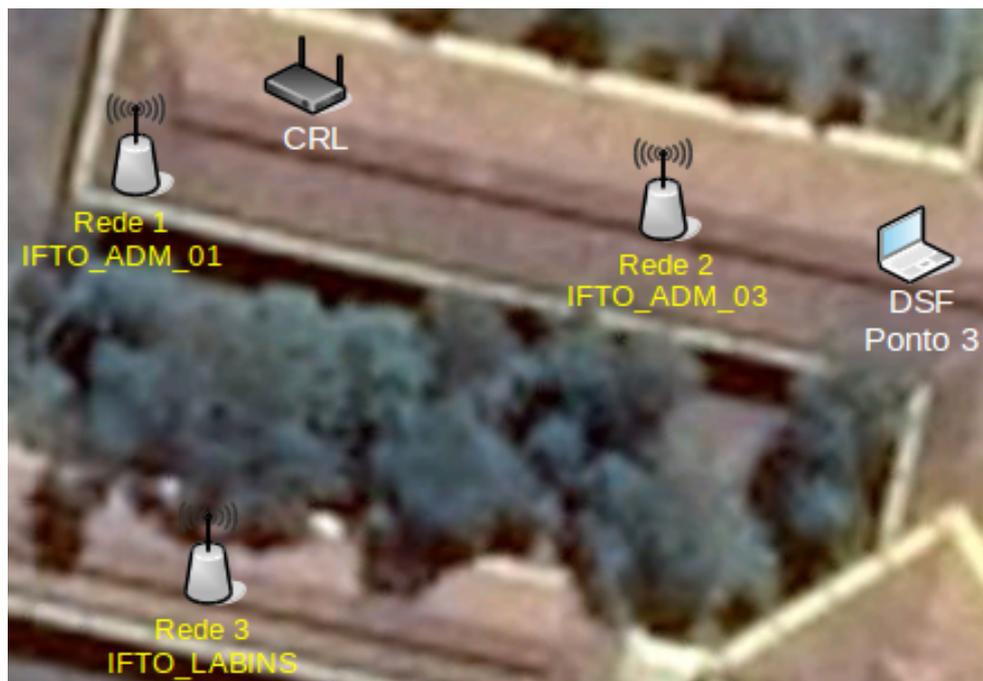


Figura 21 – Posicionamento do DSF no ponto de coleta 3.

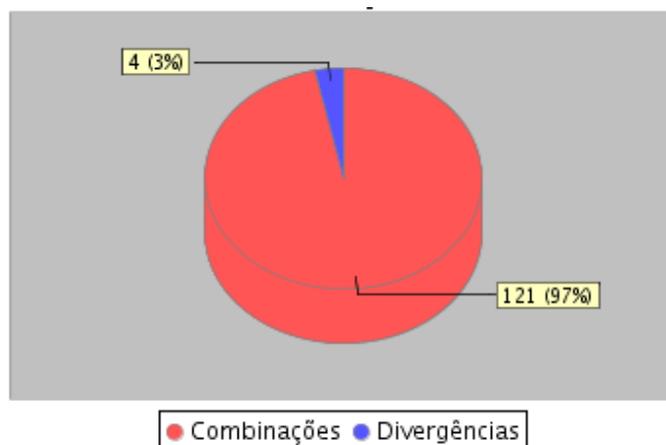


Figura 22 – Ponto3 - Percentual de leituras combinadas.

Os resultados apresentados no ponto de coleta 3, são consistentes com os resultados dos ponto 1 e 2. Na visão do DSF a tendência é que a rede IFTO\_ADM\_03 ofereça as melhores condições de acesso, o que também foi considerado pelas indicações do CRN. As médias dos valores dos critérios mantêm um equilíbrio relacionado com os posicionamentos do DSF e do CRL. Vale ressaltar, que o QoS tomado como critério principal é baseado na largura de banda, somado aos valores ponderados dos outros critérios.

Observar-se nas leituras que mesmo o CRN priorizando a localização do DSF, algumas indicações de redes bem mais distantes aparecem. Este efeito é causado pela ausência de redes mais próximas na lista de coletas recentes do CRN. No caso da análise

Tabela 23 – Ponto3 - Frequência de Indicações de Redes.

Rede	DSF	CRN
IFTO_ADM_03	121	117
IFTO_ADM_01	0	4

do ponto 3, a rede do IFTO\_ADM\_01 foi indicada algumas vezes, mesmo sendo a mais distante do DSF, pois no momento da consulta não havia leituras recentes da rede IFTO\_ADM\_3. O algoritmo do CRL desabilita leituras anteriores a cada envio. Estes aspectos devem ser considerados e ajustados no algoritmo do coletor, por exemplo, para que mantenha uma análise de uma rede por um tempo maior que o ciclo de análise da área.

#### 5.2.4 Segunda Área de Monitoramento

A figura 16 (página 67) identifica os pontos de coleta na área de monitoramento do CRL 1. Nesta mesma figura foi mostrada uma segunda área de monitoramento para um CRL 2, com as redes ADM\_ACAD\_01 e ADM\_ACAD\_02. Nesta área não foram feitas leituras pelo DSF, pois acredita-se que as leituras realizadas na área 1 foram suficientes para avaliar a implementação arquitetura. Entretanto, durante as leituras na área 1, o CRL da área 2 esteve em atividade enviando dados para o CRN. O propósito disso foi manter no mínimo 2 CRLs em atividade, mantendo no CRN não apenas as coletas da área 1, já que a proposta da arquitetura prevê a concentração de dados de vários CRLs.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na avaliação, indicam que a arquitetura se mostra viável do ponto de vista de implementação, apresentando um percentual aceitável de aproveitamento das indicações de melhor rede sugeridas pelo CRN. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o quanto a implementação da arquitetura, com os ajustes propostos, poderiam gerar indicações de melhor rede consistentes com a percepção local do cliente.

A proposta em questão parte do princípio de que a maioria dos DSF atuais são equipados com receptores GPS, necessários para o esquema proposto nas consultas ao CRN. Embora estes receptores embarcados nos DSF atuais não ofereçam um nível de precisão alto, observadas variações entre 3 e 10 metros, os dados apresentados na avaliação mostraram que essa margem não comprometeu a eficiência da arquitetura.

Inicialmente foram avaliadas apenas as primeiras indicações da lista de redes classificadas pelo DSF e CRN. O QoS utilizado para ordenar a classificação foi baseado na largura de banda testada em Mbps, somada aos valores dos outros critérios com cálculo de ponderação simples. Avaliações mais detalhadas, ou métodos de classificação mais avançados como os descritos no capítulo 2, poderão ser implementados na arquitetura proposta.

Arquiteturas de seleção de redes, baseadas em coletores, já foram propostas em outros trabalhos, conforme referenciado no capítulo 2. Alguns deles mais focados em avaliar a eficiência de alguns métodos de classificação sobre a arquitetura. Além de métodos de classificação, outros aspectos deste modelo de arquitetura precisam ser avaliados. Coletores (CRL) oferecem uma avaliação da rede sob seu ponto de vista. Em se tratando de rede sem fio, muitos fatores influenciam na indicação de qual rede é a melhor opção. Principalmente, indicações de um dispositivo para o outro. O que pode ser uma boa rede para um não necessariamente é para outro, mesmo estando na mesma área.

Nesta pesquisa, dois aspectos relacionados ao aprimoramento de propostas anteriores foram tratados. O primeiro, em relação ao critério de posicionamento do DSF, como prioridade ao posicionamento do coletor. O segundo aspecto, consiste em aprimorar o processo de consulta e armazenamento das informações geradas pelos CRL, propondo um ponto único de consulta e armazenamento de informações de redes monitoradas. Trabalhos anteriores, recomendam coletores que atuam também como classificadores e *interface* de consulta para o cliente. Desta forma, cada área monitorada teria um endereço de acesso via rede, tornando mais complexo o processo de atualização das informações e a consulta pelos DSF.

Vale ressaltar que embora os testes tenham ocorrido em ambiente interno, o critério de posicionamento avaliado na classificação depende de condições favoráveis para a captura de sinais de GPS, que possibilite ao DSF enviar corretamente seu posicionamento nas consultas ao CRN.

## 6.1 Trabalhos Futuros

Os trabalhos futuros relacionados à arquitetura implementada, consistem em analisar novos aspectos envolvendo os dados coletados, associando o posicionamento a outros critérios, cálculos envolvendo força do sinal e posicionamento dos coletores em relação ao DSF. Além disso pretende-se analisar o comportamento da arquitetura em situações de deslocamento do DSF entre áreas monitoradas por CRL distintos.

Para o CRL, que nesta pesquisa foi utilizado apenas como monitor de redes WLAN (802.11abg), definir um padrão de equipamento capaz de monitorar outras tecnologias, tais como, 3G e 4G, indicando redes alternativas, quando não houver redes WLAN na área monitorada, que o DSF possua credenciais de acesso.

Desenvolver o aplicativo cliente para consultas ao CRN na plataforma Android, baseados no esquema da arquitetura implementada, aprimorando os parâmetros enviados de acordo com as necessidades do cliente, em termos de recursos de *hardware* e QoS requeridos para determinadas aplicações.

Todos estes recursos, perfis de consulta diferenciados, métodos de classificação e informações estatísticas de rede poderão ser desenvolvidas no CRN de forma escalável, disponibilizados nas versões cliente à medida que forem implementados. Busca-se definir um serviço de classificação em nuvem baseado num aplicativo com servidor próprio, escalável e sem a dependência de protocolos de rede mais avançados.

## REFERÊNCIAS

- AOUAM, T.; CHANG, S.; LEE, E. Fuzzy madm: An outranking method. *European Journal of Operational Research*, v. 145, n. 2, p. 317 – 328, 2003. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221702005374>>. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 40.
- CALVAGNA, A.; MODICA, G. D. A user-centric analysis of vertical handovers. In: *Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots*. New York, NY, USA: ACM, 2004. (WMASH '04), p. 137–146. ISBN 1-58113-877-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1024733.1024751>>. Citado 3 vezes nas páginas 8, 32 e 33.
- CHEN, W.-T.; LIU, J.-C.; HUANG, H.-K. An adaptive scheme for vertical handoff in wireless overlay networks. In: *Proceedings. Tenth International Conference on Parallel and Distributed Systems, 2004. ICPADS 2004*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 541–548. ISSN 1521-9097. Citado na página 31.
- DEIF, D. S.; EL-BADAWY, H.; EL-HENNAWY, H. Toplogy based modeling and simulation of umts-wlan wireless heterogeneous network. In: *2010 Seventh International Conference on Wireless and Optical Communications Networks - (WOCN)*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–5. ISSN 1811-3923. Citado na página 22.
- DING, J.; XUE, X.; LI, G. Rss method and fuzzy logic combined vertical handoff decision algorithm. In: *IET International Communication Conference on Wireless Mobile and Computing (CCWMC 2009)*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 137–139. Citado na página 25.
- FIONA, A. A.; SHAJI, R. S.; JAYAN, J. P. An optimized network selection for coverage under cellular network. In: *2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1043–1047. Citado 4 vezes nas páginas 8, 42, 44 e 48.
- GUSTAFSSON, E.; JONSSON, A. Always best connected. *IEEE Wireless Communications*, v. 10, n. 1, p. 49–55, Feb 2003. ISSN 1536-1284. Citado na página 18.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *Recommendation ITU-T P.800.2*. 10. ed. [S.l.]. Citado na página 29.
- J.WANG, H.; KATZ, R. H.; GIESE, J. Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks. 2 1999. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- KAHRAMAN, C. *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments*. 1. ed. [S.l.]: Springer Publishing Company, Incorporated, 2008. ISBN 0387768122, 9780387768120. Citado na página 33.
- KASSAR, M.; KERVELLA, B.; PUJOLLE, G. An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, v. 31, n. 10, p. 2607 – 2620, 2008. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366408000492>>. Citado na página 18.

- KASSAR, M.; KERVELLA, B.; PUJOLLE, G. An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Comput. Commun.*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 31, n. 10, p. 2607–2620, jun. 2008. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2008.01.044>>. Citado na página 31.
- KUMAR, R.; SINGH, B. *COMPARISON OF VERTICAL HANDOVER MECHANISMS USING GENERIC QOS TRIGGER FOR NEXT GENERATION NETWORK*. 2010. Citado na página 27.
- LAHBY, M.; BAGHLA, S.; SEKKAKI, A. Survey and comparison of madm methods for network selection access in heterogeneous networks. In: *2015 7th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6. ISSN 2157-4952. Citado na página 41.
- LASSOUED, I. et al. A methodology for evaluating vertical handoff decision mechanisms. In: *Seventh International Conference on Networking (icn 2008)*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 377–384. Citado na página 37.
- MARKAKI, O.; CHARILAS, D.; NIKITOPOULOS, D. Enhancing quality of experience in next generation networks through network selection mechanisms. In: *2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–5. ISSN 2166-9570. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- MARTÍNEZ-MORALES, J. D.; PINEDA-RICO, U.; STEVENS-NAVARRO, E. Performance comparison between madm algorithms for vertical handoff in 4g networks. In: *2010 7th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 309–314. Citado na página 39.
- MONTEIRO, C. *Um Ambiente para Apoio à Integração de Redes Sem Fio Heterogêneas*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, 2 2012. Citado na página 50.
- MOREIRA, P. R. et al. An approach for network selection based on artificial neural networks in heterogeneous wireless environments. *ICWMC 2015*, p. 40, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 43, 45 e 46.
- PAHLAVAN, K. et al. Handoff in hybrid mobile data networks. *IEEE Personal Communications*, v. 7, n. 2, p. 34–47, Apr 2000. ISSN 1070-9916. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- PATRICK, A. S. et al. A qoe sensitive architecture for advanced collaborative environments. In: *First International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 319–322. Citado na página 28.
- RIOS, V. *Seleção de Redes sem Fio Baseada em Técnicas de de Apoio a Decisão*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, PPGENE.DM - 471/12, 2 2012. Citado 6 vezes nas páginas 36, 38, 39, 40, 46 e 50.
- ROSSINI, F. *Utilização do método de tomada de decisão multicritério PROMETHEE II para priorização do plano de ação de redução de custos de manutenção*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Citado na página 46.

- SAATY, R. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, v. 9, n. 3, p. 161 – 176, 1987. ISSN 0270-0255. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>>. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- SHIAO, C. M. et al. Performance analysis of algorithms with multiple attributes for adaptive call admission control in heterogeneous wireless networks. In: *2009 10th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms, and Networks*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 303–308. ISSN 1087-4089. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.
- SILVA, D. *Uma Arquitetura de Seleção de Redes Móveis Para Ambientes Heterogêneos*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, The address of the publisher, 2 2015. Citado 7 vezes nas páginas 8, 15, 45, 46, 47, 48 e 50.
- SILVA, E. *Abordagem Multicriterial Difusa com Apoio ao Processo Desisório Para Identificação de um Regime de Vazões Ecológicas no Baixo Curso do Rio São Francisco*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Bahia, 1 2010. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 37.
- SIMPLE Additive Weighting approach to Personnel Selection problem. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, v. 1, n. 5, Dec 2010. Citado na página 36.
- SONG, Q.; JAMALIPOUR, A. Quality of service provisioning in wireless lan/umts integrated systems using analytic hierarchy process and grey relational analysis. In: *IEEE Global Telecommunications Conference Workshops, 2004. GlobeCom Workshops 2004*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 220–224. Citado na página 34.
- SONG, Q.; JAMALIPOUR, A. A network selection mechanism for next generation networks. In: *IEEE International Conference on Communications, 2005. ICC 2005. 2005*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 2, p. 1418–1422 Vol. 2. ISSN 1550-3607. Citado na página 39.
- SONG, W.; JIANG, H.; ZHUANG, W. Performance analysis of the wlan-first scheme in cellular/wlan interworking. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, v. 6, n. 5, p. 1932–1952, May 2007. ISSN 1536-1276. Citado na página 14.
- TAWIL, R. et al. A decision scheme for vertical handoff in overlay wireless networks. In: *2007 Innovations in Information Technologies (IIT)*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 436–440. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 48.
- THE 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT - 3GPP. *Quality of Service (QoS) concept and architecture*. 10. ed. [S.l.]. Citado na página 27.
- TING, A. et al. Dynamic backhaul sensitive network selection scheme in lte-wifi wireless hetnet. In: *2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 3061–3065. ISSN 2166-9570. Citado na página 14.
- WANG, L.; BINET, D. Madm-based network selection in heterogeneous wireless networks: A simulation study. In: *2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace Electronic Systems Technology*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 559–564. Citado na página 33.

YANG, S. J.; TSENG, W. C. Utilizing weighted rating of multiple attributes scheme to enhance handoff efficiency in heterogeneous wireless networks. In: *2011 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–6. Citado na página 43.

YLIANTTILA, M. et al. Optimization scheme for mobile users performing vertical handoffs between iee 802.11 and gprs/edge networks. In: *Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM '01. IEEE*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 6, p. 3439–3443 vol.6. Citado na página 30.