

Jeferson Moreira dos Anjos

**MANDARIM: Uma solução para negociação de
serviços com QoS em redes em malha sem fio
utilizando agentes autônomos**

Belo Horizonte, Brasil

Fevereiro 2009

Jeferson Moreira dos Anjos

MANDARIM: Uma solução para negociação de serviços com QoS em redes em malha sem fio utilizando agentes autônomos

Dissertação apresentada ao Curso de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadora:
Linnyer Beatrys Ruiz Aylon

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Belo Horizonte, Brasil

Fevereiro 2009

Resumo

As redes em malha sem fio (RMSFs) são formadas por nós roteadores e clientes, onde os roteadores têm pouco ou nenhuma mobilidade e formam um *backbone* sem fio. Essa rede provê acesso dispositivos com interface cabeada ou sem fio e o seu *backbone* integra a RMSF com outras redes como a Internet, celulares, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, etc. As RMSFs foram projetadas para resolver as limitações e melhorar significativamente o desempenho de redes *Ad hoc*, redes locais sem fios (WLANs), redes pessoais sem fio (WPANs), e redes sem fios metropolitanas (WMANs). Estas redes irão fornecer serviços sem fio para uma grande variedade de aplicações em ambientes como: estabelecimentos comerciais, campus universitários, redes comunitárias, redes domésticas, entre outros. Apesar dos recentes avanços das tecnologias usadas nas redes em malha sem fio, muitos desafios permanecem. Por exemplo, a forma de prestação adequada de QoS (*Quality of Service*) dos serviços, em especial os multimídias, providos por essas redes é um problema crucial que não foi bem resolvido na literatura existente.

Apesar de não ser trivial, oferecer QoS é uma tarefa importante para o correto funcionamento de aplicações que usam a rede para o tráfego de seus dados. E para sua provisão é preciso identificar os principais requisitos do tráfego de dados gerado pela aplicação, como por exemplo a largura de banda mínima desejada.

Esta dissertação propõe uma solução, denominada Mandarin, para negociação de serviços em redes em malha sem fio utilizando agentes autônomos, com o objetivo de aumentar a QoS dos serviços providos na rede. Em cada nó da rede é implantado um agente autônomo responsável pela negociação de serviços e são capazes de decidir quais nós consumirá ou proverá o serviço negociado. Os resultados obtidos em um ambiente de simulação indicam que a solução Mandarin melhora o desempenho das RMSF e a QoS dos serviços providos pelos nós, tendo como base de comparação a arquitetura de melhor esforço e o protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*). A vazão efetiva ao usar a solução Mandarin foi em média 42% superior ao RSVP e 228% se usado a arquitetura de melhor esforço. Houve uma redução de 36.75% no consumo de energias dos nós e de 63% do número de pacotes retransmitidos pelo TCP. A solução reduziu também o número de pacotes perdidos em 68.5% e 41% e o atraso em 96% e 26% em relação à arquitetura de melhor esforço e ao RSVP respectivamente.

Abstract

Wireless Mesh Networks (WMN) are composed by routing and client nodes, where these routing nodes have little or no mobility and form a wireless backbone. Such networks provides access to wired or wireless devices and it's backbone integrates the WMNs with other networks such as the Internet, cellular networks, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, etc. WSNs were projected to solve the limitations and to significantly enhance the performance of ad hoc networks and wireless metropolitan area networks (WMANs). These networks inspire a great number of deployments and will provide wireless services in different environment such as commercial establishments, university campus, community networks, wireless home networking among others. Besides recent advances in WMNs technology, there are still research opportunities in this area. Quality of Service (QoS), especially in multimedia wireless services, for example, is a crucial problem that has not being addressed by the literature.

Although not trivial, provide QoS in wireless services is an important task for the proper operation of the applications that use the WMN to route its data. The identification os the network requirements for the traffic created by the application is necessary to QoS provision.

This dissertation proposes a solution, called Mandarin, to service negotiation in wireless mesh networks using autonomous agents with the objective of increase QoS for the services provided by the network. Each network node has an autonomous agent responsible to service negotiation and are capable of deciding which nodes will consume or provide the negotiated service. Results obtained from a simulated environment shows that Mandarin increase the WMN performance and QoS of the services provided the WMN nodes when compared to an architecture of best effort and the Resource ReSerVation Protocol (RSVP) protocol. The network throughput using Mandarin was, on average, 42% better than RSVP and 228% when using the better effort architecture. There were a 36.75% decrease in energy consumption and a 63% decrease in the number of TCP packages retransmitted. Mandarin also reduced packages lost by 68.5% when compared to RSVP and 41% against the best effort architecture. When considering network delay, reductions where, respectively, 96% and 26%.

Lista de Figuras

1.1	Infra-estrutura de uma rede em malha sem fio (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005; BRUNO; CONTI; GREGORI, 2005).	p. 12
2.1	<i>Evoluindo para uma rede em malha sem fio.</i>	p. 17
2.2	Ilustração de uma rede em malha sem fio com seu backbone fazendo a integração das redes Wi-Fi, celular, WiMAX e MANET. O backbone permite que os serviços providos em uma rede seja consumidos pelos clientes de outras redes.	p. 18
2.3	Principais padrões definidos pela IEEE e utilizados na implementação de uma rede em malha sem fio.	p. 19
3.1	Imagem referente ao Frame 97 no serviço de vídeo simulado em (CHENG et al., 2008).	p. 26
4.1	Arquitetura para Provisão e Negociação de Serviços.	p. 37
4.2	Etapas para provisionamento de serviços usando o Mandarim.	p. 45
4.3	Etapas para consumo de serviços usando o Mandarim.	p. 46
4.4	O provedor reserva parte da largura de banda para cada requisição de serviço baseada na QoS desejada pelos nós. Se não houver largura de banda suficiente, a requisição de serviço é negada e o nó não poderá enviar seu fluxo de dados para o provedor.	p. 50
4.5	Ilustração simples do processo de reserva de largura de banda.	p. 53
4.6	Diagrama de atividade representado o processo de negociação e tomada de decisão dos agentes autônomos. As condições [D1] e [D2] são explicadas no texto.	p. 60
5.1	<i>Ilustração de um mapa viário de uma cidade fictícia com e sem cobertura da rede em malha sem fio.</i>	p. 68

5.2	Grafo representado as 8 redes simuladas neste trabalho e suas conexões. Sobre este grafo é executado o algoritmo de Dijkstra para escolher a melhor rota entre duas redes.	p. 79
5.3	Atraso médio dos pacotes sem discriminação de serviços.	p. 82
5.4	<i>Gráficos de atraso médio dos pacotes na rede em malha sem fio para os serviços de taxa de bits constante e taxa de bits variável de tempo real.</i> . . .	p. 83
5.5	<i>Gráficos de atraso médio na rede em malha sem fio para os serviços de taxa de bits disponível empregando.</i>	p. 83
5.6	<i>Gráficos representado os valores médios do jitter filtrado e instantâneo na rede em malha sem fio, considerando todos os serviços providos por esta. É apresentado o resultado das seis soluções empregadas para avaliação da solução Mandarin.</i>	p. 85
5.7	Percentual médio de perda de pacotes nas redes em malha sem fio.	p. 87
5.8	<i>Gráficos de perda de pacotes na rede em malha sem fio para os serviços que utilizam o protocolo de transporte UDP.</i>	p. 87
5.9	<i>Gráficos de retransmissões de pacotes na rede em malha sem fio para os serviços que utilizam o protocolo de transporte TCP.</i>	p. 88
5.10	Consumo médio de energia dos elementos de rede ao término das simulações.	p. 90
5.11	<i>Gráficos representando o consumo médio de energia de cada tipo de elemento de rede ao término das simulações.</i>	p. 91
5.12	O gráfico apresenta a vazão efetiva média alcançada pelas soluções ao término das simulações.	p. 93
5.13	<i>Os gráficos da figura apresentam a vazão efetiva na rede discriminada por serviços providos.</i>	p. 94
B.1	Ilustração simples da oferta versus demanda. A curva de oferta Y inclina-se para cima e a curva de demanda X inclina-se para baixo. O ponto de interseção das duas curvas indica o preço de equilíbrio p^* e a quantidade de equilíbrio q^* (CLIFF, 1997).	p. 107
C.1	Diagrama de classe referente a implementação da solução Mandarin no JIST/SWANS.	p. 111

Lista de Tabelas

- 2.1 Tabela de rigidez dos requisitos de qualidade de serviço (TANENBAUM, 2002). p. 20
- 4.1 Tabela de rigidez dos requisitos de qualidade de serviço (TANENBAUM, 2002). p. 51
- 4.2 Arranjo de critérios proposto pela solução Mandarin. Cada critério deve ter um valor atribuído baseado na necessidade do fluxo de dados gerado pela aplicação do nó requisitante e um peso que define uma ordem de preferência no arranjo. p. 53
- 4.3 A tabela apresenta três arranjos de critérios para provisão de serviços. Os números entre parênteses são os dados já normalizados para aplicação do método MCDM. p. 56
- 4.4 Distâncias dos arranjos recebidos entre o arranjo ideal e o indesejável. . . . p. 57
- 5.1 Características dos dispositivos base para configuração dos nós da RMSF. . . p. 67
- 5.2 Consumo de Energia por operação em micro Amperes-hora (mAh). p. 68
- 5.3 Características das redes sem fio que formam a rede em malha sem fio. A rede H simula o comportamento de uma RSSF e suporta apenas elementos do tipo nó sensor. As demais redes são redes *Ad hoc* e suportam quaisquer dispositivos que operem com protocolo IEEE 802.11b. p. 69
- 5.4 Tabela de requisitos de qualidade de serviço. Os valores dos parâmetros perda de pacote e atraso correspondem ao máximo aceitável e largura de banda ao mínimo desejável. Para o *jitter* é definido um valor qualitativo referente a sua sensibilidade. p. 72
- 5.5 Tabela com os parâmetros de configuração dos serviços. p. 72
- 5.6 Número de dispositivos de acesso (consumidores de serviços) por cenário. . . p. 74
- 5.7 Critérios para negociação de serviços. Os pesos de cada critério é definido pela camada de Regra de Negócio. p. 79
- B.1 Tabela de utilidades para um serviço de acesso a internet. p. 108

Lista de Abreviações e Siglas

AHP - Analytic Hierarchy Process

ACK - Acknowledge

AODV - Ad hoc On Demand Distance Vector

BWA - Broadband wireless access

FDA - Fuzzy Decision Approach

LOS - Line-Of-Sight

MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

MAC - Media Access Control

MANET - Mobile Ad Hoc Networks

MCDM - Multiple Criteria Decision Making

NLOS - no-line-of-sight

PAN - Personal Area Network

WPAN - Wireless Personal Area Networks

QoS - Qualidade de Serviço

RMSF - Rede em Malha Sem Fio

RSSF - Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)

RSVP - Resource ReSerVation Protocol

TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

VoIP - Voice over Internet Protocol

Wi-Fi - Wireless Fidelity

WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

Sumário

1	Introdução	p. 11
1.1	Organização do Texto	p. 14
2	Redes em Malha Sem Fio	p. 16
2.1	Padrões Abertos para Implantação de Redes em Malha Sem fio	p. 19
2.2	Serviços Providos	p. 20
2.3	Questões de desempenho	p. 21
2.4	Considerações Finais	p. 23
3	Qualidade de Serviço em Redes Sem Fio	p. 25
3.1	MARIA	p. 26
3.2	ASAP	p. 27
3.3	DSNP	p. 29
3.4	RSVP	p. 31
3.5	Comentários Finais	p. 33
4	MANDARIM	p. 35
4.1	Arquitetura de QoS	p. 36
4.1.1	Regras de Negócio	p. 38
4.1.2	Touchpoint	p. 39
4.1.3	Tarefas Automatizadas	p. 42
4.1.4	<i>Market Place Web Services</i>	p. 44
4.2	Etapas para provisão e consumo de serviço	p. 44

4.2.1	Especificação dos Serviços	p. 45
4.2.2	Registro do Serviços	p. 47
4.2.3	Negociação de Serviços	p. 47
4.2.4	Operação dos Serviços	p. 47
4.3	Modelagem dos Critérios de Decisão	p. 49
4.3.1	Obtendo o indicador de desempenho usando MCDM	p. 54
4.4	Negociação de Serviços	p. 57
4.4.1	Agentes Autônomos Adaptativos	p. 58
4.4.2	Interação entre os Agentes Autônomo	p. 61
4.4.3	Mecanismo para Ajustar os Valores dos Critérios	p. 62
4.5	Considerações Finais	p. 64
5	Avaliação de Desempenho	p. 66
5.1	Caracterização das Simulações	p. 67
5.1.1	Serviços Providos na RMSF	p. 70
5.1.2	Metodologia de Avaliação	p. 73
5.2	Soluções Empregadas	p. 75
5.2.1	Solução 1 - Melhor Esforço	p. 75
5.2.2	Solução 2 - RSVP	p. 76
5.2.3	Mandarim	p. 76
5.3	Resultado de Desempenho	p. 81
5.3.1	Atraso	p. 82
5.3.2	<i>Jitter</i>	p. 85
5.3.3	Perda de Pacotes	p. 86
5.3.4	Consumo de Energia	p. 89
5.3.5	Taxa de Transmissão	p. 91
5.3.6	Vazão Efetiva	p. 92

5.4	Considerações Finais	p.95
6	Conclusão	p.97
	Apêndice A – Agentes autônomos	p. 100
	Apêndice B – Teorias Econômicas	p. 104
	B.1 Alocação de Recursos Escassos	p. 106
	B.2 Função Utilidade	p. 107
	Apêndice C – Diagrama de Classe	p. 110
	Referências Bibliográficas	p. 112

1 Introdução

As redes em malha sem fio (AKYILDIZ; WANG, 2008, 2007) podem ser formadas por diferentes redes, como MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*), redes celular, redes pessoais (PAN - *Personal Area Network*) ou Internet e tem como principal objetivo disponibilizar um *backbone* sem fio que permita acesso a rede em banda larga. Tais redes são um modelo misto de redes que engloba as características de redes *Ad hoc* de multi salto e as de redes sem fio infra-estruturadas (AKYILDIZ; WANG, 2008).

A Figura 1.1 representa uma rede em malha sem fio com os diferentes papéis exercidos por seus nós: pontos de acesso, roteadores sem fio e nós de rede clientes. Os pontos de acesso provêm o serviço de *backhaul* da rede e funciona apenas como roteadores e possui interface de rede sem fio e/ou com fio. A interface com fio pode ser usada para interligar a rede sem fio ao *backbone* cabeado da Internet ou a uma rede *Ethernet* local, por exemplo.

Os roteadores sem fio são nós estacionários que formam o *backbone* da rede e podem fornecer conectividade para diferentes tipos de clientes (*laptops*, PDAs, celulares, *smartphones*, impressoras, televisões), operando como *gateways* para redes distintas em modo infra-estruturado. A função de *gateway* exercidas pelos roteadores é de suma importância dado, a diversidade de protocolos de comunicação possíveis para dispositivos sem fio. A citar, os mais utilizados são IEEE 802.11 conhecido como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), IEEE 802.15.1 o Bluetooth (RASHID; YUSOFF, 2006), IEEE 802.15.4 denominado ZigBee (KUSHALNAGAR; MONTENEGRO; SCHUMACHER, 2007), IEEE 802.16 ou WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). O *backbone* da rede em malha sem fio provê o serviço de integração entre os diferentes tipos de redes que podem compor a mesma e permite que os serviços de uma rede possam ser acessados por nós clientes de outra rede.

Apesar da distinção na classificação, os nós clientes podem funcionar somente como clientes se conectados aos roteadores ou exercer a função de roteamento¹ e cliente ao mesmo tempo. Ao exercer o papel de roteador, provendo o serviço de roteamento multi salto, os nós clientes

¹É função de um roteador descobrir rotas e encaminhar pacotes na rede.

milhares de nós (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005).

Apesar de não ser trivial, oferecer QoS é uma tarefa importante para o correto funcionamento de aplicações que usam a rede para o tráfego de seus dados. Cada aplicação gera diferentes tipos de tráfego na rede e possui requisitos específicos de QoS. Por exemplo, Telefonia IP (VoIP) impõe limites de atraso, enquanto *Streaming* multimedia necessita de garantia de vazão.

Para prover QoS é preciso identificar os principais requisitos do tráfego de dados gerado pela aplicação como por exemplo, a largura de banda mínima desejada. É necessário também a cooperação dos elementos que participam da comunicação, sem isso não é possível realizar reserva de largura banda, uma das técnicas voltadas para provisão de QoS (TANENBAUM, 2002). A cooperação de um nó ou rede retransmitindo mensagens pode gerar um custo nos termos de largura de banda, no consumo de energia, atraso e perda de mensagens, entre outros. Assim, na provisão de serviços em redes em malha sem fio ainda deve-se levar em consideração as características particulares de cada rede que a compõe para não ter os recursos² das mesmas esgotados. Uma MANET tem restrições de largura de banda e uma PAN possui como restrição primária o alcance de transmissão, mas também há restrição de largura de banda. Os nós da rede PAN podem não cooperar com um tráfego que requisite uma largura de banda acima do suportado pela rede pois, terá esse recurso sobrecarregado.

Ao prover um serviço deve ser considerado e gerenciado os requisitos de QoS das aplicações e os recursos de cada rede que participa da provisão, a fim que as mesmas possam se beneficiar da relação de consumo. As relações de consumo que engloba variáveis como duração da comunicação e os requisitos de QoS desejado, podem ser definidas por um processo de negociação de serviços que evite desperdício e descompromisso com os objetivos da aplicação. O processo de negociação visa, então, definir os parâmetros necessário para a provisão ou consumo de serviços, leva a uma boa ou ótima alocação dos recursos da rede.

O objetivo deste trabalho é propor uma solução, denominada Mandarin, para negociação de serviços em redes em malha sem fio utilizando agentes autônomos, (FLAKE, 2000) de forma a aumentar a qualidade dos serviços providos na rede. Este objetivo é alcançado ao negociar os requisitos de QoS, desejados pelo serviço, entre os nós que formam a rota de disseminação de dados. Em cada nó da rede é implantado um agente autônomo responsável pela negociação de serviços e são capazes de decidir quais nós consumirá ou proverá o serviço negociado.

Para dar suporte a negociação de serviços, a solução define um ambiente computacional que permite a troca de informação entre os agentes de forma transparente, ou seja, independente de

²Como recursos podemos citar, largura de banda disponível, ciclos de processamento, memória, buffer, entre outros.

plataformas ou protocolos usados na comunicação.

A solução deve ser implementada como uma camada intermediária entre a camada de aplicação e transporte. Isso possibilita manter inalterado o funcionamento dos protocolos de transporte e roteamento, e das demais camadas inferiores. E reduz o impactado da solução sobre os serviços e redes já em operação.

Avaliações baseadas em simulações foram realizadas para a verificação da eficiência da solução proposta e leva em consideração a QoS de serviço requisitada e obtida pelas aplicações simuladas. A solução Mandarin foi avaliada também por uma análise comparativa com a arquitetura de melhor esforço (*best-effort*) (TANENBAUM, 2002) e o protocolo RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) (BRADEN et al., 1997). Como métricas para avaliação foi considerado o atraso, o jitter, a perda de pacotes, a taxa de transmissão e a vazão efetiva das comunicações realizadas na rede em malha sem fio e o consumo de energia dos nós.

Não são objetivos do trabalho o desenvolvimento de algoritmos que permita a interoperabilidade entre as diferentes tecnologias e protocolos que podem estar presentes em uma rede em malha sem fio.

Durante o desenvolvimento da dissertação, alguns resultados parciais do trabalho foram publicados em uma conferência internacional (ANJOS; AYLON, 2008).

1.1 Organização do Texto

No capítulo 2, os principais conceitos referente a redes em malha sem fio são descritos. Primeiro é apresentado a infra-estrutura básica de uma rede em malha sem fio, depois os principais padrões de comunicação sem fio e os serviços providos nessas redes. Ainda, algumas questões de desempenho são levantadas.

No capítulo 3, são apresentados os principais trabalhos relacionados a esta dissertação. Os tópicos considerados são protocolos e soluções para provisão de qualidade de serviços em redes sem fio.

O capítulo 4, descreve a solução Mandarin proposta para negociação de serviços com QoS em redes em malha sem fio. Primeiro é feito uma modelagem dos critérios para negociação e tomada de decisão. Neste capítulo são apresentados os agentes autônomos propostos, com seus algoritmos e funções para negociação. Finalmente, as etapas para provisão e consumo de serviços são detalhadas e um ambiente para negociação é proposto.

No capítulo 5, os resultados da aplicação da solução Mandarin são apresentados. Uma

análise comparativa do Mandarin com a arquitetura de melhor esforço e o protocolo RSVP, também foi realizada neste capítulo.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as considerações finais do trabalho. Além de comentários sobre o desenvolvimento e os objetivos alcançados, também são propostos novos trabalhos para serem desenvolvidos futuramente.

Os apêndices A e B, contém informações adicionais sobre agentes autônomos e teorias econômicas que, fundamentaram o projeto e o desenvolvimento da solução Mandarin. O apêndice C, mostra um diagrama de classe da implementação no simulador da solução Mandarin.

2 Redes em Malha Sem Fio

Neste capítulo é apresentada uma visão geral da tecnologia das redes em malha sem fio (RMSF) e em particular os padrões abertos para sua implantação, os principais serviços que podem ser providos na rede e são levantadas questões que impactam no desempenho da rede.

As redes em malha sem fio (AKYILDIZ; WANG, 2008, 2007; BRUNO; CONTI; GREGORI, 2005) são formadas por diferentes tipos de redes e engloba as características de redes *Ad hoc* de multi salto e as de redes sem fio infra-estruturadas. Cada nó da rede pode funcionar como roteador e encaminhar pacotes de outros nós até que alcancem o seu destino. Tais redes são auto-configuráveis e auto-organizadas dinamicamente e seus nós estabelecem e mantêm automaticamente a conectividade entre si (cria, portanto, uma rede *ad hoc*). Esta característica traz vantagens como: facilidade de manutenção da rede, robustez, escalabilidade e serviço de cobertura confiável (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005).

Dispositivos sem fio convencionais (por exemplo, computadores pessoais (PC), *laptops*, PDAs, PocketPCs, celulares, etc) equipados com placas de redes sem fio podem se conectar diretamente a um roteador sem fio da RMSF, veja Figura 2.2. Isto permite que um cliente que não pertence a uma rede dentro da RMSF, tenha acesso aos recursos de uma rede *Ethernet*, por exemplo. Assim, as RMSF vão ajudar aos usuários a estar sempre on-line, em qualquer lugar, a qualquer hora (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005). Além disso, os roteadores dessas redes devem permitir a integração das várias redes sem fio existentes, tais como MANETs (*Mobile Ad Hoc Networks*), redes celular, redes pessoais (PAN - *Personal Area Network*), Figura 2.2.

As redes sem fio podem trabalhar em dois modos de operação: infra-estruturado ou *Ad hoc*. A rede sem fio infra-estruturada, Figura 2.1(a), possui uma estrutura centralizada, onde todo tráfego da rede converge para o ponto de acesso. A rede é limitada ao alcance do ponto de acesso, sendo que os nós fora do alcance possuem conectividade nula. Para aumentar o alcance deste tipo de rede é necessário implantar novos pontos de acesso, o que aumenta o custo de implantação da mesma. Além disso, a largura de banda do ponto de acesso neste tipo de rede é dividida pelo número total de elementos ligado ao mesmo o que dificulta, a introdução de novos

nós (AKYILDIZ; WANG, 2008; LI et al., 2001).

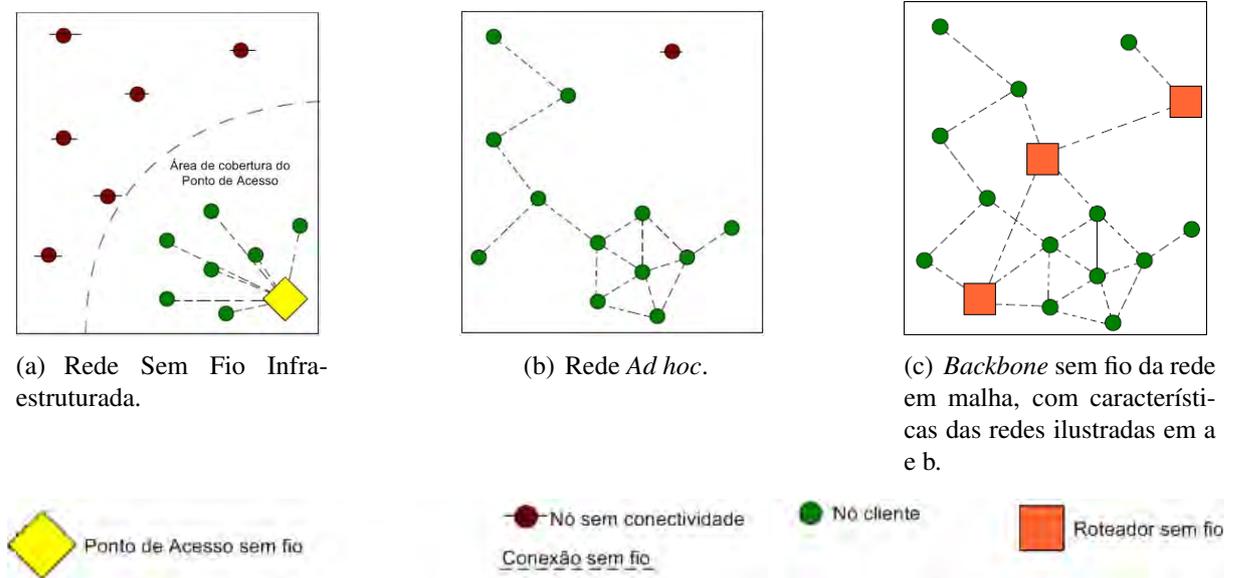


Figura 2.1: *Evoluindo para uma rede em malha sem fio.*

As redes sem fio que funcionam em modo *Ad hoc*, Figura 2.1(b), tem como principal característica o fato de seus nós trabalharem de forma cooperativa no roteamento das mensagens podendo formar uma rede multi salto (TANENBAUM, 2002). Este tipo de rede não requer uma infra-estrutura tal como *backbone*, ou pontos de acesso previamente configurados e pode ser expandida com a introdução de novos nós. Ao introduzir novos nós, o atraso fim-a-fim neste tipo de rede pode ser elevado, devido a necessidade da mensagem realizar vários “saltos” até o destino (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005). Nas redes *Ad hoc* a conectividade dos nós pode ser prejudicada quando ocorrem falhas ou movimentação dos nós (a rede possui topologia dinâmica), isso pode ser minimizado com a introdução de roteadores sem fio.

Ao introduzir roteadores sem fio (normalmente fixos) junto a rede *ad hoc* aumenta-se a cobertura da rede e reduzi o número de “saltos” no roteamento das mensagens, Figura 2.1(c). Os roteadores formam um *backbone* sem fio e podem ter múltiplas antenas e múltiplas tecnologias de transmissão para interligação de redes. A formação deste *backbone* é a principal característica das redes em malha sem fio (RMSF), Figura 2.2.

Como as redes em malha tem a capacidade de auto-configuração e auto-organização, o seu backbone pode ser implantado gradativamente, um roteador de cada vez, conforme necessário. Quanto mais roteadores são instalados maior a conectividade e cobertura da rede.

Implantar uma RMSF não é muito difícil, uma vez, que os componentes como protocolos de roteamento, protocolos de comunicação/MAC e protocolos de segurança necessários, podem ser aproveitados das redes *Ad hoc*. Empresas como Google (GOOGLE, 2007), Microsoft

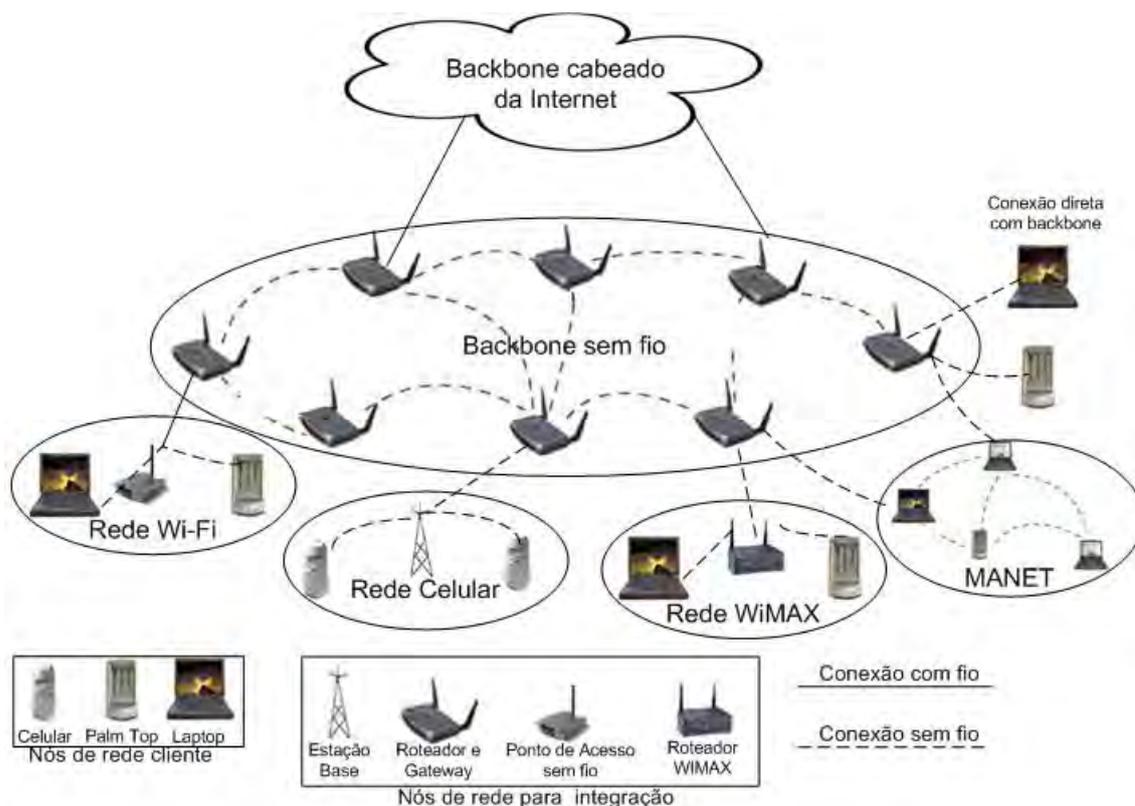


Figura 2.2: Ilustração de uma rede em malha sem fio com seu backbone fazendo a integração das redes Wi-Fi, celular, WiMAX e MANET. O backbone permite que os serviços providos em uma rede seja consumidos pelos clientes de outras redes.

(PADHYE; ZILL, 2004), CISCO (CISCO, 2008) e Nortel (NORTEL, 2008) já perceberam o potencial desta tecnologia e fornecem produtos específicos para RMSF. Instituições publicas e universidades também investem no desenvolvimento dessa tecnologia, como é o caso dos projetos RoofNet(AGUAYO et al., 2004) do MIT, MeshNet (MESHNET, 2008) da universidade da califórnia, ReMesh (FLUMINENSE, 2008) da Universidade Federal Fluminense e, BH Digital ¹ que viabilizam acesso à internet com uma cobertura sem fio em mais de 95% do município de Belo Horizonte em Minas Gerais - Brasil. Apesar dos investimentos em RMSF, consideráveis esforços em pesquisa ainda são necessários. Por exemplo, os protocolos de roteamento aplicados às RMSF não suficientemente escaláveis e a vazão na rede decresce significativamente com aumento dos nós ou saltos na rede (AKYILDIZ; WANG, 2008). Existem problemas semelhantes em outros protocolos de rede. Conseqüentemente, todos os protocolos da camada de aplicação, transporte, rede e camada física precisam ser re-inventados ou melhorados. Algumas questões de desempenho são levantadas na Seção 2.3.

Os pesquisadores começaram a rever os protocolos das redes sem fio, especialmente das redes IEEE 802.11, redes *Ad hoc* e redes de sensores sem fio sobre a perspectiva das RMSF

¹Mais informações podem ser encontradas no site da prefeitura de Belo Horizonte, www.pbh.gov.br.

(AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005). Com isso, novas especificações de protocolos para RSMF estão sendo elaboradas. Os protocolos mais utilizados em RSMF são descritos na Seção 2.1 a seguir.

2.1 Padrões Abertos para Implantação de Redes em Malha Sem fio

Atualmente, as redes sem fio são formadas predominantemente pelo padrão 802.11 que oferece largura de banda até 54 Mbps² contra 100 Mbps da rede cabeada no padrão 802.3 mais utilizado no mercado. Já as redes em malha sem fio podem ser implantadas com diferentes padrões (IEEE 802.20, IEEE 802.15, IEEE 802.11, IEEE 802.6) veja Figura 2.3.

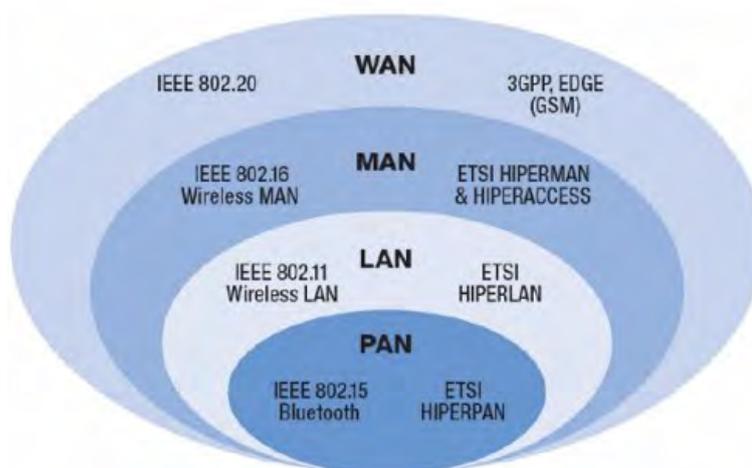


Figura 2.3: Principais padrões definidos pela IEEE e utilizados na implementação de uma rede em malha sem fio.

Qual padrão a ser adotado depende dos objetivos da rede. Se a rede em malha sem fio a ser implementada deve ter cobertura metropolitana, o seu backhaul e/ou backbone pode ser implementados com o padrão IEEE 802.16 (SEDOYEKA et al., 2008) ou IEEE 802.20. Se é necessário integração entre dispositivos móveis tais como PDAs e celulares, os mesmos podem utilizar o padrão IEEE 802.15.5 ou IEEE 802.16m (PARK; PARK, 2007; YOUSAF; QAYYUM, 2008) especificamente para celulares. Dispositivos móveis com muitos recursos como laptops podem funcionar com o padrão IEEE 802.11.

²Os padrões 802.11a e 802.11g suportam até 54 Mbps em modo infra-estruturado e 11 Mbps em modo ad-hoc. Até o momento da escrita desta dissertação, não havia sido concluída a padronização 802.11n, que suporta até 104 Mbps. Existem no mercado interfaces compatíveis com o padrão 802.11b/g que alcançam até 108 Mbps por meio de tecnologia proprietária.

2.2 Serviços Providos

As redes em malha sem fio têm sido implantadas como redes de acesso à Internet em universidades e escolas e na construção de cidades digitais, oferecendo infra-estrutura de comunicação sem fio em ambiente metropolitano a todos os cidadãos. Exemplos de projetos piloto que utilizam redes em malha sem fio são: o ReMesh em Niterói/RJ (FLUMINENSE, 2008), RoofNet no MIT (AGUAYO et al., 2004), Google Mesh na Califórnia (GOOGLE, 2007), VMesh na Grécia (TSARMPOPOULOS; KALAVROS; LALIS, 2005) e Microsoft Mesh (PADHYE; ZILL, 2004).

As redes em malha sem fio ao compartilharem recursos das redes que a compõe, tem por objetivo disponibilizar todos os programas, equipamentos e especialmente dados aos usuários da rede, independente da localização física do recurso e do usuário (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005; TANENBAUM, 2002). Quando um nó da rede compartilha um recurso com os demais, este nó é denominado servidor ou provedor do recurso. Os nós que acessam um recurso compartilhado, são denominados clientes ou consumidores. Quando um servidor compartilha um ou mais recursos para uma aplicação específica dizemos que este servidor provê um serviço à rede. Nesse arranjo, onde servidor compartilha recurso e cliente consome, é denominado modelo cliente/servidor.

Os nós clientes que consomem um serviço da rede, geram uma seqüência de pacotes chamada fluxo. As necessidades de cada fluxo podem ser caracterizadas por quatro parâmetros principais: confiabilidade, atraso, *jitter* e largura de banda. Junto, “esses parâmetros definem a qualidade de serviços que o fluxo exige” (LI et al., 2007; TANENBAUM, 2002). Serviços distintos, têm requisitos distintos em relação a estes parâmetros. Alguns serviços providos pelas redes em malha sem fio e a rigidez de seus requisitos estão listadas na Tabela 4.1.

Serviço	Confiabilidade	Atraso	<i>Jitter</i>	Largura de banda
Correio eletrônico	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Transferência de arquivos	Alta	Baixa	Baixa	Média
Acesso à Internet	Alta	Média	Baixa	Média
Audio por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Média
Vídeo por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Telefonia (VoIP)	Baixa	Alta	Alta	Baixa
vídeoconferência	Baixa	Alta	Alta	Alta

Tabela 2.1: Tabela de rigidez dos requisitos de qualidade de serviço (TANENBAUM, 2002).

Os três primeiros serviços da Tabela 4.1 têm requisitos rígidos de confiabilidade. Nenhum bit pode ser entregue de forma incorreta e não pode haver perda de pacotes. Os quatro últimos serviços toleram erros e a perda de pacotes, mas são sensíveis à chegada de pacotes com inter-

valos de tempo irregulares entre eles (*jitter*). Os serviços também diferem em suas necessidades de largura de banda. Correio eletrônico e telefonia não necessitam de muita largura de banda, mas todas as formas de vídeo exigem um grande volume desse recurso (TANENBAUM, 2002).

Para serviços multimídias a quantidade de banda a ser alocada varia em relação a qualidade desejada e algoritmo de codificação de vídeo e voz. Considerando os cabeçalhos do protocolo IEEE 802.11, para uma resolução de 176 x 144 pixels usando o algoritmo MPEG-2 são necessários 96 Kbps para a transmissão dos dados contra, 80 Mbps para uma resolução de 1280 x 720 pixels com qualidade de TV, por exemplo. Já os serviços de telefonia codificam a voz a 32 Kbps, e devem poder transmitir dados na rede a essa mesma taxa.

Assim como nas redes tradicionais, os serviços providos nas redes em malha sem fio podem ser agrupados em quatro categorias principais com relação à sua demandas de QoS:

1. Taxa de bits constante (por exemplo, telefonia).
2. Taxa de bits variável em tempo real (por exemplo, vídeoconferência).
3. Taxa de bits variável de tempo não-real (por exemplo, assistir a um filme pela Internet).
4. Taxa de bits disponível (por exemplo, transferência de arquivos).

A taxa de bits constante se destina à transmissão de voz não compactada. Esse serviço precisa enviar uma quantidade de dados predeterminada a intervalos de tempo predeterminados. O serviço de taxa de bits variável de tempo real se destina a aplicações de multimídia e a outras aplicações de software de tempo real em que a quantidade de largura de banda necessária em cada instante pode variar. O serviço de taxa de bits variável de tempo não-real se destina a transmissões que consomem muita largura de banda e não são de tempo real, como as transferências de grandes arquivos. A taxa de bits disponível se destina a aplicações, como correio eletrônico, não sensíveis ao atraso ou a *jitter* (TANENBAUM, 2002).

A forma como o serviços operam em uma rede cabeada ou sem fio é a mesma, pois estes rodam na camada de aplicação. O que irá diferenciá-los são os protocolos das camadas subjacentes. Nas enlace sem fio usando o protocolo 802.11, por exemplo, os pacotes enviados são maiores do que nas redes 802.3 cabeadas, por causa dos cabeçalhos adicionais.

2.3 Questões de desempenho

A substituição da interface de comunicação cabeada de um elemento por uma interface 802.11 sem fio, não implica em mudanças nos serviços prestados pelas camada de aplicação,

transporte e rede. Por isso as principais questões de desempenho relacionadas as redes em malha sem fio estão focadas na camada de enlace. As RMSF herdaram várias características das rede *ad hoc* e conseqüentemente alguns de seus problemas. Os principais fatores que podem levar a uma degradação na qualidade dos serviços prestados por essas redes são:

Redução da força de sinal a transmissão via rádio nas redes sem fio é feita por propagações de ondas eletromagnéticas. Os sinais eletromagnéticos transmitidos pelos rádios são atenuados quando atravessam algum obstáculo como paredes, vidros, árvores, entre outros. Mesmo sem obstáculos o sinal dispersará à medida que aumenta a distância entre emissor e receptor. A atenuação do sinal pode provocar perda de conectividade entre os elementos de uma rede, redução na taxa de recepção, aumento do atraso nas transmissões, variações no atraso *jitter* e perda de pacotes.

Interferência eletromagnética O problema da interferência eletromagnética é inerente a toda rede sem fios, não apenas a redes em malha sem fios. Várias fontes de rádio transmitindo na mesma frequência sofrerão interferência uma das outras. Assim, telefones sem fio que transmitem na frequência 2.4 GHz provocam interferência em redes sem fio 802.11b/g. Além de outras fontes transmissoras, ruídos eletromagnéticos presentes no ambiente (por exemplo, um motor ou forno de microondas próximos) podem resultar em interferência. As interferências eletromagnéticas fazem com que as redes sem fio tenham um alto percentual de pacotes perdidos. As perdas de pacotes são ocasionadas em sua maioria devido a colisões no meio físico. Como o sinal de transmissão de um elemento de rede interfere no próprio rádio receptor, existe dificuldade de construir dispositivos sem fio capazes de receberem dados enquanto estão transmitido. Como conseqüência, “a detecção de colisões enquanto os dados são enviados não é possível, de forma que os mecanismos MAC em redes sem fio empregam a estratégia baseada na tentativa de evitar a colisão (*Collision Avoidance*)”(GALLEGO, 2005). Dessa forma, “colisões são detectadas apenas ao final da transmissão, o que pode levar a desperdício do canal” (GALLEGO, 2005). Portanto, os rádios em redes em malha sem fio geralmente operam no modo half-duplex.

A perda, inerente a comunicação por rádio, é uma desvantagem das redes sem fio em relação às redes fixas.

Degradação da largura de banda Uma análise sobre a vazão nas redes *ad hoc*, mostrada em (LIU; THIRAN; TOWSLEY, 2007; WANG; SADJADPOUR; GARCIA-LUNA-ACEVES, 2008), afirma que: quanto maior o número de elementos na rede, menor é a taxa de transmissão possível. Isso ocorre por que os elementos de redes disputam o mesmo meio de transmissão (o ar).

Nas arquiteturas convencionas, em rede sem fio ou com fios todos os elementos de rede transmitem diretamente ao ponto de acesso e este faz o roteamento dos fluxos. Nessa arquitetura a largura de banda é dividida pelo número total de elementos da rede. Em geral isso é aceitável e o número de pontos de acesso pode ser adequado ao número de elementos da rede.

Nas redes em malha sem fio, um elemento de rede pode não alcançar diretamente o ponto de acesso. Além disso, todos os elementos da rede podem rotear mensagens de outros. Para não ocorrer colisões, somente um elemento pode transmitir por vez. Dessa forma, cada elemento de rede só pode usar $1/N$ do tempo para transmitir os pacotes ao próximo hop. No caso mais comum, em que quase todo o tráfego será direcionado para um ponto de acesso, os elementos que estão distantes do mesmo terão uma redução significativa da largura de banda. Uma técnica usada para minimizar este problema é a alternância de canais (*channel hopping*) e o uso de dois ou mais rádios, em frequências diferentes. Em (GALLEGO, 2005; LI et al., 2001) maiores detalhes sobre a vazão das redes em malha sem fio e redes ad hoc podem ser encontrados.

A vazão, nas redes em malha sem fio, também decresce com o aumento da distância média entre transmissor e receptor. Assim, para aumentar a vazão de cada elemento, deve-se diminuir o número de elementos na rede ou restringir o tráfego dos elementos mais próximos do transmissor (GALLEGO, 2005).

Outras questões que levam a degradação dos serviços providos pelas redes, estão relacionadas a sobrecarga dos recursos da rede (largura de banda, buffers, ciclos de processamento). O desempenho das redes em malha sem fio também é prejudicado quando há um desequilíbrio nos recursos estruturais. Por exemplo, os nós de uma rede IEEE 802.11 capaz de transmitir a 11 Mbps terão que reduzir sua taxa de transmissão a 250 Kbps caso desejem comunicar-se com os nós de uma RSSF. Caso o contrário, alguns pacotes transmitidos pela rede IEEE 802.11 serão perdidos.

2.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os principais conceitos relacionados as redes em malha sem fio. Algumas questões de desempenho que estão diretamente relacionadas com a qualidade dos serviços providos por essas redes foram levantadas. Neste trabalho, as questões levantadas não são solucionadas pois, fogem do seu escopo. Vale ressaltar, que esta fora do escopo deste trabalho também, o desenvolvimento de algoritmos que permitem a interoperabilidade entre as

diferentes tecnologias de redes. Dessa forma, algoritmos e protocolos que fazem conversões dos pacotes 802.3 para 802.11, por exemplo, não são discutido.

O capítulo 5 projeta uma rede em malha sem fio, que será simulada para avaliação de desempenho da solução Mandarin. No próximo capítulo, os principais trabalhos relacionados a essa dissertação e a provisão de QoS em redes sem fio são apresentados.

3 Qualidade de Serviço em Redes Sem Fio

Este capítulo trata dos trabalhos relacionados ao tema dessa dissertação no que diz respeito as soluções e protocolos que tem por objetivo prover QoS em redes sem fio. Na literatura a maioria dos trabalhos encontrados que desenvolvem soluções para provisão de QoS, são voltados para redes Ethernet ou *Ad hoc*. As redes em malha sem fio herdaram as características das redes *Ad hoc* e portanto, as soluções para provisão de QoS em redes *Ad hoc* podem ser empregadas ou estendidas para RMSF.

Dentre as soluções encontradas ((CHENG et al., 2008; HU; ZHANG; CHEN, 2008; SHEN et al., 2008)) especificamente para redes em malha sem fio é apresentado na Seção 3.1 o protocolo proposto por Cheng et. al (CHENG et al., 2008) que foca a provisão de QoS para serviços multimídias. O objetivo do protocolo é semelhante aos da solução Mandarin e também usam do mecanismos de controle de admissão, mas com uma abordagem diferente. O Mandarin deve ser implementado como uma camada intermediária entre a camada de aplicação e transporte do protocolo de comunicação dos nós da rede.

Nas Seções 3.2 e 3.3 é apresentado duas soluções para redes *Ad hoc* que podem ser aplicadas em redes em malhas sem fio. As solução apresentas nessas seções, trabalham com reserva de recursos, mecanismos utilizado no desenvolvimento da solução Mandarin. A Seção 3.4 descreve o protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*) muito usado em rede *Ethernet* e que está sendo estendido para redes sem fio, como mostra os trabalhos de Wang et. al (WANGA; JIANGB; HUANGC, 2007), Chung et. al (WANG JYH-WOEI JIANG, 2007), Belhoul et. al (BELHOUL; SEKERCIOGLU; MANI, 2006) e Song et. al (SONG et al., 2007). Por ser largamente utilizado e implementar mecanismos de reserva e controle de admissão semelhantes aos da solução Mandarin, o RSVP foi escolhido para avaliação de desempenho comparativa da solução.



Figura 3.1: Imagem referente ao Frame 97 no serviço de vídeo simulado em (CHENG et al., 2008).

3.1 MARIA

Em Cheng et. al (CHENG et al., 2008) é apresentado um protocolo de roteamento denominado MARIA (*Interference-Aware Admission Control and QoS Routing in Wireless Mesh Networks*), que tem como objetivo, aumentar a QoS de serviços multimídia nas redes em malha sem fio, usando um grafo de conflitos para modelar interferências na rede.

No MARIA, cada nó da rede possui um grafo de conflitos que é construído ao analisar as mensagens de *HELLO* enviadas periodicamente pelos nós vizinhos. A mensagem de *HELLO* além de permitir identificar quais são os nós vizinhos, carrega informações sobre os fluxos admitidos pelo nó transmissor. Uma vez construído o grafo de conflitos, é calculada a largura de banda residual do nó, já prevendo as possíveis interferências nas transmissões. Quando um fluxo de dados faz uma requisição de rota, cada nó envolvido na descoberta da rota procede à admissão do fluxo baseada na largura de banda residual sua e dos nós vizinhos. Caso a largura de banda residual seja suficiente para atender às necessidades do fluxo de dados, este é aceito.

Os autores em (CHENG et al., 2008), por meio de simulações no NS-2, fazem um estudo comparativo do MARIA com o protocolo de roteamento AODV que é comumente usado em redes *Ad hoc*. A rede simulada para avaliação de desempenho da protocolo MARIA e AODV é composta por 20 nós com taxa de transmissão configurada para 2 Mbps e raio de transmissão de 250 metros. Dois experimentos foram realizados como os nós dispostos em grid no primeiro e aleatoriamente no segundo em uma área de $1000m \times 1000m$. O fluxo de dados transmitido pelos nós simula um serviço de vídeo por demanda.

Nos experimentos o percentual de pacotes transmitidos pelos algoritmos de roteamento em relação aos pacotes de dados recebidos pelos nós foi 38% para MARIA e 20.1% AODV. Segundo os autores, o protocolo MARIA conseguiu uma vazão efetiva (*throughput*) superior ao AODV e uma redução significativa no atraso fim-a-fim dos pacotes. Conseqüentemente, a qualidade do serviço de vídeo simulado foi superior quando adotado o protocolo MARIA, como pode-se observar na Figura 3.1.

O cenário simulado para avaliação do MARIA pelos autores é relativamente pequeno e não reflete a realidade de uma rede em malha sem fio, onde pode existir centenas ou milhares de nós formando a rede. Não fica claro no artigo, se o controle de admissão é realizado para qualquer fluxo de dados que utilize o protocolo ou somente para fluxo de serviços multimídias. Deixar isso claro é importante uma vez que tipicamente as redes em malhas sem fio provêm diferentes tipos de serviços e em suas simulações os autores consideram que há apenas o serviço de vídeo por demanda. Ainda, os autores consideram apenas a métrica largura de banda para decidir sobre a admissão de um fluxo de dados, o que é aceitável para serviços de vídeo por demanda, mas pode não ser o ideal para outros serviços. Como é caso de aplicações de telemedicina, no qual a perda de dados causa distorções na imagem e pode fazer com que um cirurgião realize um procedimento errado em uma cirurgia a distância. Portanto, outras métricas devem ser analisadas no processo de admissão de um fluxo de dados, quando há o intuito de garantir QoS ao mesmo. Esse problema é tratado na solução Mandarin que defini mais de uma métrica para admissão de fluxos de dados e as diferencia em relação à aplicação.

3.2 ASAP

O *Adaptive Reservation and Preallocation* (ASAP) (XUE, 2003; XUE; STUEDI; ALONSO, 2003) é um *framework* que tem como objetivo fornecer qualidade de serviços para redes *Ad hoc*, apoiando aplicações que lidam com transmissões multimídia. O ASAP é uma extensão do *framework* Insignia (LEE et al., 2000) que foi desenvolvido para fornecer QoS e dar suporte à adaptabilidade em redes móveis *Ad hoc*.

Assim, como MARIA descrito na Seção 3.1, o Insignia considera somente a largura de banda como métrica e único requisito de QoS para admissão de fluxo de dados e suporta apenas dois níveis de QoS: o básico que especifica uma largura de banda mínima, e o melhorado, que especifica uma largura de banda máxima. Para se adequar às mudanças de topologia e capacidade de vazão das redes sem fio, é interessante que a largura de banda seja apresentada em intervalos, fazendo com que o nó reserve uma banda dentro da faixa [MIN,MAX] (LEE et al., 2000). O ASAP tem como objetivo superar essas limitações existentes no Insignia.

Assim como o RSVP, o ASAP faz a reserva de recursos trocando mensagens entre os elementos que estão na rota de um fluxo de dados de um serviço de tempo real. A reserva de recursos é feita em duas fases. A primeira fase a ser executada é a fase *soft*. Os elementos de redes que recebem uma requisição de reserva, nesta fase, verificam se há banda disponível dentro de um intervalo [MIN,MAX] e efetua a reserva para uso futuro. A reserva de

banda na fase *soft* é concretizada, quando uma mensagem da fase *hard* for recebida. Enquanto isso, a banda reservada pode ser utilizada por serviços de taxa de bit disponível (*best-effort*) (XUE; STUEDI; ALONSO, 2003). Após a fase *soft*, o destinatário do fluxo de dados, envia uma mensagem *hard* no caminho inverso da mensagem *soft*, limpando as reservas temporárias e admitindo a reserva para o fluxo de tempo real. E assim como no RSVP, quem determina a largura de banda real a ser reservada é o destinatário do fluxo.

Como a garantia de banda deve ser feita em todos os nós da rota do fluxo de dados, a reserva corresponde a banda mínima disponível na rota. Por exemplo, em uma rota com 3 elementos de rede, tendo estes disponível 300 Kbps, 1 Mbps, 100 Mbps respectivamente, a banda a ser reservada nos 3 elementos não pode ultrapassar 300 Kbps. Este procedimento de reserva é adota também na solução Mandarim, mas os agentes autônomos podem ultrapassar a banda mínima disponível dependendo da política adota na rede.

Para iniciar uma transmissão de um serviço de tempo real é necessário executar a fase *soft*. As mensagens dessa fase são transferidas *in-band*, ou seja, juntamente com o fluxo de dados. Assim que a origem receber a mensagem referente à fase *hard*, é iniciada a transmissão com velocidades correspondentes à largura de banda reservada e informada na mensagem *hard*. As mensagens *hard* são transmitidas *out-of-band*, ou seja, fora do fluxo de dados.

Periodicamente, a origem do fluxo de dados envia uma mensagem *soft* de monitoração, cada elemento de rede intermediário verifica se a largura máxima de banda solicita inicialmente já foi atendida na reserva. Caso não tenha sido reservada, e houver largura de banda disponível, cada elemento de rede tentará alocar mais recursos para aumentar a reserva efetuada (HILARIO, 2006). Quando o destinatário receber a mensagem *soft* e houver mais recurso disponível nos elementos intermediário, ele enviará uma mensagem *hard* reservado mais banda. Como nas rede *ad hoc* há muitas mudanças na quantidade e qualidade dos recursos disponíveis, as mensagens *soft* de monitoração podem verificar uma redução na largura de banda disponível e conseqüentemente a reserva de banda para um fluxo de dados pode ser reduzida. Dessa forma, o ASAP faz a reserva de recursos de forma dinâmica durante as transmissões de dados tentando sempre, garantir uma largura de banda dentro do intervalo [MIN,MAX].

O *framework* ASAP foi simulado na ferramenta *Network Simulator 2* (NS-2) (UCB/LBNL/VINT. . . , 1999). O protocolo de roteamento configurado, foi o AODV (PERKINS; ROYER, 1999).

As simulações no NS-2 avaliaram principalmente dois aspectos do *framework* ASAP. Primeiramente, avaliaram o desempenho em relação a adaptação de um fluxo para fornecer QoS de acordo com a qualidade do enlace. Foi criado um cenário pequeno contento 5 nós dispostos em

linha com distância entre eles de 200 metros. As mensagens *soft* de reserva eram enviadas periodicamente a cada 10 segundos. Segundo (XUE; STUEDI; ALONSO, 2003), nos experimentos realizados no cenário descrito, um pequeno percentual do tráfego não teve a QoS reservada garantida. O tempo que o nó leva para reagir às alterações da banda está fortemente relacionado com o intervalo em que as mensagens *soft* são enviadas (XUE; STUEDI; ALONSO, 2003).

O segundo aspecto avaliado foi o desempenho do *framework* ASAP em prover qualidade em diferentes circunstâncias de mobilidade. Os testes foram realizados tendo o seguinte cenário: 20 nós móveis, movendo em uma área de 600 x 600 metros como velocidade variando entre 10 km/h a 100 km/h; doze fluxos de dados de 16 Kbps gerados por 12 nós distintos; mensagens *soft* enviadas em intervalos de 1 segundo; alcance do rádio máximo de 250 metros. Os resultados das simulações, segundo os autores, indicam que no pior caso 2% dos pacotes foram descartados por falta de recursos e apenas 10% tiveram a QoS degradada, não alcançando a largura de banda reservada.

Os resultados apresentados pelos autores não são suficiente para avaliar se a QoS desejadas pelas aplicações foi realmente atendida. Uma vez que métricas como atraso e *jitter* não foram consideradas. Não fica claro também qual é o percentual de perda de pacotes durante as transmissões. O cenário simulado é consideravelmente pequeno ao se tratar de uma rede *Ad hoc* e pode não refletir desempenho do ASAP em uma rede real. As simulações da solução Mandarin são feitas em 3 cenários diferentes com 150, 300 e 570 nós respectivamente formando RMSF. O desempenho da RMSF é mensurado com base nas métricas de atraso, *jitter*, perda de pacotes, consumo de energia, taxa de transmissão e vazão efetiva que proporciona um avaliação mais realista da solução Mandarin.

As soluções Mandarin e ASP são semelhantes no que diz respeito a forma como as mensagens para sinalização ou negociação são transmitidas na rede. Ambas soluções enviam as mensagens juntamente com o fluxo de dados para realizar a reserva de banda e fora do fluxo de dados para avisar sobre a ocorrência de erros de reserva, perda de conectividade, finalização de serviço, etc.

3.3 DSNP

O *Dynamic Service Negotiation Protocol* (DSNP) é um protocolo para negociação automática de SLS (*Service Level Specification*) inter-redes para dispositivos móveis proposto por Chen et al. (CHEN et al., 2006).

Segundo os autores, a motivação para a negociação inter-redes vem da necessidade da con-

tratação de um novo serviço quando um usuário móvel acessa uma rede cujo o seu atual provedor não possui contrato com o novo domínio ou o usuário não possui um provedor. Mesmo que haja um acordo entre os domínios, o novo provedor de serviços pode negociar alguns parâmetros do contrato com o antigo provedor. A negociação é motivada pelos seguintes fatos: (i) o usuário poder escolher dispositivos diferentes, em tempos diferentes, ao acessar a rede; (ii) dispositivos diferentes podem necessitar de recursos de rede diferentes; (iii) outro fato é que o usuário pode navegar por redes com enlaces diferentes, por exemplo, de Bluetooth para IEEE 802.11 e os recursos disponíveis em uma podem não estar na outra; (iv) devido a mobilidade dos usuários, em eventos especiais em uma cidade por exemplo, a quantidade de recursos na rede pode ser inferior a quantidade demandada e uma renegociação de serviços deve ser feita junto aos usuários.

No artigo (CHEN et al., 2006) os autores afirmam que o DSNP pode ser funcionar em diferentes arquitetura para provisão de serviços, sendo independente da arquitetura da rede e da maneira como os recursos são reservados e provisionados. Podendo, a princípio, funcionar para as redes em malha sem fio. Porém, não é possível prever o comportamento do DSNP sobre as RMSF já que os testes foram realizados sobre a arquitetura de serviços diferenciados (DiffServ) e a arquitetura de QoS *Internet Technologies Supporting Universal Mobile Operation* (ITSUMO) (ITSUMOGROUP, 2000). Na arquitetura ITSUMO os elementos de rede que desejam consumir um serviço devem enviar uma mensagem contendo um SLS que descreve o serviço para o *QoS Global Server*(QGS) ou o *QoS Local Nodes* (QLN). O QGS tem informações globais sobre os recursos disponíveis em todo o domínio, enquanto, o QLN possui informações locais sobre os recursos de um domínio. O elemento de rede que hospeda um QGS realiza as negociações de QoS e a sinalização entre os usuários móveis e, faz o controle da rede. Os QLNs são hospedados em roteadores de borda e não participam da negociação e sinalização entre os usuários móveis. QLNs, visam garantir os recursos negociados pelo QGSs.

Nos experimentos realizados foram utilizados laptops, estações base e roteadores. No artigo não é informado quantidade destes dispositivos na rede, mas a enlace de todos é o protocolo IEEE 802.11. No primeiro experimento, os laptops executam uma aplicação de videoconferência (tempo real) e negociam com o QGS, usando o DSNP, uma taxa de transmissão de vídeo a 200 Kbps. Uma vez admitido o fluxo a 200 Kbps os nós se movem para uma outra estação base e uma nova negociação é feita passando a taxa de transmissão de 200 Kbps para 100 Kbps. Novamente os nós se movem para a primeira estação base e fluxo é restabelecido a 200 Kbps. Os resultados mostram que a arquitetura ITSUMO e o DSNP conseguem garantir a vazão de 200 Kbps e 100 Kbps nas estações base, mas quando ocorre a mudança de estação a taxa de transmissão caia. Isso ocorre, porque a transmissão dos pacotes da videoconferência é inter-

rompida quando ocorre a troca de estação base.

No segundo experimento, no lugar de uma aplicação de tempo real, são gerados três tipos de tráfego. Inicialmente, um serviço de taxa de bits disponível, usa toda largura de banda de 1.2 Mbps. O segundo tráfego requisita uma largura de banda de 600 Kbps reduzindo a taxa do primeiro tráfego, assim como o terceiro que requisita 200 Kbps. Assim que os serviços que geram os tráfegos dois e três finalizam, o serviço de taxa de bits disponível recupera sua taxa de transmissão inicial.

Os autores não entram em detalhes sobre os experimentos realizados. Dados como (*jitter*) e atraso na entrega dos pacotes não são informados e, para aplicações em tempo real são importantes. Em relação às requisições de serviços, são solicitadas informações estatísticas da rede sobre perdas de pacotes, atraso médio e vazão. Essas solicitações são incluídas dentro do SLS, mas os autores também não deixam claro como são descritos os SLSs.

Nenhuma comparação do DSNP é realizada com outros protocolos de provisão de QoS como RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*) ou RNAP (*Resource Negotiation And Pricing Protocol*)(WANG; SCHULZRINNE, 1999) como é feito neste trabalho. E diferente da solução Mandarin que visa garantir QoS intra e inter-rede, DSNP considera apenas a comunicação inter-redes no processo de provisão de QoS. Outro ponto que difere do presente trabalho, é que o DSNP não ajusta dinamicamente os parâmetros de QoS definidos pelos serviços das redes. E na solução Mandarin esse ajuste é realizado pelos agentes autônomos dinamicamente.

3.4 RSVP

O Resource ReSerVation Protocol (RSVP) (BRADEN et al., 1997) proposto pela IETF (*Internet Engineering Task Force*) é um protocolo para a arquitetura de serviços integrados (InterServ).

A Arquitetura de Serviços Integrados (IntServ) (BRADEN; CLARK; SHENKER, 1994) estende a arquitetura de melhor esforço¹ para fornecer novos serviços. O foco principal da IntServ são as aplicações de tempo real, que requerem rígidas garantias de QoS para o seu bom funcionamento. Para isso, foram propostas duas novas classes de serviços, além do serviço de melhor esforço existente. A classe de serviço garantido, para aplicações que não aceitam variações no atraso fim a fim e a classe de serviço de carga controlada, para aplicações que

¹O protocolo IP presta um serviço de melhor esforço, ou seja, faz o seu melhor esforço para transportar um pacote da origem ao destino o mais rápido possível. Contudo, o serviço de melhor esforço não garante QoS para as aplicações.

toleram variações no atraso fim a fim. Na IntServ é realizada reserva de recursos e controle de admissão. O RSVP prevê reserva de recursos estática ou dinâmica (BRADEN; CLARK; SHENKER, 1994; BRADEN et al., 1997). Por trabalhar sempre com reserva de recursos, o IntServ tem baixa escalabilidade pois, é necessário manter recursos reservados em todos os roteadores e um grande número de mensagens são trocadas para reserva de recursos usando o RSVP.

Essencialmente o RSVP reserva uma quantidade específica de largura de banda ao longo de toda rota que o fluxo de dados de uma aplicação passa. Isso faz com que todos os pacotes obrigatoriamente passem pelo mesmo caminho, criando uma comunicação por circuito. O protocolo RSVP definido em (BRADEN et al., 1997) não especifica como a rede fornece largura de banda reservada aos fluxos de dados e, os mecanismos de controle de admissão que permitem prover a largura de banda devem ser definidos pelos administradores das redes.

Mediante à troca de mensagens, o protocolo toma uma série de decisões, como por exemplo, aceitar ou não um novo fluxo, criando um ambiente para que os recursos sejam reservados. A solicitação de recursos é feita em um único sentido, do nó da rede que solicita o serviço (transmissor) para o nó de destino (receptor). Caberá ao receptor a responsabilidade em requisitar uma QoS específica. As mensagens RSVP fundamentais são RESV² e PATH³ (BRADEN et al., 1997).

A mensagem PATH, enviada pelo transmissor, é propagada pela rota até o receptor. A mensagem contém uma especificação do fluxo que será transmitido. Cada elemento que recebe a mensagem ao longo da rota analisa a especificação do fluxo e caso seja possível atender à solicitação especificada propaga a mensagem para o próximo elemento da rota (BRADEN et al., 1997). Basicamente, usando o RSVP, os elementos verificam apenas se possuem largura de banda suficiente para atender a requisição. Caso não tenha, o elemento pode reduzir a quantidade solicitada e propagar a mensagem ou enviar uma mensagem de erro para o nó transmissor.

A mensagem RESV, é enviada pelo receptor na direção inversa da mensagem PATH. A mensagem contém a quantidade exata de largura de banda que deve ser reservada em cada elemento ao longo da rota. Dessa forma, é definindo o nível de QoS aceito pelo receptor em função da solicitada na mensagem PATH (BRADEN et al., 1997). Assim, o transmissor pode ter solicitado 4 Mbps para um videoconferência funcionando a 30 quadros/s e ser reservado apenas 500 Kbps para funcionar a 15 quadros/s, por exemplo. Vale ressaltar, que cabe a aplicação se

²Cada nó requisitante envia seu pedido de reserva RSVP como uma mensagem Resv em direção dos nós retransmissores.

³Cada nó retransmissor que esta utilizando o RSVP envia periodicamente mensagens de caminho (Path) na rede.

adaptar ao recurso reservado pela mensagem RESV ou não estabelecer a comunicação. Periodicamente, a aplicação envia uma mensagem de controle para manter ativa a reserva ao longo da rota, caso contrário, a reserva é cancelada.

O RSVP faz reservas de recursos tanto para *unicast* quanto para aplicações *multicast*, adaptando-se dinamicamente com as mudanças no grupo de usuários assim como as mudanças de rotas. As reservas em *multicast* são usadas quando múltiplas fontes não podem, ou não precisam, transmitir simultaneamente. Áudio é um exemplo, uma vez que um número limitado de pessoas fala ao mesmo tempo.

O RSVP proporciona uma arquitetura para aplicações que necessitem de reservas seguras de recursos para um dado serviço, fazendo uma reserva fim-a-fim. As funções de reservas e roteamento são desacopladas do protocolo, permitindo que o RSVP seja implementado no topo de qualquer protocolo de roteamento. Por essas características, alguns trabalhos estendem o RSVP propondo soluções para problemas específicos, envolvendo a provisão de QoS em ambientes móveis sem fio.

Dentre esses trabalhos, alguns tratam do intervalo de QoS para ajustar os parâmetros que definem a qualidade, mediante flutuações na disponibilidade dos recursos como em Choi et. al (CHOI, 1999). Outros, focam em garantir QoS em ambientes móveis (*Mobile IP*), Belhoul et. al (BELHOUL; SEKERCIOGLU; MANI, 2006) e fazer reservar para aplicações de tempo real em redes sem fio heterogêneas, Wang et. al (WANGA; JIANGB; HUANGC, 2007).

Essa dissertação implementa a versão 1 do RSVP proposta por Braden et. al (BRADEN et al., 1997) para reservar recursos nas redes em malha sem fio. A implementação tem por objetivo possibilitar uma análise quantitativa da solução Mandarin em relação ao RSVP.

3.5 Comentários Finais

Este capítulo apresentou alguns trabalhos relacionados a esta dissertação. Em especial os protocolos MARIA, RSVP, DSNP e ASAP. Estes protocolos, diferem da solução Mandarin em vários aspectos. Dentre eles, o fato destes protocolos realizarem reservas de recursos considerando somente um requisito de QoS, a largura de banda. Outros requisitos como perda de pacotes, atraso, *jitter*, por exemplo, não são considerados e são determinantes para alcançar uma boa qualidade de serviço. Estes requisitos, em geral, podem ser negociados pelo usuário (aplicação) com as redes que prestam o serviço e assim, ajustados para uma melhor alocação dos recursos da rede. Este ajuste é feito pelos agentes autônomos presentes na solução Mandarin ao realizar uma negociação de serviço. A solução Mandarin é especificada no capítulo 4

seguinte.

4 MANDARIM

Este capítulo descreve os principais itens que devem ser considerados para implementação da solução Mandarin proposta neste trabalho e seus principais componentes. A solução foi dividida em cinco camadas: (i) Provisão de Serviço, responsável pela comunicação entre os nós da rede e especificação dos serviços; (ii) Negociação de Serviço, atribui valores aos itens dos arranjos de critérios e negocia os mesmos usando os agentes autônomos; (iii) Regras de Negócio, define as regras necessárias para provisão de serviços; (iv) Touchpoint, é uma interface genérica para obter informações e configurar os diferentes tipos de elemento de rede; (v) Tarefas Automatizadas, implementa funções específicas para o elemento de rede e monitora o mesmo.

Nas redes em malha sem fio alguns nós ou redes podem não cooperar¹ no roteamento de mensagens ou não estar dispostos a prover serviços a outros. Isso é justificado com a possibilidade de ter uma degradação da largura de banda e aumento no consumo de energia dos nós, no atraso fim-a-fim das comunicações e na perda de pacotes, entre outros problemas ao prover serviços (LIU; THIRAN; TOWSLEY, 2007; WANG; SADJADPOUR; GARCIA-LUNA-ACEVES, 2008). Para evitar estes problemas, o melhor é não cooperar, mas tal atitude não corresponde ao conceito de rede de computadores - “uma rede de computadores consiste de 2 ou mais computadores e outros dispositivos conectados entre si de modo a poderem compartilhar seus serviços” (TANENBAUM, 2002). A Internet, por exemplo, só existe graças a usuários, instituições públicas e privadas que cooperam com outros compartilhando seus recursos. Assim, a cooperação dos nós e redes é essencial para formação de uma rede de computadores como a RMSF.

Os nós e redes não podem prover serviços de forma indiscriminada a fim de evitar uma sobrecarga de seus recursos. Devem então, existir critérios bem definidos para decidir:

- Quais serviços serão providos ou consumidos?
- Para quais redes ou nós será provisionado ou consumido os serviços requisitados?

¹Neste trabalho o termo cooperar é empregado para designar o ato de um nó ou rede retransmitir pacotes e provisionar serviços a outros.

Essas duas questões norteará o desenvolvimento da solução Mandarin e para respondê-las é necessário conhecer os requisitos de QoS (largura de banda desejada, *jitter*, atraso e perda de pacote tolerável) dos serviços que podem diferir de aplicação para aplicação. Ao respondê-las é possível alocar recursos da rede como: largura de banda, *buffer* e processamento que permita manter a QoS solicitada pelas aplicações. A alocação adequada destes recursos, minimiza o desperdício dos mesmos e pode levar a um melhor funcionamento da rede e aumentar a qualidade dos serviços providos.

4.1 Arquitetura de QoS

Nesta seção, é apresentado a arquitetura proposto para provisão e negociação de serviços, que possibilita a reserva e a negociação do recursos dos nós de uma rede em malha sem fio pelos os agentes autônomos definidos anteriormente.

A arquitetura foi elaborada em camadas, o que permite discutir uma parcela específica e bem definida do processo de provisão e negociação de serviços e facilita a atualização dos seus componentes. Cada camada interage com a camada subjacentes trocando mensagens entre si.

A divisão em camadas ainda permite que uma ou mais camadas estejam armazenadas em nós diferentes. Por exemplo, em uma rede PAN, os seus nós podem implementar apenas as camadas de Tarefas Automatizadas e Touchpoint devido a limitações de hardware enquanto o ponto de acesso implementa todas. A arquitetura é então estruturado nas seguinte camadas: Provisão de Serviços, Negociação de Serviços, Regras de Negócio, Touchpoint, Tarefas Automatizadas, conforme ilustrado na Figura 4.1.

Na Figura 4.1 (baseada em (IBM, 2005)) a negociação entre as redes *Ethernet* e *Ad hoc* e redes *Ad hoc* e PAN é feita de forma bilateral pelos agentes autônomos que estão presentes na camada de Negociação de Serviços. A rede *Ethernet* e PAN, usam um ambiente de negociação centralizado, representado pelo *Market Place Web Service* na figura, para registrar os serviços que as mesmas provem e negociá-los de forma hierárquica com outras redes. A arquitetura aqui proposto para solução Mandarin permite a uma determinada rede usar os modelos de negociação bilateral e hierárquico ao mesmo tempo se necessário. Isso é importante, uma vez que algumas redes podem não alcançar diretamente o *Market Place Web Service*, sendo necessário uma negociação bilateral com as redes próximas para conseguir rota para seus fluxos de dados.

A camada de provisão de serviço implementa as etapas para provisão e consumo de serviços descritas na Seção 4.2 e é responsável pelas seguintes tarefas: (i) Disponibilizar informações sobre os serviços providos por uma rede ou nó; (ii) Procurar e ofertar serviços no *Market Place*

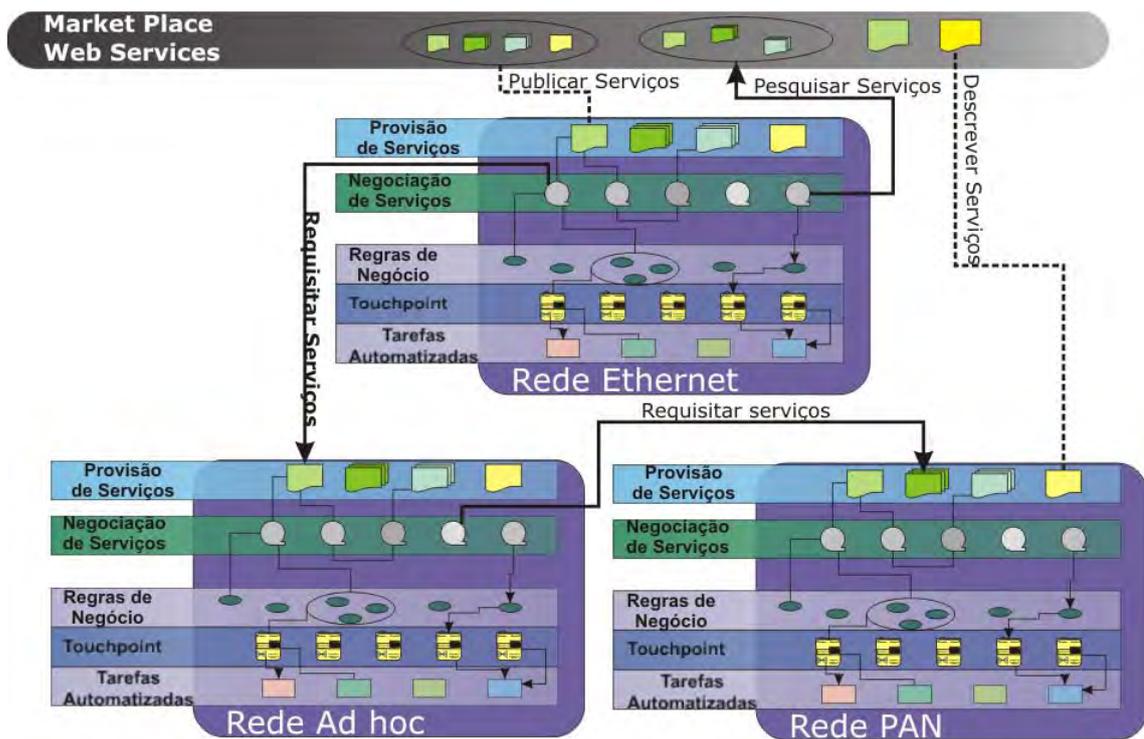


Figura 4.1: Arquitetura para Provisão e Negociação de Serviços.

Web Services (Seção 4.1.4); (iii) Enviar os arranjos de critérios com a especificação do fluxo de dados; (iv) Servir de interface para comunicação entre os agentes autônomos (Seção 4.4) que negociam as relações de provisão e consumo de um serviços; (v) Reservar recursos para os fluxos negociados pelos agentes autônomos.

A negociação de serviço realizada pelos agentes deve estar em conformidade com as políticas definidas na camada *Regras de Negócio*. Por exemplo, um agente pode consumir um serviço de processamento de dados se o custo desse não for superior ao definido nas políticas da camada *Regras de Negócio* ou pode assumir um fluxo de dados caso exista banda suficiente. Quando tais políticas sofrem modificações, seja por intervenção humana ou por mecanismos de auto-adaptação do sistema, a camada *Regras de Negócio* deve notificá-las aos agentes autônomos. Em qualquer momento, os agentes autônomos pode enviar requisição/resposta para todas as camadas, se necessário.

As mudanças no estado da rede ou elemento são monitoradas pela camada de *Touchpoint* que as notifica aos agentes. Toda variação no estado do sistema deve ser confrontada com as políticas definidas na camada *Regras de Negócios* durante o processo de negociação de um serviço. A observação do comportamento de outros agentes, neste trabalho, só ocorre no *Market Place Web Services* pois, trata-se de um ambiente centralizado onde ocorre livre negociação de serviços e todos os agentes as vêem.

As próximas subseções descrevem a camada de Regras de Negócio, *Touchpoint* e Tarefas Automatizadas.

4.1.1 Regras de Negócio

Nesta camada são especificadas as principais regras para provisão e consumo de um serviço. É definido um conjunto inicial de políticas que caracterizam os objetivos da rede e/ou nó para dar consistência e validar as ações dos agentes autônomos. Este conjunto deve ser definido manualmente pelos usuários ou gerentes das redes.

Políticas são regras que definem o comportamento da rede e seus elementos, descrevem ainda uma ou mais ações que ocorrem quando uma ou mais condições são satisfeitas. Em geral, as políticas envolvem considerações políticas, econômicas e de segurança. Alguns exemplos de restrições para provisão de serviço que pode ser implementadas são:

1. Nenhum tráfego de voz pode passar pelos gateways sem fio.
2. Não usar as redes *ad hoc* para tráfego de dados confidenciais.
3. O tráfego da rede PAN deve passar pela rede de celular para alcançar a *Internet*.
4. Não aceitar fluxos de dados com alta sensibilidade a atraso.
5. Definir um valor monetário para provisão e consumo de serviços.

A maioria das políticas a serem implementadas pela solução Mandarin são de características técnicas como:

1. Largura de banda disponível para um determinado serviço.
2. Tipos de dispositivos suportados pela rede.
3. Definição de filas de prioridade.
4. Utilização de buffers e ciclos de processamento.
5. Atraso máximo aceitável e sensibilidade à variação no *jitter*.

Tais políticas técnicas, são definidas pelo tipo serviço, a ser provido ou consumido, dentro do arranjo de critérios.

Uma regra de política pode conter outras regras, assim como uma política pode conter outras políticas criando uma hierarquia. Políticas complexas podem ser construídas a partir de um conjunto de políticas mais simples.

Entre as políticas que devem ser definidas nesta camada, no contexto deste trabalho, está a definição dos parâmetros para descrição dos fluxos de dados e critérios para negociação de serviços.

Neste trabalho, as políticas são configuradas manualmente em cada nó da rede, mas algumas políticas podem ser alteradas dinamicamente para adaptar-se ao estado atual da rede, por exemplo: em tempos de baixo uso da rede, pode-se aumentar a largura de banda disponível para um determinado serviço ou o número de requisições simultâneas para o mesmo. Assim, políticas com valores numéricos ou lógicos atribuídos, podem ser alteradas dinamicamente pelos agentes autônomos. Permitindo uma maior flexibilidade na negociação de serviços.

4.1.2 Touchpoint

Para que as demais camadas acessem informações sobre os recursos de um nó ou rede é necessário definir uma interface padrão para acesso e controle destes recursos. Isso é necessário, em especial nas redes em malhas sem fio, devido à grande variedade tecnológica de dispositivos presentes nestas redes.

A camada *touchpoint* define essa interface padrão virtualizando o acesso às tarefas automatizadas para que as demais camadas trabalhem independentemente da plataforma de hardware e software. Assim, é sua responsabilidade tratar os dados fornecidos pelas tarefas automatizadas, gerando informações relevantes para as demais camadas e disponibilizando o estado operacional do nó de rede a ele relacionado.

Dentre os dados que podem ser fornecidos pelo *touchpoint*, temos: a energia residual do nó, o estado operacional do processador ou do transceptor, o intervalo de disseminação de dados, a potência de transmissão e sobretudo dados relacionados às métricas de QoS. Além de fornecer dados, o *touchpoint* deve permitir a alteração da configuração dos nós de redes quando requisitado pelos agentes autônomos ou uma camada superior. A alteração das configurações são realizadas pelas tarefas de configuração da camada tarefas automatizadas.

O *touchpoint* deve implementar o comportamento sensor e atuador para o gerenciamento dos recursos do nó de rede (IBM, 2005). A interface sensor permite aos agentes autônomos e demais camadas obter informações do *touchpoint*, usando as operações *request-response* e *send-notification*. A interface atuador permite alteração do estado operacional do nó. Estes

comandos são descritos a seguir.

Request-Response: o *touchpoint* deve responder às requisições dos agentes autônomos e demais camadas quando solicitado (abordagem sob-demanda).

Send-Notification: o *touchpoint* deve enviar notificações quando do acontecimento de determinados eventos, como por exemplo quando o estado operacional do elemento de rede muda de sobrecarregado para ocioso (abordagem dirigida em eventos).

Perform-Operation: o *touchpoint* deve realizar operações para alterar a configurações dos elementos de rede.

Solicit-Response: o *touchpoint* solicita informações aos agentes autônomos e demais camadas, como por exemplo métricas para a definição de eventos a serem notificados.

Neste trabalho, o *touchpoint* pode realizar funções de análise dos dados e armazenar informações sobre detalhes do nó, tais como identificação, métricas, tipo de dispositivo, configurações e estado.

Descritor de Funções e Hardware

O Descritor de Funções e Hardware cria um documento que descreve as funções que o *touchpoint* suporta e os *hardware* que estão sob seu controle. Quando uma camada quer enviar uma mensagem para o *touchpoint*, ela obtém este documento e em seguida constrói a mensagem, passando os dados de acordo com a definição encontrada no mesmo.

Ao receber a mensagem o *touchpoint* a valida, processa e monta uma resposta, caso necessário, para a camada que enviou a mensagem. Abaixo um exemplo de um documento em XML que descreve um *touchpoint*.

Exemplo 4.1: Este é um exemplo de documento escrito em XML para descrever um TouchPoint.

```

= ‘ ‘TouchPointDescribe ’ ’ >
2   <type >
      <xsd:complexType name = ‘ ‘ResumoDadosColetados ’ ’ >
4       <xsd:all >
          <xsd:element name = ‘ ‘numMsgRecebidas ’ ’ type =
6           ‘ ‘xsd:int ’ ’ >
          <xsd:element name = ‘ ‘numMsgTransmitidas ’ ’ type =
8           ‘ ‘xsd:int ’ ’ >
          </xsd:all >
10      <xsd:complexType >

```

```
12     <xsd:complexType name = ‘‘DescricaoHardware’’>
13         <xsd:all>
14             <xsd:element name = ‘‘capArmazenamento’’ type =
15                 ‘‘xsd:string’’>
16             <xsd:element name = ‘‘capProcessamento’’ type =
17                 ‘‘xsd:string’’>
18             <xsd:element name = ‘‘quatMemoria’’ type =
19                 ‘‘xsd:string’’>
20         <xsd:all>
21     </type>
22 <message name = ‘‘getResumoDadosColetados’’>
23     <par name = ‘‘intervaloInicial’’ type = ‘‘xsd:double’’>
24     <par name = ‘‘intervaloFinal’’ type = ‘‘xsd:double’’>
25 </message>
26 <message name = ‘‘getResumoDadosColetadosResponse’’>
27     <par name = ‘‘return’’ type = ‘‘typens:ResumoDadosColetados’’>
28 </message>
29 <message name = ‘‘alterarRotaDestino’’>
30     <par name = ‘‘ipDestino’’ type = ‘‘xsd:string’’>
31 </message>
32 <message name = ‘‘aumentarPotenciaTransmissao’’>
33     <par name = ‘‘db’’ type = ‘‘xsd:double’’>
34 </message>
</definitions>
```

Mecanismos de Controle e Análise de Dados

Os Mecanismos de Controle, conjunto de funções que geram registros com informações sobre a operação do sistema, permitem o ajuste de parâmetros de *software* e *hardware* de cada elemento. Funções que alteram o tempo de coleta de dados, a largura de banda disponível para um serviço e a geração de eventos de notificação de mudanças no nó da rede são exemplos de mecanismos de controle. As informações contidas nos registros gerados pelos mecanismos de controle são analisadas, sumarizadas e disponibilizadas para as demais camadas da solução Mandarin.

Diferentes mecanismos de controle são definidos para diferentes nós de rede levando em consideração restrições de hardware como capacidade de processamento, armazenamento e consumo de energia.

O processo de análise dos dados é a atividade pela qual ruídos, dados estranhos ou inconsistentes (dados incompletos, repetição de tuplas, problemas de tipagem) são tratados. Existem

vários métodos e algoritmos, variando conforme a necessidade e objetivos de cada aplicação e nó de rede para realizar este tratamento. Os métodos abordados na literatura podem ser agrupados em três classes: técnicas matemáticas, técnicas estatísticas e algoritmos mistos.

Neste trabalho, os dados que são obtidos na camada tarefas automatizadas são tratados por algoritmos que removem dados desnecessários, limpando a base de dados. Feita a limpeza, são empregadas sobre os dados técnicas estatísticas como cálculo de média aritmética, variância e desvio padrão. Os agentes autônomos e as demais camadas não têm acesso a todo conjunto de dados e sim aos valores obtidos pelas técnicas estatísticas. Isso reduz o processamento necessário para um agente autônomo negociar serviços e o número de dados trafegados entre as camadas.

4.1.3 Tarefas Automatizadas

Para que um nó tenha um menor número ou nenhuma intervenção humana para garantir o seu funcionamento, é necessário automatizar as tarefas básicas do mesmo. Esta camada tem por objetivo definir um conjunto de tarefas que devem ser automatizadas para ajustar o elemento de rede, o sistema e ou a própria rede; e fornecer dados sobre o estado atual dos mesmos às demais camadas desta solução. O acesso às funcionalidades desta camada é realizado por intermédio da camada de *touchpoint*, como descrito na seção anterior.

Os elementos que formam uma rede podem ter características distintas dependendo do fabricante, da funcionalidade e do hardware e software que o compõe. Com a diversidade de elementos de rede, uma tarefa automatizada pode existir ou não no elemento e, caso exista, ter implementações diferentes. As tarefas automatizadas podem ser agrupadas nas seguintes classes: tarefas de monitoração, tarefas de configuração, manutenção, controle e gerenciamento.

As tarefas de monitoração são essenciais para fornecer informações sobre o estado atual dos nós e redes. Essas informações servem aos agentes autônomos no processo de negociação e provisão de serviços. Dentre as tarefas comuns, podemos citar a monitoração de:

- Energia: todos os elementos de redes precisam de uma fonte de energia para funcionar. Para elementos de redes sem fio, este é um recurso crítico e tarefas que controlam o seu uso e informam a quantidade de energia residual são essenciais. Para a negociação de serviços, conhecer a energia residual e consumo da mesma para transmissão e recepção de mensagens é importante no processo de decisão entre aceitar ou não um novo fluxo de dados.

- Perda de mensagens: o percentual de perda de mensagens enviadas pelo elemento pode identificar problemas na rede como congestionamento ou falhas de hardware.
- Atraso e *jitter*: conhecer o atraso médio dos pacotes enviados e recebidos e a variação destes é fundamental para verificar a qualidade dos dados. Para aplicações com alta sensibilidade ao atraso como VoIP, pacotes com atraso fora da margem tolerável podem ser descartados. Estas informações podem auxiliar um agente autônomo no processo de negociação de serviços pois este poderá dar prioridade a serviços com baixa sensibilidade ao atraso em relação a serviços com alta sensibilidade.
- Vazão: cada elemento de rede deve conhecer a utilização da seu enlace para decidir entre assumir ou não um novo fluxo de dados.

As tarefas de configuração devem ajustar o nó ou a rede para que possam consumir e prover os serviços negociados pelos agentes autônomos. As configurações podem ser em níveis de *software* ou *hardware* caso o mesmo permita, como por exemplo:

- Rádio: alguns elementos de rede possuem rádio de comunicação passível de configuração. Assim, é possível ajustar a potência de transmissão ou a sensibilidade de recepção. Em redes com topologia dinâmica, o ajuste da potência de transmissão permite manter a conexão entre os elementos da rede ou reduzir problemas de colisão de pacotes.
- Taxa de transmissão: cada aplicação possui requisitos distintos em relação à taxa de transmissão. Para algumas aplicações, a taxa de transmissão pode ser variável (como FTP), enquanto outras são regidas quanto a variação (como videoconferência). Os elementos de rede devem então, ajustar a taxa de transmissão para cada aplicação ativa.
- Rota: mudanças de rotas são constantes em RMSF e podem ser causadas por um novo processo de negociação de serviços ou ocasionadas por falhas em elementos de rede. O ajuste de rota é essencial, pois a rota define o caminho por onde os pacotes de um fluxo de dados vão passar.

As tarefas de manutenção não são abordadas neste trabalho, mas estão relacionada à tarefas como *backups* do sistema, limpeza de logs, atualização de software, entre outros. As tarefas de controle e gerenciamento como controle de admissão e gerenciamento de níveis de serviços são realizadas pela camada de provisão e negociação de serviços.

4.1.4 *Market Place Web Services*

O *Market Place Web Services* (MPWS) é um ambiente virtual que centraliza toda a negociação de serviços e todas as redes que participam do mesmo tem acesso simétrico às trocas de informações dentro deste ambiente. Os eventos nele ocorridos ajudam a formar a estratégia de atuação dos agentes. Por exemplo, em tempos de baixo uso da largura de banda nas redes em malhas sem fio, os agentes podem usar essa informação para negociar serviços multimídias inter-redes a um custo menor.

É permitindo publicar a descrição dos serviços que as redes provêem neste ambiente facilitando, a descoberta dos mesmos por nós de outras redes. Assim, quando uma rede necessitar de um serviço, esta submete uma requisição ao MPWS, que retorna todos o serviços publicados que atendem à sua solicitação.

4.2 Etapas para provisão e consumo de serviço

Nesta seção são especificadas as etapas necessárias para realizar a provisão e consumo de serviços, que podem ser agrupadas em quatro: (i) Especificação do Serviço, (ii) Registro do Serviço, (iii) Negociação de Serviço e (iv) Operação do Serviço.

Na primeira etapa são especificados o escopo, o fluxo de dados e as métricas para provisão do serviço. Essa especificação é importante para inicializar a etapa de negociação do serviço, onde serão decididas as relações de consumo do mesmo. A etapa de operação do serviço é subdividida em cinco fases que têm como objetivo garantir a operação e qualidade do serviço provido ou consumido. A etapa de registro do serviço é realizada apenas pelos provedores de serviços e tem como objetivo descrever e publicar os serviços providos pela rede ou nó. Na etapa de Negociação de Serviço, é utilizado os agentes autônomos descritos na Seção 4.4, sendo que a negociação pode ser feita bilateralmente ou hierarquicamente.

Na negociação bilateral, para o provisionamento de um serviço envolvendo várias redes, é necessário que uma rede negocie com a rede vizinha que por sua vez também negocia com o seu vizinho e assim por diante, até chegar à rede de destino. As redes participantes na provisão do serviço podem atuar tanto como consumidoras quanto provedoras de serviço e a negociação ocorre com a troca de mensagens entre os agentes autônomos dos roteadores de bordas das redes.

Na negociação hierárquica o processo de negociação é centralizado. Redes ou nós provedores e consumidores trocam mensagens dentro dentro de um ambiente de negociação centralizado

para decidirem a relação de consumo do serviço. Cabe ao consumidor escolher todas as redes pelas quais o seu fluxo de dados irá trafegar, estabelecendo uma rota.

As etapas para provisão de serviços na visão do provedor são ilustradas e detalhadas na Figura 4.2 e na visão do consumidor na Figura 4.3. Nas próximas subseções, as etapas são descritas e detalhadas.

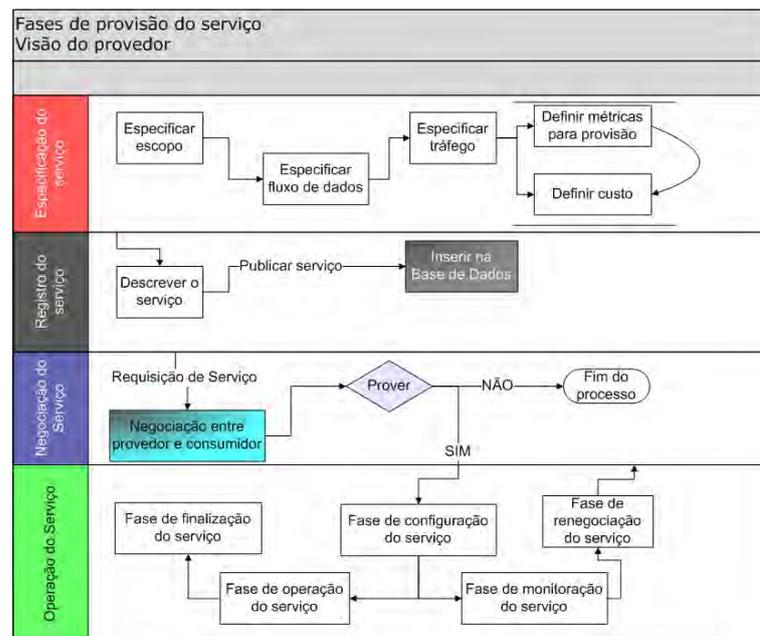


Figura 4.2: Etapas para provisionamento de serviços usando o Mandarin.

4.2.1 Especificação dos Serviços

Os serviços devem ser especificados de tal forma a conter informações comerciais, como as responsabilidades dos provedores e consumidores, e especificações técnicas de qualidade de serviços, como largura de banda requisitada pelo serviço (ERL, 2007; ERL et al., 2008). Em geral, a especificação varia de acordo com a natureza dos serviços e das características da rede, isto é, deve levar em conta aspectos de configuração, comunicação, performance e segurança, dentre outros. A especificação de um serviço pode ser dividida em quatro fases:

Especificação do escopo: O escopo de um serviço refere-se à topologia ou área geográfica sobre a qual o serviço é provisionado. No Mandarin a definição de escopo é realizada de forma implícita pois, cada fluxo de dado tem um escopo negociado automaticamente pelos agentes autônomos. Isto é feito, no momento da reserva de banda para o fluxo. Assim, se um consumidor pretende consumir um serviço fora do escopo definido, deve ser aberto outro processo de negociação que englobe o novo escopo. Em redes em malha

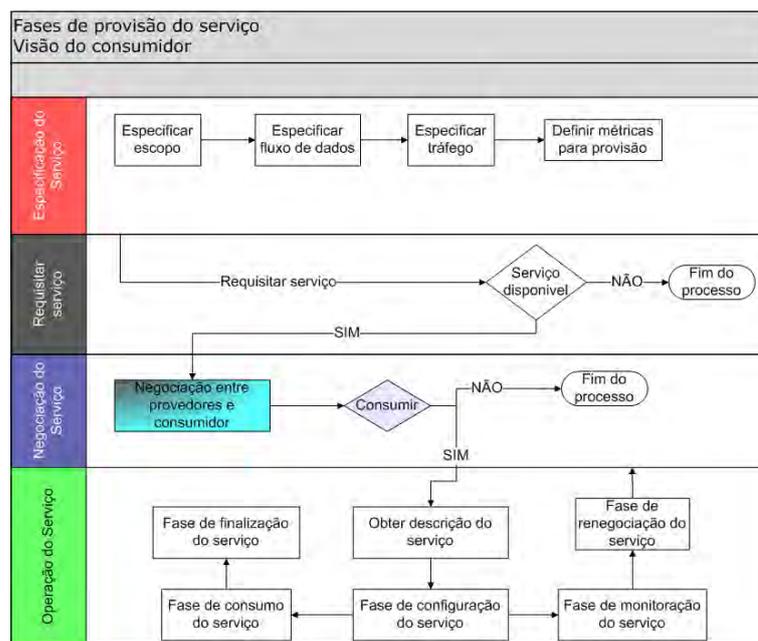


Figura 4.3: Etapas para consumo de serviços usando o Mandarim.

sem fio, o escopo do serviço deve ser definido dinamicamente pois os elementos da rede podem ser móveis migrando de rede ou área geográfica.

Especificação do fluxo: Na solução Mandarim, cada serviço gera um fluxo de dados na rede que deve ser identificado com um ID e especificado se é um flux bi ou unidirecional. Baseado no ID do fluxo, os roteadores classificam os pacotes e os marcam de modo que os pacotes que pertencem ao fluxo associado a sessão tenham garantido os níveis de serviços acordados.

Especificação do tráfego: Nessa fase é descrita a taxa máxima e média de transmissão de pacotes, o tamanho do pacote, o tipo do serviço (Serviço de taxa de bits constante, taxa de bits variável de tempo real ou não-real, taxa de bits disponível).

Definir métricas para provisão: As necessidades de cada fluxo de dados podem ser caracterizadas por quatro métricas principais: confiabilidade, atraso, *jitter* e largura de banda (TANENBAUM, 2002). Usando o Mandarim, cada serviço deve definir valores e pesos para estas métricas. Inicialmente, isso é feito manualmente pelo usuário e pode ser modificado dinamicamente pelos agentes autônomos.

Definir custo: Cada rede define um custo para admitir e rotear um fluxo de dados de outra rede e cada nó pode fazer o mesmo. O custo pode variar conforme o tempo e depende das condições da rede. Pode ser um valor monetário definido manualmente ou ser estimado automaticamente baseado em parâmetros como consumo de energia previsto do fluxo,

duração e prioridade.

Especificado o serviço, o processo de negociação entre provedores e consumidores pode ser inicializado. A negociação é realizada pelos agentes autônomos que periodicamente podem renegociar o consumo/provisão do serviços. A renegociação pode ocorrer quando um dos lados (provedor ou consumidor) não está cumprindo com o acordado, ao término do contrato ou quando há mudança de escopo do serviço.

4.2.2 Registro do Serviços

Quando a negociação é hierárquica, é necessário registrar os serviços providos pelas redes e nós em um ambiente de negociação centralizado onde todos elementos que participam da rede em malha sem fio podem acessar. Tal ambiente, deve definir uma base de registro contendo os serviços que estão sendo ofertados e tão logo o consumidor tenha acesso à base, esse pode obter a especificação do serviço e requisitá-lo, inicializando o processo de negociação. Toda comunicação entre os agentes autônomos para negociação de um serviço, no modo hierárquico, pode correr dentro deste ambiente de negociação.

Na negociação bilateral, não há um ambiente de negociação centralizado. Cada nó da rede tem uma base interna contendo os serviços que são estão dispostos a proverem que pode ser acessada pelos agentes autônomos.

4.2.3 Negociação de Serviços

O processo de negociação é inicializado quando um nó requer algum serviço na rede. O nó especifica o serviço desejado e faz a requisição do mesmo enviando, pelos agentes autônomos, uma *Request Service Message* a uma central de negociação(negociação hierárquica) ou às redes vizinhas e nós que possuem rotas para o destinatário do fluxo de dados (negociação bilateral) a fim de que a mesma seja respondida pelos elementos e/ou redes que podem prover o serviço.

A negociação de serviços é realizada pelos agentes autônomos contidos nos nós da rede em malha sem fio e é descrita na Seção 4.4.

4.2.4 Operação dos Serviços

Esse etapa deve ser realizada pelas redes e nós para atender e monitorar os serviços negociados pelos agentes autônomos. A etapa se divide em cinco fases:

Fase de configuração: Todos os elementos de redes que fazem parte da rota de um fluxo dos serviços negociados pelos agentes autônomos devem se auto-configurar (IBM, 2005) para atender o mesmo. A auto-configuração² dos elementos ocorre somente para adaptarem-se dinamicamente às especificações dos fluxos negociados. As configurações do elemento de rede podem ser em níveis de software ou hardware caso o mesmo permita. Dentre as configurações previstas, está a reserva de recursos para os serviços negociados.

A reserva de recursos pode ser realizada ao longo de toda rota ou apenas em alguns elementos, como os roteadores de bordas. É possível reservar três diferentes tipos de recursos:

1. **Largura de Banda:** Se um fluxo de dados exige 1Mbps e a enlace tem capacidade de 2Mbps, cinquenta por cento da mesma deve ser reservada para o fluxo. Tentar reservar três fluxo de 1Mbps não vai funcionar.
2. **Espaço de buffer:** Quando um pacote chega, em geral ele é depositado na placa de interface de rede pelo próprio hardware. Em seguida, o protocolo de roteamento do elemento de rede tem de copiá-lo para um buffer em RAM e enfileirar esse buffer para transmissão ao proximo hop. Se nenhum buffer estiver disponível, o pacote terá de ser descartado, pois não há lugar para colocá-lo. Para alcançar uma boa qualidade de serviços, alguns buffers podem ser reservados para um fluxo específico, de forma que o fluxo não tenha de competir pelos buffers com outros fluxos (TANENBAUM, 2002).
3. **Ciclos da CPU:** O processamento de um pacote exige tempo da CPU do elemento de rede, e assim um elemento só pode processar um certo número de pacotes por segundo. Reservar alguns ciclos de CPU para um fluxo de dados, resulta em uma redução no atraso dos pacotes.

A reserva de recursos é uma operação realizada a fim de manter a qualidade dos serviços providos pelas redes. É necessário que o transmissor e receptor dos serviços negociados ajustem suas aplicações para trabalharem de acordo com os parâmetros acordados. Por exemplo, se um nó requisitou 1Mbps para uma transmissão de videoconferência para funcionar a 30 quadros/s deve reduzir a quantidade de quadros/s caso tenha sido acordado menos de 1Mbps para o consumo do serviço. A solução Mandarin não implementa e nem especifica algoritmos para realizar tais configurações, as mesmas devem ser suportadas pelas aplicações.

²Não faz parte do escopo deste trabalho abordar a auto-configuração dos elementos de rede para tratar eventos imprevisíveis ou mudanças no ambiente de rede.

Outras configurações como ajuste da potência de transmissão do rádio, definição de rotas, intervalos de disseminação de dados, taxa de transmissão, entre outras configurações para provisão e consumo dos serviços devem ser realizadas nesta fase pelos nós, na cabendo também as mesmas à solução Mandarim.

Fase de monitoração: Esta fase é ortogonal às demais e executa a medição dos parâmetros de QoS negociados para cada serviço, a realimentação dessas informações para as partes interessadas (transmissor ou receptor) e possivelmente uma reação. São extraídas nessa fase dados para verificar se a qualidade dos serviços providos está dentro do acordado pelos agentes autônomos. Os dados coletados nessa fase, permitem decidir sobre a reconfiguração dos serviços, caso haja uma degradação na QoS. A responsabilidade por manter os serviços em pleno funcionamento é do provedor do serviço, independente das redes usadas para transportar o seu fluxo de dados.

Fase de operação: Responsável por manter o serviço operante e usa a fase de configuração para isso. No caso das redes em malha sem fio, pelo dinamismo de sua topologia, essa fase está sempre verificando se a rota do fluxo de dados do serviço negociado ainda está ativa, e caso não esteja, um novo processo de negociação é executado. Além disso, caso o nó de rede para o qual o serviço foi negociado ficar inativo, o serviço é finalizado. A fase de operação e monitoração estão constantemente realimentando a fase de configuração.

Fase de renegociação: É executada se a qualidade do serviço foi reduzida, quando outras redes estão provendo serviços com qualidade superior ou custo menor ou quando há uma mudança na especificação do escopo do serviço. Para renegociação, a etapa de negociação de serviços é reiniciada.

Fase de finalização : A finalização do serviço ocorre quando encerrar o tempo acordado do serviço, uma rota da origem para o destino não poder ser estabelecida ou se o provedor ou consumidor não cumprirem com o parâmetros negociados. O serviço é finalizado enviando uma mensagem *Response Message Erro* (veja Seção 4.4.2) para todos os nós e redes que participam da provisão do serviço ou automaticamente ao fim do tempo negociado para a provisão.

4.3 Modelagem dos Critérios de Decisão

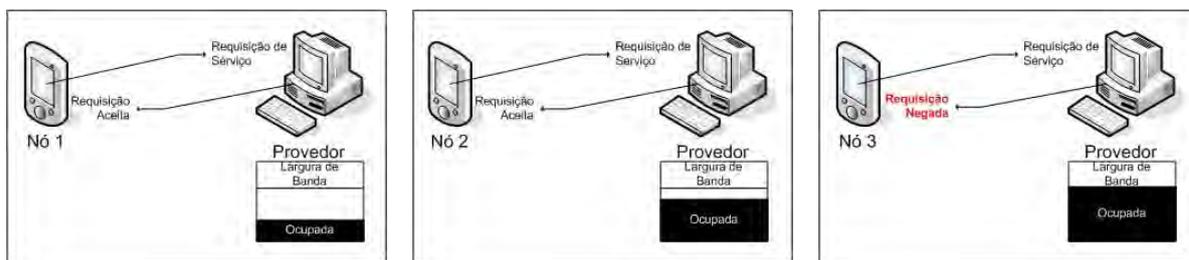
Na introdução do capítulo, foi abordado que as redes e nós que participam de uma rede em malha sem fio (RMFS) podem ter que decidir sobre quais serviços irão prover ou consumir e

para quais redes ou nós será provisionado ou consumido os serviços requisitados. Na literatura o processo de tomada de decisão é baseado em critérios e parâmetros pré-definidos (ANANDA, 2007). Neste trabalho, os critérios e parâmetros para tomada de decisão são definidos com base nos requisitos de QoS e variáveis de configuração de um serviço, podendo ser acrescentados outros critérios como: tipos de dispositivos, duração do serviço, tipo de tráfego.

Quando um serviço de rede é consumido por um nó, por exemplo serviço de telefonia ip (VoIP), é gerado uma seqüência de pacotes chamada fluxo de dados. Serviços diferentes podem gerar fluxo de dados diferentes porém, todo fluxo de dados pode ser caracterizado por quatro parâmetros principais: confiabilidade, atraso, *jitter* e largura de banda. Juntos, “esses parâmetros definem a qualidade de serviços que o fluxo exige” (TANENBAUM, 2002).

A largura de banda solicitada por um serviço (quantos bits/s serão transmitidos) é um requisito de QoS importante e, a princípio, uma rede ou nó não deve assumir um fluxo de dados superior a sua largura de banda nominal (quantos bits/s pode ser transportado). Por exemplo, uma RMSF operando com o protocolo 802.11b tem uma largura de banda nominal de 11 Mbps, logo não pode assumir um fluxo de dados que transmite a uma taxa superior a banda nominal. Caso o faça, pode congestionar a rede e aumentar o número de pacotes perdidos.

Devido aos problemas ocasionados ao assumir um fluxo de dados superior ao suportado, a maioria das soluções que tem por objetivo prover QoS em redes (RSVP (BRADEN et al., 1997; WANGA; JIANGB; HUANGC, 2007), ASAP (XUE; STUEDI; ALONSO, 2003), INSIGNIA (LEE et al., 2000), MARIA (CHENG et al., 2008)), usam a técnica de reserva de largura de banda. Essa técnica permite que cada nó na rota de fluxo de dados aloque parte da largura de banda para o fluxo de dados.



(a) O provedor aceita a requisição do Nó 1 e faz reserva de banda. (b) O provedor aceita a requisição do Nó 2 e faz reserva de banda. (c) O provedor rejeita a requisição do Nó 3.

Figura 4.4: O provedor reserva parte da largura de banda para cada requisição de serviço baseada na QoS desejada pelos nós. Se não houver largura de banda suficiente, a requisição de serviço é negada e o nó não poderá enviar seu fluxo de dados para o provedor.

1 - No Mandarim o processo de tomada de decisão tem como primeiro critério a ser avaliado a existência de largura de banda suficiente para atender ao fluxo de dados

do serviço requisitado. Caso haja, é realizado a reserva de banda.

Apesar da largura de banda ser um requisito de QoS importante, os outros parâmetros QoS podem ser tão importante quanto a mesma dependendo do serviço. Assim, cada serviço pode ter graus de relevância ou rigidez diferentes para seus requisitos de qualidade de serviço, conforme ilustrado na Tabela 4.1 que foi explicada na Seção 2.2.

Serviço	Confiabilidade	Atraso	<i>Jitter</i>	Largura de banda
Correio eletrônico	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Transferência de arquivos	Alta	Baixa	Baixa	Média
Acesso à Internet	Alta	Média	Baixa	Média
Áudio por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Média
Vídeo por demanda	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Telefonia (VoIP)	Baixa	Alta	Alta	Baixa
videoconferência	Baixa	Alta	Alta	Alta

Tabela 4.1: Tabela de rigidez dos requisitos de qualidade de serviço (TANENBAUM, 2002).

Com medições individuais, é possível um nó verificar o atraso médio, o *jitter* e quantidade de pacotes perdidos de um fluxo de dados. Essas medições são úteis para mostrar as condições da rede, podendo detectar congestionamento e colisões, além de monitorar a qualidade dos serviços providos. Os dados obtidos podem definir o atual estado da rede permite, transmitir ou assumir um novo fluxo de dados baseado nos seus requisitos de QoS. Se os pacotes recebidos por determinado nó da rede tem atraso médio de 1 s, este nó terá dificuldade em atender a uma requisição de serviço que tolera atraso máximo de 400 ms, mesmo tendo largura de banda suficiente, e poderá negar a mesma.

2 - Os agentes autônomos do Mandarim levam em consideração no processo de tomada de decisão os requisitos de confiabilidade, atraso e *jitter* não momento de decidir se uma requisição de serviço será atendida.

Além dos parâmetros de QoS apresentados acima (confiabilidade, atraso, *jitter* e largura de banda), pode ser levado em consideração para tomada de decisão os parâmetros de configuração do serviços: tamanho do pacote de dados, quantidade de pacotes enviados por segundo, protocolo de transporte utilizado e direção do fluxo de dados.

Uma redução na quantidade de pacotes transmitidos reduz o *overhead* de interrupções no processador³ do nó receptor (TANENBAUM, 2002). Essa observação sugere a coleta de um

³“Em um processador moderno com pipeline, cada interrupção desfaz o pipeline da CPU, interfere com o cache, exige uma mudança no contexto de gerenciamento de memória e força a gravação de um número substancial de registradores da CPU” (TANENBAUM, 2002).

volume substancial de dados (aumentando o tamanho do pacote de dados) antes da transmissão, a fim de reduzir o número de pacotes a serem transmitidos (TANENBAUM, 2002). Portanto, o tamanho do pacote de dados e quantidade de pacotes a serem enviados por segundo são usados para estimar e alocar o tempo de CPU necessário para processar os dados de um determinado fluxo.

3 - Como critério de tomada de decisão, no Mandarin fluxos de dados que consomem menos tempo de processamento podem ser preferíveis.

Quanto ao protocolo de transporte, normalmente há escassez de energia nas redes em malha sem fio e o TCP, que faz retransmissões para qualquer tipo de erro ou atrasos longos na recepção de ACK (*Acknowledge*), pode aumentar o consumo de energia pelos nós. Esse problema não ocorre no protocolo UDP, por não fazer retransmissões, mas o mesmo não é confiável e para serviços que não toleram perda de pacotes não é o indicado.

4 - Os agentes autônomos ao verificar que o nó encontra-se com escassez de energia, poderá dar preferência aos serviços que usam o protocolo UDP para transmissão de seus dados.

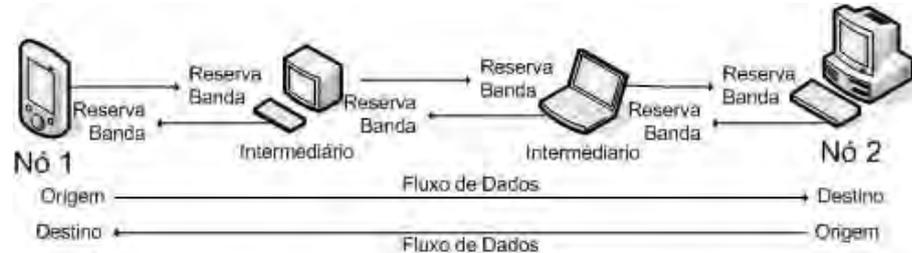
Ainda, um serviço pode gerar um fluxo de dados unidirecional ou bidirecional. Fluxo de dados bidirecionais (serviços de VoIP e videoconferência, por exemplo) podem gerar um maior tráfego de dados nas redes em relação aos fluxos unidirecionais (vídeo por demanda, transferência de arquivo). Portanto ao fazer a reserva de largura de banda, um nó deve verificar a direção do fluxo que será gerado pelo serviço e caso seja bidirecional fazer reserva nos dois sentidos, conforme Figura 4.5.

5 - A direção do fluxo de dados pode ser um dos critérios para decisão sobre quais serviços prover.

Além dos definidos acima, há vários parâmetros que podem ser levados em consideração no processo de tomada de decisão para decidir sobre: Quais serviços serão providos ou consumidos? Para quais redes ou nós será provisionado ou consumido os serviços requisitados? Essa dissertação propõe um conjunto básico de critérios (Tabela 4.2), que devem ser seguidos pelos agentes autônomos no processo de decisão, baseados em requisitos de QoS e variáveis de configuração. O arranjo da Tabela 4.2 é só um exemplo, com os valores dos pesos definidos para um serviço de multimídia.



(a) Fluxo unidirecional.



(b) Fluxo bidirecional.

Figura 4.5: Ilustração simples do processo de reserva de largura de banda.

Critério	Peso
Confiabilidade	2
Jitter	3
Atraso	2
Largura de Banda	3
Tamanho do pacote	2
Quantidade de pacotes/s	2
Protocolo de Transporte	1
Direção do Fluxo	2

Tabela 4.2: Arranjo de critérios proposto pela solução Mandarin. Cada critério deve ter um valor atribuído baseado na necessidade do fluxo de dados gerado pela aplicação do nó requisitante e um peso que define uma ordem de preferência no arranjo.

Os arranjos de critérios serão trocados pelos agentes autônomos dos nós quando um quiser consumir ou prover serviços para outros e o processo de decisão feito sobre os mesmos. Cada serviço pode possuir necessidades específicas, como visto anteriormente, sendo interessante a atribuição de pesos distintos para itens do arranjo de critérios, conforme ilustrado na Tabela 4.2. Os pesos vão variar de aplicação para aplicação, critérios com maior peso possuem maior relevância no arranjo e devem ser priorizados.

Quando um nó ou rede receber um arranjo de critérios para uma requisição de serviço, o primeiro passo é verificar se há recursos suficiente para atender a solicitação. Várias requisições de serviços podem chegar simultaneamente e não existir recursos para atender a todas. **É neste momento que deve ser tomada a decisão de quais serviços prover/quais requisições atender. E para uma mesma requisição de serviço, pode existir várias respostas e o requisitante deve decidir de quem irá consumir o serviço.**

Na tomada de decisão, para cada arranjo de critérios recebido, a rede ou nó deve atribuir ao arranjo um valor ou utilidade⁴ (SARGENT, 1996) que descreva as suas preferências sobre os mesmos. Isto é, um arranjo (x_1, x_2) é preferido a um (y_1, y_2) se e somente se a utilidade de (x_1, x_2) for maior que a de (y_1, y_2) : em símbolos, $(x_1, x_2) > (y_1, y_2)$ se e somente se $\mu(x_1, x_2) > \mu(y_1, y_2)$. Será atendido, preferivelmente, as requisições com maior utilidade, caso haja recursos suficiente.

A utilidade de um arranjo de critérios, neste trabalho, representa um indicador de desempenho que agregar todos os critérios do mesmo. Para achar esse indicador, o trabalho propõe usar os conceitos relacionados à teoria de *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM).

4.3.1 Obtendo o indicador de desempenho usando MCDM

Os modelos MCDM baseados em múltiplos critérios⁵ são empregados na resolução de problemas de decisões com critérios quantitativos e qualitativos. Retornar um indicador de desempenho de um arranjo de critérios é o principal objetivo dos mais elementares modelos de MCDM (AHP (SAATY, 1977), FDA (LIANG; M., 1991), MACBETH (COSTA; C.A.; VANSNICK, 1997), TOPSIS (HWANG; YOON; YOON, 1995)).

O indicador de desempenho é obtido ao comparar os arranjos de critérios recebidos pelos nós e redes, com arranjos hipotéticos criados pelo método MCDM que serão denominados: arranjo ideal e indesejável.

O arranjo ideal é a que resulta no melhor desempenho em relação a todos os critérios de um arranjo A_i . Por outro lado, supõe-se como arranjo indesejável o que resulta no pior desempenho em relação a todos os critérios do arranjo A_i . Exemplificando: a rede a ser escolhida para prover um serviço de acesso a internet seria aquela que apresentasse o arranjo ideal: a maior taxa de transmissão e recepção, o maior índice de disponibilidade e o menor preço. A arranjo indesejável seria o contrário.

O indicador de desempenho é obtido pelas equações definidas por Santana em (SANTANA, 2002) e apresentadas formalmente abaixo:

Dado um conjunto de arranjos a_i para $i \in \{1, \dots, m\}$ e critérios c_j para $j \in \{1, \dots, n\}$,

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$$

⁴, Utilidade é a medida de satisfação relativa ao ganho sobre diferentes recursos. No Apêndice B.2 é explicado o que é e como aplicá-la na ótica das teorias econômicas.

⁵Esta teoria tem sido um campo de pesquisa bastante promissor na área da pesquisa operacional e tem evoluído em paralelo com os métodos tradicionais, como programação linear, programação dinâmica e outros.

$$C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$$

O arranjo ideal A^+ e o arranjo indesejável A^- é obtido por:

$$A^+ = \{max_i v_{ij}; \forall j\} \quad (4.1)$$

$$A^- = \{min_i v_{ij}; \forall j\} \quad (4.2)$$

onde $max_i v_{ij}$ e $min_i v_{ij}$ representa os melhores e piores desempenhos em relação aos critérios c_j dos arranjos a_i .

$$v_{ij} = w_j x_{ij} \quad (4.3)$$

onde w_j é o peso definido para o critério j e x_{ij} é o valor normalizado⁶ do arranjo em relação ao critério j . Temos assim, que:

$$max_i v_{ij} = v_i^+; \forall j \quad (4.4)$$

$$min_i v_{ij} = v_i^-; \forall j \quad (4.5)$$

onde, o arranjo ideal e indesejável são:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+; \forall j\} \quad (4.6)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-; \forall j\} \quad (4.7)$$

Definido o arranjo ideal e indesejável é necessário comparar os arranjos recebidos pelas redes e nós com este. Tal comparação é realizada verificando as “distâncias” entre os arranjos a_i e o arranjo ideal A^+ e o indesejável A^- , obtidas aplicando as seguintes equações:

$$\Delta_i^+ = \sum_{j=1}^n |v_{ij} - v_j^+|; \forall j \quad (4.8)$$

$$\Delta_i^- = \sum_{j=1}^n |v_{ij} - v_j^-|; \forall j \quad (4.9)$$

⁶Existem várias formas de normalizar os elementos de um conjunto de dados que não estão em uma mesma base. A citar temos: Norma Euclidiana, Norma Zero, p-norma, entre outras.

O arranjo preferível é o que, simultaneamente, mais se afasta do indesejável e mais se aproxima do ideal, sendo obtida pela seguinte equação:

$$\varphi_i^* = \frac{\Delta_i^-}{\Delta_i^- + \Delta_i^+} \quad (4.10)$$

onde φ é o indicador de desempenho, com valores entre $1 \geq \varphi_i^* \geq 0$.

Proposições⁷:

1. Se o arranjo a_i é igual ao arranjo ideal, então o seu φ_i^* será o maior considerando-se todo o conjunto de alternativas em discussão.
2. Se o arranjo a_i é igual ao arranjo ideal, então sua distância em relação ao indesejável é a maior entre as possíveis.

A aplicação do método MCDM, formulado acima, sobre os arranjos de critérios que descrevem um serviço permite aos agentes autônomos dos nós obterem o indicador de desempenho destes arranjos, para decidirem quais serviços proverem ou consumirem dentro das redes em malha sem fio.

Como exemplo da aplicação do método, considere um cenário onde um nó recebeu três respostas de redes distintas a uma requisição de serviços. Cada rede envia um arranjo com os critérios apresentados na Tabela 4.3 para provisão do serviço. É atribuído uma medida para os critérios e o nó deve escolher o que possui as melhores medidas em relação as demais para contratar o serviço (maior indicador de desempenho ou a maior utilidade).

Provedor	Largura de Banda(Kbps)	Atraso(segundo)	Pacotes Perdidos(%)
Rede 1	350(1,00)	20(0,571)	3(0,750)
Rede 2	320(0,914)	35(1,000)	4(1,000)
Rede 3	300(0,857)	30(0,857)	2(0,500)

Tabela 4.3: A tabela apresenta três arranjos de critérios para provisão de serviços. Os números entre parênteses são os dados já normalizados para aplicação do método MCDM.

Os números entre parênteses na Tabela 4.3 são as medidas dos critérios normalizadas. Isso é necessário pois o método MCDM não distingue um critério do outro. O que importa para o método é quão um critério se aproxima ou afasta do ideal (dentro daquele conjunto) que possui valor igual a 1 (um). O método permite também definir uma orientação e um peso para cada critério. A orientação é se o maior valor do critério é preferível ou se é o menor. O peso permite

⁷A prova dessas proposições são encontradas em (SANTANA, 2002).

que o nó defina os critérios mais importantes para a provisão ou consumo do serviço. Dessa forma, se a Tabela 4.3 representar um serviço de VoIP, o critério atraso possui peso maior que o de perda de pacotes, uma vez que este tipo de aplicação é menos sensível à perda do que ao atraso dos pacotes.

Dado então os arranjos da Tabela 4.3, é aplicado o método MCDM que define o arranjo ideal e o indesejável, que são respectivamente:

$$A^+ = \{0,857; 0,571; 0,500\}$$

$$A^- = \{1,000; 1,000; 1,000\}$$

Neste exemplo, a orientação dos critérios é: o menor é preferível ao maior, por isso o conjunto A^+ possui valores inferiores ao conjunto A^- .

Aplicando as equações 4.8, 4.9, 4.10 temos a seguinte matriz de desempenho:

Provedor	Δ_i^+	Δ_i^-	φ_i^*
Rede 1	0,393	0,679	0,633
Rede 2	0,986	0,086	0,080
Rede 3	0,286	0,786	0,733

Tabela 4.4: Distâncias dos arranjos recebidos entre o arranjo ideal e o indesejável.

A Tabela 4.4 fornece a distância entre o arranjo recebido das três redes e o arranjo ideal e o indesejável. Dentre as redes, o arranjo que mais se aproxima do ideal é dito arranjo satisfatório. Assim, neste exemplo, a rede 3 será contratada pelo nó para prover o serviço requisitado. Dado que a rede 3, é a que mais se afasta do arranjo indesejável A^- e a que mais se aproxima do ideal A^+ .

4.4 Negociação de Serviços

Como apresentado na seção anterior, a decisão sobre a provisão e consumo de serviço, não é uma simples questão de comparar os recursos (largura de banda, buffers, ciclos) requisitados pelo serviço com a capacidade da rede ou do nó. No arranjo de critérios pode ser mapeado características como a sensibilidade ao atraso, ao *jitter*, à perda de pacotes, entre outras informações que qualificam um serviço, dificultando ainda mais o processo de decisão.

Além do problema da escassez dos recursos das redes e nós, nas redes em malha sem fio, cada rede pode ter um “dono” diferente e este pode cobrar pelos serviços que prover. Diante deste fato e dos critérios que definem um serviço, as redes e nós ao proverem e consumirem

serviços devem considerar a qualidade e o custo para provisão e o consumo dos serviços. Em tempos, este custo pode ser negociado entre as partes interessadas no consumo e provisão de serviços, assim como os valores definidos nos arranjos de critérios, como por exemplo a largura de banda desejável.

Exemplificando, o usuário de um serviço de videoconferência executado em nó da rede que normalmente funciona a 30 quadros/s e transmite a 3 *Mbps* pode estar disposto a reduzir a qualidade da imagem passando a exibi-lá a 25 quadros/s e necessita de uma taxa de 2 *Mbps*, se não houver largura de banda suficiente para atender o seu fluxo de dados. Quando um nó necessitar dos serviço de outros, é aberto uma negociação de serviços para decidir as relações de consumo (os valores do arranjo de critérios definido para o serviço).

Nas redes em malha sem fio, devido a sua estrutura dinâmica (mudanças na topologia, inserção de novas tecnologias, constantes mudanças dos meios de comunicação), é necessário uma negociação de serviço periódica, realizando ajustes constantes dos valores definidos para os critérios, uma vez que os valores podem não estar em conformidade com o atual estado da rede.

Baseado no exemplo anterior, se for desfeita a rota que permitia uma taxa de transmissão de 2 *Mbps* para o serviço de videoconferência, uma nova negociação deve ser realizada e o serviço pode ter que reajustar o sua taxa de transmissão.

Devido a periodicidade que essas negociações podem ocorrer, é inviável que a mesma seja feita manualmente(pelo usuário), sendo desejável, o mínimo de interferência humana em sua realização. Assim, a negociação feita por uma unidade de software que interage com outros softwares na rede e requer pouca interação com o usuário(humano) do nó e da rede, é desejável. No Mandarin é aplicado agentes autônomos para negociações de serviços, pois requerem pouca interferência humana na realização de suas tarefas (FLAKE, 2000).

4.4.1 Agentes Autônomos Adaptativos

Neste trabalho é proposto um agente autônomo, que deve ser implementado nos nós da RMSF, para realizar o processo de tomada de decisão e negociação dos valores do arranjo de critérios definido para um serviço.

O conceito de agentes autônomos é relativamente recente e surgiu dos estudos na área de Inteligência Artificial (IA). O agente autônomo é uma unidade software que interage com outros agentes, localizados em nós/*hardwares* diferentes, de forma independentemente e não segue

um plano global (FLAKE, 2000)⁸. Pode-se entender os agentes como entidades com comportamento individual que possuem os mecanismos (autonomia, percepção e comportamentos) adequados para atuarem por conta própria. Em outras palavras, nesta dissertação, um agente autônomo simplesmente cuida dos interesses do nó em que se encontra e não dá rede como um todo. No apêndice A feita uma definição mais ampla sobre agentes autônomos.

Entre os interesses dos nós que devem ser cuidados pelos agentes autônomos, podemos citar:

- Atender o maior número de requisições de serviços sem prejudicar a qualidade dos mesmos;
- Fazer a alocação dos recursos de rede sem sobrecarregar o nó;
- Garantir a qualidade dos serviços providos;
- Consumir serviços com a maior qualidade e menor custo possível;

Da definição de agentes autônomos acima, vem a motivação para implementação destes nessa dissertação. Nas redes em malha sem fio, cada nó terá que tomar suas decisões independente dos demais e com uma visão limitada da rede, uma vez que não só tem informações de outros nós situados nas redondezas de sua localização. E se for observado o ambiente de uma rede em malha sem fio, este possui características como conectividade sujeita a interferência, topologia dinâmica, diversidade de tipos redes e serviços disponíveis, que tornam a tarefa de negociação complexa para ser realizada manualmente.

Os agentes autônomos são capazes de fazer realizar a tarefa de negociação de forma autônoma, ou com um mínimo de interferência humana possível. A autonomia dos agentes, ou seja, o poder de atuar sem intervenção/operação externa, é possível porque eles incorporam uma lógica (objetivos e planos) que os possibilita tomar suas próprias decisões. Isso pode ser feito com a implementação de algoritmos de aprendizagem e modelos de *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM).

No processo de tomada de decisão e negociação de serviços os agentes autônomos devem executar um conjunto de tarefas, que diferem em relação ao consumo e provisão de serviços. Esta dissertação usa o diagrama de atividade definido na UML (Unified Modeling Language) para representar as tarefas que devem ser executadas pelos agentes autônomos, veja Figura 4.6. Na figura, as condições $[D1]$ e $[D2]$ são respectivamente: se os valores dos critérios da solução

⁸Segundo Flake (FLAKE, 2000) os agentes autônomos representam bem o paradigma de um sistema distribuído e a interação entre eles pode criar uma ordem global, a auto-organização do sistema.

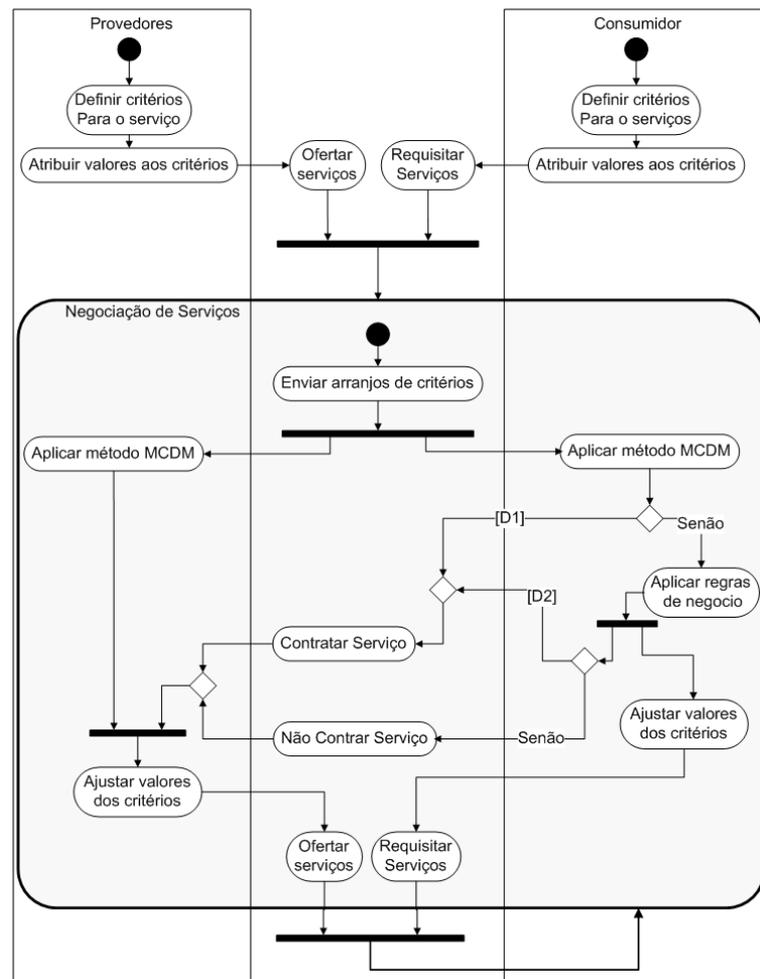


Figura 4.6: Diagrama de atividade representado o processo de negociação e tomada de decisão dos agentes autônomos. As condições [D1] e [D2] são explicadas no texto.

escolhida pelo método MCDM é melhor que os valores dos critérios definidos pelo consumidor e se a aplicação das regras de negócios permitem consumir o serviço. Caso seja verificada queda no desempenho do serviço ou outra rede provendo o mesmo serviço com melhor qualidade, a negociação de serviços é reiniciada.

As tarefas que são executadas pelos agentes autônomos, inclui a aplicação do método MCDM formulado no Seção 4.3.1 para o processo de tomada de decisão. Sobre os arranjos de critérios enviados e submetidos pelos nós, o agente ajusta os valores de cada critérios de tal forma a atender aos interesses (definidos acima) dos nós.

Para executar a tarefa de envio de arranjos de critérios e garantir a interação entre os agentes autônomos no processo de negociação de serviços é necessário definir um ambiente para troca de mensagens entre eles. Esse ambiente é definido pela solução Mandarim, conforme descrito na Seção 4.1, assim como outras atividades de apoio aos agentes autônomos.

4.4.2 Interação entre os Agentes Autônomo

No Mandarin, a negociação dos serviços entre os agentes autônomos é realizada por trocas de mensagens entre eles. São definidas quatro tipos de mensagens, agrupadas em mensagens de requisições (*request*) e respostas (*response*) a serviços:

- Request Service Message: Enviada pelo agente que deseja consumir um serviço aos nós ou redes vizinhas. As mensagens de requisição de serviços que contém um arranjo de critério que descreve o serviço. São rotuladas com o IP de origem e destino e o tempo de vida TTL (*time to live*).
- Request Message erro: Enviada ao nó que originou uma mensagem de request quando não é possível atender a uma requisição de serviço. A mensagem pode conter informações do motivo da negação de serviço.
- Response Service Message: Enviada pelo nó, destinatário, de uma mensagem de requisição. A mensagem é composta por um novo arranjo de critérios (que pode diferir do contido na mensagem de requisição), ao nó que originou a requisição, contendo os parâmetros e o custo para a provisão de serviços.
- Response Message Erro: Enviada para todos os nós e redes que participam do processo de negociação quando ocorre algum erro. Tal erro pode ser uma falha de hardware, por exemplo, em alguns dos elementos de rede que participou da negociação.

Quando uma transmissão sem fio é realizada, a onda de rádio enviada pode ser percebida por mais de um nó fazendo com que várias redes e nós possam responder a uma requisição de serviço. Em tempos de grande consumo de recursos das redes, algumas requisições de serviços não serão atendidas. Quando uma requisição não for atendida é submetido uma mensagem de *Request Message Erro* ao originário da mensagem de requisição. E para as requisições que podem ser atendidas, é enviado uma mensagem de *Response Service Message*.

É importante ressaltar, que na negociação envolvendo várias redes, uma rede é ora provedora, ora consumidora de um mesmo serviço inicializado pelo consumidor propagando a requisição de serviço para as demais redes. Por exemplo, uma rede de telefonia celular que prover um serviço de VoIP para uma MANET com destino a uma rede pessoal, é consumidora dos serviços da rede pessoal e provedora para MANET. Dessa forma, dois processo de negociação são abertos para a requisição de serviços da MANET.

A medida que uma requisição de serviço se propaga pelas redes, cada nó, da rota do fluxo de dados, examina e ajusta os valores dos arranjos de critérios conforme for necessário. Quem estabelece os valores finais do arranjo é o nó destinatário mas, cabe ao requerente do serviço aceitar ou não estes valores. Caso aceite, o serviço entra em operação.

Os nós possuem dois arranjos de critérios para o serviço a ser requisitado ou ofertado. O primeiro contém os requisitos mínimos de QoS e custo máximo que o nó está disposto a arcar para aquisição do serviço. Antes de fazer a requisição do serviço, os valores dos critérios são ajustados pelos agentes autônomos de tal forma que o nó possa ter um custo menor e uma maior QoS. Por exemplo, quanto mais largura de banda, melhor para o consumidor. Este é o arranjo submetido pelos agentes para negociação do serviço.

No segundo arranjo contendo os requisitos máximos de QoS e custos mínimos para provisão de um serviço. Por exemplo, quanto menos largura de banda for negociada para um determinado serviço a um mesmo preço ou superior, melhor para o provedor.

Neste trabalho, durante as negociações os agentes autônomos dos nós consumidores tentam aumentar a qualidade do serviço que querem consumir e reduzir o seu custo de aquisição e os agentes dos nós provedores tentam reduzir a qualidade dos serviços a serem providos e aumentar o custo de aquisição para o consumidor.

4.4.3 Mecanismo para Ajustar os Valores dos Critérios

As redes em malha sem fio, estão sujeitas a constantes mudanças em seu estado operacional (perda de conectividade, mudança e topologia, ingresso e saída de nós de rede, falhas nós nós, etc) e portanto, os agentes autônomos devem ser capazes de se adaptarem às suas mudanças de estados. Assim, há a necessidade dos arranjos de critérios que descrevem os serviços serem dinâmico, com ajuste constante dos valores dos critérios que devem refletir o estado atual da rede no processo de negociação de serviços.

O ajuste dos valores requer que os agentes decidam quando aumentar ou diminuir o valor de um critério $\rho_i(t)$ no instante t . Essa decisão é feita pelos algoritmos 1 e 2, propostos inicialmente para os agentes do tipo ZIP (CLIFF, 2005), veja apêndice A. Os algoritmos analisam o comportamento dos agentes ao consumirem e proverem serviços, verificando os arranjos negociados por estes para tomar a sua decisão de ajuste. O agente autônomo ajusta os valores dos critérios verificando se uma negociação foi bem sucedida ou não. Caso tenha sido, provedores e consumidores alteram seus arranjos ofertados para se aproximar do arranjo negociado. Se não houve negociação, os arranjos são alterados para se afastar do arranjos rejeitado.

Algoritmo 1 Ajustando $\rho_i(t)$ dos provedores de serviços

if O arranjo s ofertado foi negociado **then**
 todos provedores com arranjo o qual $\varphi_i^*(t) \leq \varphi_s^*(t)$ devem aumentar o valor do critério
if O arranjo era uma oferta de um provedor **then**
 todos os provedores com arranjo o qual $\varphi_i^*(t) \geq \varphi_s^*(t)$ devem reduzir o valor do critério
end if
else if O arranjo era uma oferta de um consumidor **then**
 todos os provedores com arranjo o qual $\varphi_i^*(t) \geq \varphi_s^*(t)$ devem reduzir o valor do critério
end if

Algoritmo 2 Ajustando $\rho_i(t)$ dos consumidores de serviços

if O arranjo s ofertado foi negociado **then**
 todos consumidores com arranjo o qual $\varphi_i^*(t) \geq \varphi_s^*(t)$ devem aumentar o valor do critério
if O arranjo era uma oferta de um consumidor **then**
 todos os consumidores com arranjo o qual $\varphi_i^*(t) \leq \varphi_s^*(t)$ devem reduzir o valor do critério
end if
else if O arranjo era uma oferta de um provedor **then**
 todos os consumidores com arranjo o qual $\varphi_i^*(t) \leq \varphi_s^*(t)$ devem reduzir o valor do critério
end if

A alteração dinâmica da medida dos critérios é realizada com base no indicador de desempenho (φ) obtido na aplicação do método MCDM. Periodicamente um novo valor para o critério é calculado de acordo com a equação 4.11, onde $\rho_i(t)$ é o novo valor, $\mu_i(t) \in [0, \infty]$ é uma variação no valor anterior e λ_i um limite definido para o critério i .

$$\rho_i(t) = \lambda_i(1 + \mu_i(t)) \quad (4.11)$$

A equação 4.11 ajusta ρ_i aumentando ou reduzindo o $\mu_i(t)$. O objetivo é que $\mu_i(t)$ seja alterado dinamicamente em resposta às negociações anteriores realizadas pelos agentes, mudanças no ambiente e do auto-conhecimento deste. Isso é feito aplicando a equação 4.13 conhecida como regra Delta (CLIFF, 2005; WIDROW; HOFF, 1988) que é uma técnica de aprendizagem de máquina. Segundo Cliff em (CLIFF, 1997, 2005) a aplicação da regra Delta consome menos processamento do que algoritmos para redes neurais como *backpropagation* (HAYKIN; HAYKIN, 1998). Isso motiva a sua adoção dado que os nós de uma RMSF pode não ter recursos computacionais suficientes para executar sistemas computacionais sofisticados como redes neurais.

$$A(t+1) = A(t) + \Delta(t) \quad (4.12)$$

Onde $A(t)$ é a saída atual no instante t , $A(t+1)$ é a saída no próximo instante e $\Delta(t)$ é

a variação na saída, resultado do produto de uma taxa de aprendizado de coeficiente β e a diferença entre $A(t)$ e a saída desejada no tempo t , representada por $D(t)$:

$$\Delta(t) = \beta(D(t) - A(t)) \quad (4.13)$$

Se a saída desejada permanece constante ($D(t) = k; \forall t$), a regra Delta converge assintoticamente de $A(t)$ para $D(t)$, a uma taxa determinada por β (CLIFF, 2005). Este método de adaptação é empregado pelos agentes quando é necessário incrementar ou decrementar ρ_i conforme os algoritmos 1 e 2. As novas medias dos critérios para negociação, são calculadas por meio da regra Delta que as prevê no instante $t + 1$, $\rho_i(t + 1)$. A variação em ρ_i é obtida conforme a equação 4.14 (CLIFF, 2005).

$$\mu_i(t + 1) = ((\rho_i(t) + \Delta_i(t))/\lambda) - 1 \quad (4.14)$$

Para aumentar a competição entre os agentes autônomos é desejado que a saída $D(t)$ varie dinamicamente. Pois, sem essa variação, as medidas dos critérios não ultrapassariam os limites pré-fixados. Como não é o objetivo das redes em malha sem fio provisionar serviços onde os recursos disponíveis não são usados completamente, $D(t)$ deve ser ajustado para resultar em uma variação pequena no limites pré-fixados. Caso contrário, os agentes tenderiam a requisitar uma quantidade de recursos que sobrepõe o necessário. Por exemplo, para um serviço que necessite de 500Kbps de largura de banda, os agentes poderiam requisitar 1Mbps. Com uma pequena variação em $D(t)$, os agentes requerem 550Kbps mas ficam satisfeitos com algo próximo a 500Kbps. Assim, neste trabalho $D(t)$ deverá resultar no valor mínimo necessário para a operação do serviço requisitado, mantendo a sua QoS desejada, evitando assim desperdício de recursos.

Alteração dinâmica das medidas dos critérios promove uma competição por serviços entre os agentes autônomos: o que possuir o melhor arranjo de critérios tem maior probabilidade de prover um serviço ou consumir.

4.5 Considerações Finais

No desenvolvimento do capítulo foram apresentadas as etapas necessárias para provisão e consumo do serviço. As etapas incluem especificação, registro, negociação e operação do serviço. Essas etapas são implementadas nas camadas de provisão e negociação de serviços.

A solução permite que a negociação dos serviços seja feita bilateralmente ou hierarquica-

mente. A negociação bilateral tem como principal vantagem ser distribuída, tornando a solução mais flexível e escalável, mas um maior número de mensagens são trocadas entre as redes que compõe as RMSFs.

Na negociação hierárquica, o processo é centralizado no *Market Place Web Services*, reduzindo a quantidade de mensagens trocadas pelas redes ao negociar um serviço. Outra vantagem é a possibilidade do elemento que requisita um serviço escolher todas as redes pelo qual seu fluxo de dados irá trafegar. A desvantagem deste modelo de negociação é que todas as redes devem alcançar *Market Place Web Services* e as vezes isso não é possível.

Após a negociação do serviço o mesmo entra em operação. Na etapa de operação, o serviço deve ser configurado e sua qualidade monitorada constantemente. A monitoração do serviço visa fornecer os parâmetros para auxiliar os agentes autônomos na negociação e assegurar que provedores e consumidores estão cumprindo as diretrizes definidas no arranjo de critérios acordado entre eles.

Nas seções subseqüentes do capítulo é feita uma proposta de implementação de um agente autônomo para negociação de serviços. O agente autônomo proposto adapta-se às mudanças de estado da rede usando a regra Delta de Windrow-Hoff. Os algoritmos que decidem quais requisições de serviços prover e quais provedores contratar são definidos com base no método *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM). A tarefa de controle de admissão e contratação de serviços é uma tarefa complexa e não resulta em uma simples comparação de recursos requisitados versus disponíveis. O método MCDM parece uma boa ferramenta para essa tarefa.

Por fim, vale ressaltar que as redes em malha sem fio possuem como principal característica a diversidade de tecnologias e dispositivos de acesso. Essa diversidade torna o processo de provisionamento e negociação de serviços complexos.

No capítulo seguinte é apresentado um estudo de caso que implementa a solução Mandarin e é realizado um comparativo com a arquitetura de melhor esforço e o protocolo RSVP.

5 Avaliação de Desempenho

Neste capítulo são apresentados cenários de simulação, experimentos e seus respectivos resultados, conduzidos para a avaliação do desempenho da solução Mandarin proposta neste trabalho.

Os resultados de pesquisas na área das redes de computadores têm sido obtidos a partir de simulações. Para as redes em malha sem fio, em particular, as simulações são vantajosas sob alguns aspectos: i) o custo atual dos roteadores e gateways sem fio é elevado variando entre centenas e milhares de reais, o que impossibilita a criação de cenários que empregam uma grande quantidade destes elementos; ii) diferentes configurações de dispositivos de acesso (PDA, laptop, nós sensores, celular, ente outros) podem ser utilizadas durante as simulações permitindo reproduzir um ambiente mais próximo a realidade; e principalmente, iii) a replicabilidade dos experimentos que possibilita variação dos parâmetros de configuração dos elementos de rede permitindo um ajuste fino da rede e da solução.

Os experimentos foram realizados no ambiente de simulação de redes *Java in Simulation Time/Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator* (JIST/SWANS) (JAVA..., 2005). O JIST/SWANS é um simulador de redes sem fio como o NS-2 (UCB/LBNL/VINT..., 1999), mas desenvolvido na linguagem Java. A adoção deste simulador foi motivada pela possibilidade de reutilizar as implementações dos algoritmos da solução Mandarin em experimentos reais. Não há um alto acoplamento dos algoritmos desenvolvidos ao simulador o que facilita a reutilização destes. Além disso, a linguagem Java é portátil, sendo usada em aplicações que devem ser executadas em diferentes plataformas de software e hardware. Como visto na Seção 2, as redes em malhas sem fio devem suportar as diferentes plataformas de *software* e *hardware* motivando, a escolha da linguagem Java para implementação dos algoritmos. Apesar do JIST/SWANS ser um simulador recente, pode ser observado a sua adoção em trabalhos acadêmicos ((BORTNIKOV; CIDON; KEIDAR, 2007; KROP et al., 2007; SHARIFI; TALEGHAN; TAHERKORDI, 2006; YUAN; WU, 2008)) envolvendo redes sem fio e segundo o autor do artigo (KARGL; SCHOCH, 2007), os resultados das simulações do JIST/SWANS são semelhantes aos resultados obtidos ao simular a mesma aplicação no NS-2.

O texto do capítulo está organizado da seguinte maneira. Na Seção 5.1 é descrito uma aplicação que simula uma rede em malha sem fio. A Seção 5.1.2 apresenta a metodologia adotada na avaliação de desempenho da solução. Em seguida, a Seção 5.2 apresenta as soluções empregadas para provisionar e negociar serviços dentro das redes em malha sem fio. Por fim, a Seção 5.3 faz uma análise comparativa entre as soluções e a Seção 5.4 finaliza o capítulo texto apresentado alguns comentários.

5.1 Caracterização das Simulações

Para avaliar a solução Mandarin foi desenvolvida uma aplicação que simula uma rede em malha sem fio onde ocorre provisão e consumo de serviços. Na aplicação a rede é implantada em uma cidade fictícia. A cidade é dividida em 8 redes distintas que suportam a mobilidade dos usuários e provê diferentes tipos de serviços. As simulações foram realizadas considerando características de elementos reais como os nós sensores da família MicaZ (INC., 2006), laptops (TOSHIBA, 2007a) com placas de rede sem fio e Pocket PCs (TOSHIBA, 2007b) (ver Tabelas 5.1 e 5.2 para detalhes a respeito dos dispositivos).

O nó sensor MicaZ serviu de base para configurar o *hardware* dos nós sensores de uma das redes simulada que tem comportamento de uma rede de sensores sem fio (RSSF). Vale salientar, que o protocolo de comunicação dos nós sensores da rede simulada foi o 802.11b e não o 802.15.4 definido no MicaZ. Outro fator, que difere a rede simulada de uma RSSF, é o uso do protocolo UDP, da arquitetura TCP/IP, que não é implementado no MicaZ.

	Processador	Memória	Rádio	Bateria
Toshiba Satellite A10	Mobile Intel Pentium 4 Processor-M 2.20 GHz	256 Mbytes	Cartão PCMCIA IEEE 802.11b 2,4 GHz 11 Mbps	4400 mAh
Toshiba Pocket PC e800	Intel PXA263 600 MHz	128 Mbytes	Rádio Integrado IEEE 802.11b 2,4 GHz 11 Mbps	1320 mAh
Nós Sensores baseados no MicaZ	Atmel ATmega128L 7,3728 MHz	512 Kbytes Flash	Chipcom CC2420 IEEE 802.11b 2,4 GHz 250 Kbps	160 mAh

Tabela 5.1: Características dos dispositivos base para configuração dos nós da RMSF.

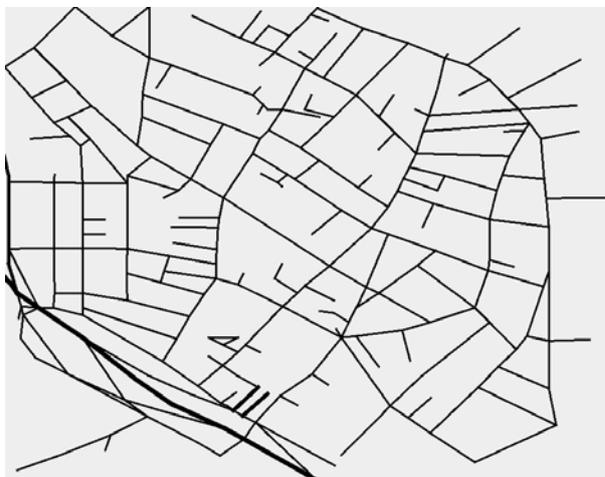
Cada rede simulada possui um servidor central e quatro roteadores de borda. Toda comunicação inter-redes passa pelos roteadores de bordas que formam o *backbone* sem fio da rede em

Operação	Toshiba Satellite A10	Toshiba Pocket PC e800	MicaZ
Processamento	31.1	4.5	8.0
Processador Ocioso	7.1	2.0	0.015
Transmissão	450	410	17.4
Recepção	250	260	19.7
Rádio em Modo de Escuta	28	28	2.0
Rádio Ocioso	4.66	2.66	0.001

Tabela 5.2: Consumo de Energia por operação em micro Amperes-hora (mAh).

malha.

Na Figura 5.1 é apresentado um mapa viário para a cidade fictícia que é simulada neste trabalho com e sem cobertura de uma rede em malha sem fio. A topologia das redes consiste em nós estacionários e móveis, distribuídos aleatoriamente. A área de cobertura das redes são diferentes e pode sobrepor a área de outra rede. Para reduzir a interferência nos sinais de comunicação entre redes distintas, as mesmas operam em canais diferentes. O padrão IEEE 802.11b permite comunicação a 11 Mbps sobre até 11 diferentes canais. Os nós estacionários das redes, servidores e roteadores, são laptops e/ou nós sensores e os móveis são Pocket Pcs. Estes elementos estão caracterizados na Tabela 5.1.



(a) Mapa viário da cidade sem cobertura de rede.

(b) Mapa viário da cidade coberto por uma rede em malha sem fio. Cada círculo representa o raio de cobertura de uma rede, no total de 8 redes. Os pontos verde são os servidores centrais das redes e os demais são roteadores de borda. Juntos servidores e roteadores foram um *backbone* sem fio.

Figura 5.1: Ilustração de um mapa viário de uma cidade fictícia com e sem cobertura da rede em malha sem fio.

Os nós móveis (Pockets PC) trafegam aleatoriamente a uma velocidade média de 2 a 5 metros por segundo, representado um ser humano andando pelas ruas da cidade. Estes nós podem

trafegar sobre a cobertura de diferentes redes e, quando isso ocorre, é necessário negociar a provisão de serviço junto nova rede. Cada nó, dentro da rede em malha sem fio, pode estabelecer uma comunicação com qualquer outro nó dentro da mesma. Quando a comunicação ocorre entre elementos de redes diferentes, é necessário negociar o transporte do fluxo de dados, a ser gerado, com todas as redes que estão na rota do fluxo de dados.

As redes possuem características diferentes, como taxa máxima de transferência, área de cobertura e dispositivos suportados. Os dispositivos diferem em largura de banda e alcance de comunicação. Na simulação de ambas as redes o padrão IEEE 802.11b foi escolhido como protocolo de controle de acesso ao meio e o protocolo AODV (PERKINS; ROYER, 1999) para roteamento. A Tabela 5.3 apresenta as características de cada rede. As 8 redes tentam cobrir aproximadamente $668km^2$ ($734 \times 910m^2$). Para alcançar essa cobertura, é necessário que todos os elementos das redes operem em modo *ad hoc*, ou seja, além dos roteadores de borda, os dispositivos de acesso também fazem roteamento, e juntos estabelecem uma comunicação multi salto.

	Taxa de Transmissão Máxima	Área de Cobertura	Intersecção
Rede A	2 Mbps	$300 \times 300m^2$	Rede B e C
Rede B	5.5 Mbps	$600 \times 300m^2$	Rede A,C,D e G
Rede C	5.5 Mbps	$400 \times 400m^2$	Rede A,B,D,E e F
Rede D	11 Mbps	$500 \times 500m^2$	Rede B,C,F,G e H
Rede E	11 Mbps	$200 \times 200m^2$	Rede C e F
Rede F	2 Mbps	$300 \times 300m^2$	Rede C, D, E e H
Rede G	1 Mbps	$200 \times 200m^2$	Rede B e D
Rede H	250 Kbps	$200 \times 100m^2$	Rede D e F

Tabela 5.3: Características das redes sem fio que formam a rede em malha sem fio. A rede H simula o comportamento de uma RSSF e suporta apenas elementos do tipo nó sensor. As demais redes são redes *Ad hoc* e suportam quaisquer dispositivos que operem com protocolo IEEE 802.11b.

Os laptops e pocket PCs podem transmitir a uma taxa máxima de 11 Mbps e com alcance de transmissão de 100 metros, e os nós sensores tem alcance de 80 metros e transmitem a 250 Kbps. Deve ser observado que um elemento de rede deve transmitir dados na taxa máxima equivalente ao suportado pela rede. Mesmo possuindo largura de banda de 11 Mbps, um laptop irá transmitir a uma taxa máxima de 1 Mbps se pertencer ou se comunicar com um elemento da Rede G, por exemplo.

Os roteadores de bordas são laptops e possuem uma interface de comunicação para rede a qual pertence e uma para cada rede de intersecção. Por exemplo, a Rede A faz intersecção com as Redes B e C (veja Tabela 5.3) e portanto seus roteadores possuem 3 interface de comunicação.

Dentro de uma rede, trafega somente dados dos próprios nós e os dados roteados/transmitidos pelos roteadores de borda da rede. Assim, se um elemento da rede A quiser estabelecer uma comunicação com os elementos da rede B, os dados obrigatoriamente devem passar por um roteador da rede B. Mesmo que o destinatário esteja no alcance do transmissor. Essa regra foi adotada porque, elementos de redes diferentes operam em canais diferentes, assim não podem se comunicar diretamente. Os roteadores assumem papéis de *gateways*, garantindo a interoperabilidade entre as redes e elementos de redes.

Até o momento foi apresentado as características e configurações das redes e nós. É necessário descrever os serviços providos por elas. Cada rede provê serviços inter e intra redes do tipo: taxa de bits constantes (VoIP), taxa de bits variável em tempo real (videoconferência), taxa de bits disponível (FTP - *File Transfer Protocol*, Acesso à Internet e Disseminação de Dados - para as RSSF).

Os nós da RMSF podem executar um ou mais serviços ao mesmo tempo. Exceto, para os serviços/aplicações de VoIP e videoconferência, que só podem estabelecer uma conexão por vez. Assim, o nó pode executar uma aplicação VoIP, uma videoconferência e quantos serviços de taxa de bits disponível quiser ao mesmo tempo. Nas simulações foi adotado que a duração de cada serviço deve ser definida aleatoriamente dentro do intervalo de 1 a 60 segundos e a cada 10 segundos o nó tenta inicializar um novo serviço.

Cada tipo de serviço provido na RMSF possui características próprias e deve ser detalhados e diferenciados dos outros serviços. A Seção 5.1.1 faz este detalhamento dos serviços providos pelas redes durante a simulação.

5.1.1 Serviços Providos na RMSF

No capítulo 4 foi apresentado alguns serviços providos nas redes em malha sem fio e caracterizado os fluxos de dados por quatro parâmetros principais: confiabilidade, atraso, *jitter* e largura de banda. Junto, esses parâmetros definem a qualidade de serviços que o fluxo exige. Os serviços simulados pelos nós na rede em malha sem fio deste trabalho, são:

Voz sobre Ip (VoIP): Esse serviço permite a transmissão de voz sobre uma rede de dados, como a rede em malha sem fio. É semelhante ao tradicional serviço telefônico por comutação de circuito.

Videoconferência: Esse serviço permite a transmissão simultânea de voz e vídeo entre dois ou mais elementos de rede. Os usuários podem se comunicar visualmente e oralmente em

tempo real.

Transferência de Arquivos (FTP): Esse serviço permite a transferência de arquivos de um elemento de rede para outro.

Acesso à Internet (HTTP): Esse serviço permite o acesso a sites hospedados nos servidores das redes ou servidores externos, na Internet pelo protocolo HTTP. Somente servidores ofertam este serviço nas simulações feitas nesta dissertação.

Disseminação de dados: Os dados coletados pelos nós sensores devem ser disseminados/enviados ao ponto de acesso ou servidor da RSSF. Os dados coletados na RSSF ficam armazenados no servidor e este os disponibiliza para as demais redes ou usuário externos. Esse serviço é disponibilizado somente na rede com comportamento de RSSF.

Nos serviços de VoIP e videoconferência a transmissão de dados ocorre nos dois sentidos, ou seja, todos os elementos enviam e recebem pacotes de voz e/ou vídeo. Já nos serviços de FTP e HTTP, o elemento de rede que requer uma página Web/arquivo faz um *download* da página e a transmissão de dados ocorre no sentido servidor para cliente. No serviço de disseminação de dados, todos os nós sensores transmitem os dados coletados em um único sentido, para o servidor, ou seja, fazem um *upload*. Tanto o FTP quanto o HTTP não são sensíveis a atraso, mas longos atrasos podem levar o usuário a desistir do arquivo ou acesso a página Web.

As aplicações de videoconferência e VoIP podem tolerar a perda de dados e atraso. No caso de voz, atrasos menores que 150 milissegundos não são percebidos pelo ouvido humano, atraso entre 150 e 400 milissegundos podem ser aceitáveis e atrasos que excedem 400 milissegundos podem resultar em conversas ininteligíveis. Essas aplicações também, são sensíveis a grandes variação no atraso (*jitter*), ou seja, pacotes com muita variação no atraso (10, 20, 5, 1, 400 milissegundos) levam a uma degradação do serviço. Essa degradação ocorre porque a aplicação não consegue tratar adequadamente os pacotes, fazendo com que o receptor perceba o som “falhando”.

Certamente, as aplicações de VoIP e videoconferência são mais rígidas em relação a quantidade de largura de banda do que as aplicações de FTP e HTTP. Para essas aplicações, se a largura de banda não estiver disponível, a aplicação pode não funcionar ou ter que reduzir a qualidade de som e imagem. Já as aplicações FTP e HTTP podem fazer uso de qualquer quantidade mínima ou máxima de banda que esteja disponível. Evidentemente, um largura de banda muito baixa pode levar a degradação do serviço.

O serviço de disseminação de dados é um caso especial por depender da aplicação executada nos nós sensores. Neste trabalho, a aplicação executada nos nós sensores é tolerante a

perda e transmitem os dados sensorizados a cada 20 segundos.

A Tabela 5.4, quantifica os limites mínimos e máximos aceitáveis para cada requisito de qualidade dos serviços descritos acima. Esses valores servem para o processo de negociação de serviços e avaliação da qualidade dos mesmos, durante as simulações da rede em malha sem fio.

Serviço	Perda de Pacote	Atraso	Jitter	Largura de banda
VoIP	20%	400 ms	Alta	93,6 Kbps
videoconferência	20%	400 ms	Alta	384 Kbps
Transferência de arquivos (FTP)	0%	650 ms	Baixa	36 Kbps
Acesso à Internet(HTTP)	0%	650 ms	Baixa	10 Kbps
Disseminação de Dados	30%	600 ms	Alta	125 Kbps

Tabela 5.4: Tabela de requisitos de qualidade de serviço. Os valores dos parâmetros perda de pacote e atraso correspondem ao máximo aceitável e largura de banda ao mínimo desejável. Para o *jitter* é definido um valor qualitativo referente a sua sensibilidade.

Outros dados que caracterizam um serviço são o tamanho do pacote, o número de pacotes enviados por segundo, o protocolo de transporte e o fluxo dos dados. Estes dados são atribuídos aos serviços providos pelas redes e estão representados na tabela abaixo:

Serviço	Tamanho do Pacote	Pacotes/s	Protocolo de Transporte	Fluxo de Dados
Telefonia (VoIP)	234 bytes	50 pps	UDP	Bidirecional
videoconferência	188 bytes	256 pps	UDP	Bidirecional
Transferência de arquivos (FTP)	512 bytes	9 pps	TCP	Unidirecional
Acesso à Internet(HTTP)	60 bytes	17 pps	TCP	Unidirecional
Disseminação de Dados	250 bytes	63 pps	UDP	Unidirecional

Tabela 5.5: Tabela com os parâmetros de configuração dos serviços.

Os dados apresentados na Tabela 5.5 e 5.4 foram obtidos com base em aplicações reais.

A largura de banda desejada pelo serviço de VoIP foi calculada considerando o *codec*¹ de voz G7.11 recomendado pela ITU-T (*Telecommunication Standardization Sector Of ITU*) ((G.711), 1993). Considerando a camada de enlace do IEEE 802.11b e as cabeçalhos (IP+UDP)+PAYLOAD DE VOZ o serviço de VoIP precisa de 93,6 Kbit/s para funcionar corretamente.

- Banda necessária = [(74 bytes + 160 bytes) * 8 bits por byte] * 50 pps;
- Banda necessária = 93600 bit/s = 93,6 Kbit/s.

¹O *codec* é utilizado para conversão de um sinal analógico para digital e digital para analógico. O G.711 possui taxa de bits de 64 Kbps (50pps) e payload de voz de 160 bytes

Já, para o serviço de videoconferência foi considerado o *codec* MPEG-2 (BUSINESS; SOCIETY, 2007). Este *codec* suporta diferentes taxa de bits por amostragem, depende da qualidade que deseja alcançar. Por exemplo, para uma resolução de 1280 x 720 pixel e 30 quadros/s é necessária uma largura de banda 80 Mbps. Neste trabalho, adotamos a resolução de 352 x 288 e 15 quadros/s, sendo necessário assim, uma largura de banda de 384 Kbps (BUSINESS; SOCIETY, 2007). Independente da resolução e quadros/s, o pacote MPEG-2 possui 188 bytes.

Os serviços FTP e HTTP são especificados pelos RFCs (FIELDING et al., 1999; POSTEL; REYNOLDS, 1985) e podem ter tamanho de pacotes variáveis. Neste trabalho foi adotado o tamanho recomendado pelos RFCs: 512 bytes para FTP e 60 bytes HTTP. Já para o serviço de disseminação de dados, foi adotado o tamanho de 250 bytes para os pacotes, a fim de possibilitar agrupar até 10 mensagens sensorizadas simultaneamente. Os nós sensores, coletam dados aleatórios.

5.1.2 Metodologia de Avaliação

A solução Mandarin proposta é avaliada em uma análise comparativa com a arquitetura de melhor esforço (*best-effort*) e o protocolo RSVP. Na comparação é verificado o comportamento global da rede, e será confrontado a QoS requisitada pelos serviços simulados versus a QoS obtida.

Para a provisão de serviços na RMSF simulada foram empregadas seis soluções que implementam respectivamente: (i) a arquitetura de melhor esforço; (ii) o protocolo RSVP; (iii) a solução Mandarin com negociação de serviço bilateral; (iv) a solução Mandarin com negociação de serviço hierárquica; (v e vi) a solução Mandarin para negociação bilateral e hierárquica inter-redes. Cada solução foi avaliada em três cenários (exceto a solução de melhor esforço na avaliada no terceiro cenário) que, representam variações na aplicação descrita na Seção 5.1 (veja Tabela 5.6). No primeiro cenário cada uma das oito redes possuem 15 nós estacionários e há 30 nós (Pocket PC) móveis na rede como um topo. O segundo cenário possui 30 nós estacionários para cada rede e 60 móveis. No terceiro cenário há 60 nós estacionários para cada rede e 90 móveis. Os nós móveis não estão associados a uma rede específicas, tendo a sua associação a uma rede realizada dinamicamente. A variação na quantidade de nós tem por objetivo avaliar a escalabilidade das soluções.

As simulações foram realizadas em um Toshiba Satellite A100 equipado com um processador Intel Pentium 4 com frequência de clock de 2.0 GHz, 720 Mbytes de memória primária e 80 Gbytes de memória secundária. Cada cenário foi simulado 33 vezes para cada solução, com

	Laptop	Pocket PC	MicaZ	Total
cenário 1	105	30	15	150
cenário 2	210	60	30	300
cenário 3	420	90	60	570

Tabela 5.6: Número de dispositivos de acesso (consumidores de serviços) por cenário.

tempo de simulação limitado ² em 500 segundos. O tempo real de execução foi de uma hora e vinte minutos (1h e 20m) para cada simulação.

Na avaliação deste trabalho, foram escolhidas as seguintes métricas para avaliação: atraso na recepção dos pacotes, variação no atraso (*jitter*), percentual de perda dos pacotes, consumo médio de energia (da rede como um todo e para cada dispositivo), vazão efetiva e taxa de transmissão; cujo os valores foram obtidos durante as simulações para efeito de comparação entre as diferentes soluções.

Atraso: esta métrica permite avaliar o tempo que um pacote leva para sair da origem e chegar ao seu destino. Permite ainda, verificar se o atraso médio na rede está prejudicando a qualidade de serviços a nível de usuário. Será avaliado o atraso total na rede e o atraso médio de cada serviço provido pelas redes.

Jitter: o *jitter* é uma estimativa da variância estatística do atraso dos pacotes de dados, medido em unidade de amostragem e expresso sempre como um inteiro positivo. Se o *jitter* for negativo, ele é apresentado com o sinal invertido. Esta métrica pode ajudar na detecção de congestionamento na rede e o seu calculo é prescrito na RFC 1889 (GROUP, 1996). Será avaliado o *jitter* para cada tipo de serviço provido nas redes em malha sem fio.

Perda de Pacotes: a perda de pacotes é um fator crítico que implica diretamente na qualidade de serviço. Alguns dos fatores que podem levar a perda de pacotes são: estouro de *buffer* dos roteadores e colisões nas transmissões. É avaliado a perda total de pacotes na rede e para cada tipo de serviço. A perda de pacotes pode ser eliminada usando o protocolo TCP, em vez do UDP. O TCP pode sobrecarregar a rede com retransmissões excessivas dos pacotes perdidos.

Consumo de Energia: esta métrica permite avaliar como os recursos energéticos da rede foram consumidos. A energia é o recurso responsável pelo funcionamento dos elementos

²Durante as simulações usando o JIST/SWANS, para cada pacote enviado na rede um objeto é instanciado e colocado em uma fila de espera para ser processado. Essa fila de espera aumenta significativamente com o aumento de nós na rede e o tempo de simulação, fazendo com que ocorra estouro de memória. Acima de 500 segundos ocorre estouro de memória para o cenário 3 e por tanto, devido a limitações computacionais, este é o tempo máximo utilizado neste trabalho.

de redes e em casos de falha dos nós por esgotamento de energia, a conectividade da rede pode ser reduzida. Será avaliado o consumo de energia total dos nós da rede em malha sem fio e o consumo médio de cada tipo de cliente da rede.

Taxa de Transmissão: esta métrica avalia a taxa de transmissão dos pacotes no meio físico pelos nós da rede. Se uma aplicação necessita de largura de banda de 100 Kbps para funcionar, o nó deve ser capaz de enviar pacotes nesta velocidade. Será avaliado a taxa de transmissão obtida por cada serviço simulado.

Vazão Efetiva: a vazão efetiva corresponde a quantidade de bytes recebidos por segundos. Esta métrica não considera os pacotes perdidos durante as transmissões e por isso, pode ser diferente da taxa de transmissão. Será avaliado a vazão total na rede e individual para cada serviço.

A análise dessas métricas permite verificar, em especial, a viabilidade de provisão de serviços multimídias nas redes em malha sem fio, nas diferentes soluções descritas acima e que são detalhadas na próxima seção.

5.2 Soluções Empregadas

Análise de desempenho da solução Mandarin é realizada comparando-a com a arquitetura de melhor esforço e o protocolo RSVP. A solução foi simulada com negociação bilateral/hierárquica inter e intra redes e, com melhor esforço intra redes e bilateral/hierárquica inter-redes. O objetivo de misturar a solução Mandarin com a arquitetura de melhor esforço, é verificar o impacto da última na rede como um todo.

5.2.1 Solução 1 - Melhor Esforço

O protocolo da camada de rede, IP, presta um serviço de melhor esforço. Isso quer dizer que o protocolo IP faz seu melhor esforço para transportar os pacotes da origem ao destino o mais rápido possível (TANENBAUM, 2002). O serviço de melhor esforço não garante quanto à dimensão do atraso fim-a-fim para um pacote individual ou quanto à dimensão da variação do atraso ou perda de pacotes dentro de um fluxo de dados. Além disso, os elementos da rede tem que disputar a largura de banda com outros elementos, ou seja, não é feita reserva de recursos na arquitetura de melhor esforço.

Na simulação desta solução nenhum mecanismos de controle e admissão é adotado e os nós começam a transmissão dos dados assim que recebem uma resposta de aceitação do nó de destino. Todos os serviços providos, nesta solução, transmitem a uma taxa fixa conforme a Tabela 4.1.

5.2.2 Solução 2 - RSVP

Nessa solução foi implementado o protocolo RSVP para reservar recursos fim-a-fim em todos os nós ao longo da rota do fluxo de dados a ser transmitido. O protocolo RSVP (veja Seção 3.4 para detalhes do protocolo) funciona sobre a arquitetura de serviços integrados (*IntServ*). A arquitetura *IntServ* tem como principal característica a reservar recursos nos roteadores para os fluxos de dados dos serviços que exigem garantias de QoS fim-a-fim.

Mediante à troca de mensagens, o protocolo RSVP decide aceitar ou não um fluxo de dados. Neste trabalho, à aceitação ou negação de um fluxo de dados é feito comparando a largura de banda solicitada com a disponível ao longo da rota em que fluxo de dados passará. Não foi adotado um mecanismo de ajuste da largura de banda solicitada, a reserva da banda tem que ser integral em todos os nós da rota. Caso não haja banda suficiente para aceitar o fluxo de dados, uma mensagem de erro é enviada ao nó de origem.

Cada reserva de fluxo é associada a uma seção e todos os elementos de rede ao longo da rota armazenam o seu estado (ativa ou inativa). A cada 500 milissegundos um pacote de controle é enviado pelo elemento de rede que solicitou a reserva. Este pacote de controle deixa a seção ativa. A especificação do RSVP (BRADEN et al., 1997) define que a cada intervalo de 1 segundo deve ser verificado se as reservas estão ativas, caso não estejam os elementos de redes devem apaga-las e a largura de banda reservada fica disponível. Este intervalo foi adotado nas simulações.

Neste trabalho, somente os serviços de VoIP, videoconferência e disseminação de dados utilizam o RSVP. Estes serviços requerem respectivamente 93,6 Kbps, 384 Kbps e 125 Kbps (conforme a Tabela 5.4) de largura de banda. Os serviços de FTP e HTTP estão limitados a uma taxa de transmissão máxima de 36 Kbps e 10 Kbps respectivamente, mas não foi feita reserva de banda para os mesmos.

5.2.3 Mandarin

A solução Mandarin foi implementada conforme descrito no capítulo 4 e foi simulada com quatro configurações diferentes. A primeira (**Solução 3 - Mandarin Bilateral**) os agentes autô-

nomos fazem a negociação inter e intra-redes no modelo bilateral de negociação. A segunda (**Solução 4 - Mandarim Hierárquico**) o modelo hierárquico para a negociação inter e intra-redes é adotado. A terceira configuração (**Solução 5 - Mandarim Bilateral/Melhor Esforço**), é empregado a arquitetura de melhor esforço para provisionar serviços intra-redes e a solução Mandarim com o modelo bilateral na provisão inter-redes. A última configuração (**Solução 6 - Mandarim Hierárquico/Melhor Esforço**), o modelo hierárquico da solução Mandarim é adotado para provisão e negociação de serviços inter-redes e na provisão intra-redes a arquitetura de melhor esforço.

Diferente da simulação com RSVP, todas as aplicações que desejam prover ou consumir um serviço (VoIP, videoconferência, FTP, HTTP e disseminação de dados) tem largura de banda reservada quando empregado a solução Mandarim para provisão e negociação. Os parâmetros básicos de QoS descritos nas tabelas 5.4 e 5.5 definem os critérios para negociação de serviços e, podem ser ajustados dinamicamente. Por exemplo, o serviço de videoconferência que requer 384 Kbps pode ser ajustado para funcionar a 250 Kbps caso não haja banda suficiente.

Neste trabalho, foram implementadas as principais funções para o funcionamento da solução Mandarim. Uma descrição das funções implementadas é realizada abaixo, associado as mesmas às respectivas camadas que pertencem.

Provisão de Serviços

- A camada de provisão de serviço foi implementa funções para envio e recepção das mensagens geradas pelos agentes autônomos na negociação de serviço.
- Implementa uma aplicação de controle de tráfego, responsável por verificar a permissão e prioridade dos fluxo de dados que trafega na rede. Os elementos de rede fazem roteamento somente de pacotes da própria rede e dos fluxo negociados pelos agentes autônomos. O controle de tráfego ainda faz as reservas³ de banda negociadas.
- A comunicação da camada de aplicação do protocolo de comunicação com a solução Mandarim ocorre por essa camada. Quando uma aplicação quer consumir um serviço da rede, ela submete para a camada de Provisão de Serviços um arranjo de critérios com a especificação do mesmo.

Negociação de Serviços

³A solução pode permitir a negociação com e sem reserva de recursos. Neste trabalho, não simulamos a negociação sem reservas.

Os agentes autônomos podem realizar uma negociação bilateral ou hierárquica intra e inter-redes. Na negociação bilateral, um elemento que requisita um serviço irá negociar apenas com as redes vizinhas, que deverão negociar com outras redes até alcançar o destino do fluxo de dados. Na negociação hierárquica, o processo é centralizado no *Market Place Web Services*, com a possibilidade do elemento que requisita um serviço escolher todas as redes pelo qual seu fluxo de dados irá trafegar. Essa escolha é feita executando o algoritmo de Dijkstra.

Na negociação hierárquica, o agente autônomo possui um grafo (veja Figura 5.2) que representa as ligações entre as 8 redes que formam a rede em malha sem fio. Ao receber os arranjos de critérios com as ofertas dessas redes, o agente autônomo aplica o método MCDM (veja Seção 4.3.1) sobre os mesmos. O resultado do método é associado a cada uma das arestas do grafo (atribuindo peso as arestas) e ao aplicar o algoritmo de Dijkstra, a melhor rota fim-a-fim é obtida. Vale ressaltar que este processo é realizado somente na negociação hierárquica.

Na negociação bilateral, o agente escolhe apenas o próximo salto da rota até chegar ao destino. O agente pode receber oferta de todos os nós e redes vizinha e irá escolher o elemento com melhor indicador de desempenho obtido ao aplicar o método MCDM sobre os arranjos recebidos.

Dentro desta camada podemos ressaltar os seguintes ítems:

- Existem dois agentes autônomos em cada elemento de rede. Um agente responsável por negociar o consumo/aquisição de um serviço e outro para negociar a provisão de serviço feita pelo elemento de rede.
- Cada agente autônomo estabelece um conjunto de critérios que são analisados a fim de decidir a provisão e consumo de serviços.
- Cada tipo de serviço possui uma prioridade na rede e requisitos de QoS específicos. Além dos requisitos descritos na tabelas 5.4 e 5.5, outros critérios são enviados dentro do arranjo e, utilizados pelos agentes autônomos no processo de decisão. Estes critérios são definidos como itens dos arranjos e são listados na Tabela 5.7.
- Os agentes autônomos ajustam dinamicamente os valores dos critérios dos arranjos a cada salto entre origem e destino.
- Os agentes autônomos podem negociar serviços entre os nós da própria rede (intra-redes) ou entre os nós de outras redes (inter-redes).

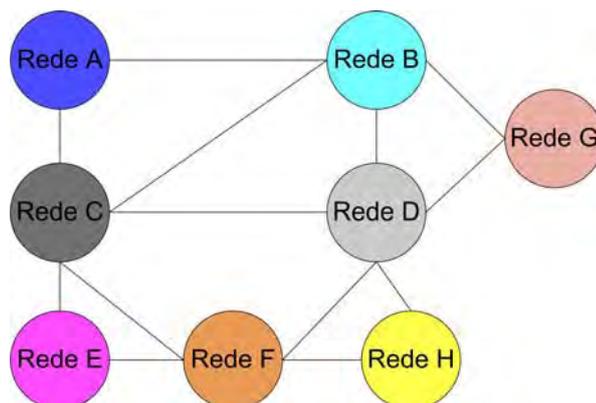


Figura 5.2: Grafo representado as 8 redes simuladas neste trabalho e suas conexões. Sobre este grafo é executado o algoritmo de Dijkstra para escolher a melhor rota entre duas redes.

Critério	Descrição	Peso
Tipo de tráfego	Pode ser definido como: taxa de bits Constante, taxa de bits variável de tempo real ou taxa de bits disponível.	2
Bytes encaminhados	Quantidade de bytes encaminhado pelo elemento de rede. É contabilizado apenas os dados roteados por ele.	2
Duração do serviço	Tempo de duração do serviço. Representa a validade do contrato firmado entre os agentes. Expirado o tempo, nova negociação deve ser feita.	1
Tipo de dispositivo	Dispositivo que irá gerar o fluxo de dados: laptop, pocket pc ou MicaZ.	2
Utilização do <i>buffer</i>	Percentual de utilização do <i>buffer</i>	3
Número de saltos	Número de elementos de rede entre os elementos de rede.	3
Custo	Custo da transmissão.	3
Disponibilidade	Tempo que o serviço estará disponível para o usuário	1

Tabela 5.7: Critérios para negociação de serviços. Os pesos de cada critério é definido pela camada de Regra de Negócio.

Os critérios da Tabela 5.7 são quantificados para aplicação do método MCDM durante as simulações. A variável custo é estipulada pelo provedor do serviço e usada pelos agentes autônomo no momento de decidir qual rede contratar para encaminhar seus fluxo de dados.

Regras de Negócio

Cada uma das oito redes implementam uma regra de negócio global que os seus elementos deveram seguir. As regras definidas nesta camada, no presente trabalho, são:

- As somas das reservas de fluxo assumidas pelas redes pode ser de 10% a 30% maior que a sua capacidade. Como perdas de pacotes na comunicação sem fio é inerente ao meio

físico, assumir uma capacidade de fluxo maior pode não prejudicar a rede, dado que a vazão efetiva tende a ser menor que a taxa de transmissão real (TANENBAUM, 2002).

- Cada rede atribui um peso aos valores mapeados nos arranjos de critérios (veja Tabela 5.7) definidos para o método MCDM.
- Nesta camada também é estimado o custo de transmissão de dados, conforme formulação abaixo, e atribuído prioridades a cada tipo de serviço.

O custo de transmissão pode ser qualquer parâmetro relacionado à provisão de serviços na rede. Pode ser a taxa de transferência, a quantidade de memória ou a atraso máximo de uma mensagem aceite, por exemplo. Em redes com escassez de energia, o cálculo do custo pode ser relacionado ao tempo de vida da rede e a quantidade de dados em bytes transmitidos. Neste trabalho é calculado o custo relacionado a energia residual do elemento de rede versus quantidade de bytes por ele transmitido. Assim, o custo por bytes transmitidos CB é formulado pelas equações:

$$\ell = \frac{n}{E - e} \quad (5.1)$$

$$CM = \frac{1}{\ell} \times cj \quad (5.2)$$

$$CB = \frac{CM}{b} \quad (5.3)$$

onde n corresponde ao número de pacotes enviados, E a quantidade de energia inicial em joule da bateria do elemento de rede, e é a quantidade de energia residual em joule, ℓ é o número de pacotes por joule enviados, cj é o custo de um joule, CM é o custo de um pacote, b é o tamanho de um pacote em bytes. Neste trabalho, cj foi estimado como sendo o valor em reais do elemento de rede (laptop R\$ 2900,00, pocket pc R\$ 1200,00 e MicaZ R\$ 250,00) dividido pela capacidade em joules da bateria (veja Tabela 5.1).

Vale ressaltar, que em simulação este custo é fácil de ser obtido pois, o consumo de energia do nó está associado somente à atividade de transmissão e recepção de dados. Outras atividades que também consomem energia não são simuladas, como por exemplo, a exibição de imagens no *display* do nó.

Touchpoint

O Touchpoint implementado possui funções de análise dos dados gerados pela camada

Tarefa Automatizada e interfaces de acesso a mesma. Os agentes autônomos requisitam ao Touchpoint informações coletadas pelo e do próprio nó como: percentual de perda de pacotes, utilização do *buffer* de rede, número de pacotes encaminhados pelo nó, tipo de dispositivo, energia residual, atraso e jitter dos pacotes recebidos.

Para fins de cálculo do percentual de perdas de pacotes, cada pacote é numerado e ao fim da transmissão é dividido o total de pacotes recebidos pelo maior número recebido dentro dos pacotes. Quanto ao número de pacotes encaminhados são contabilizados os pacotes roteados pelo nó.

O Touchpoint ainda permite acesso as funções para ajustar a potência de transmissão e configuração de rota da camada Tarefas Automatizadas. A rota é definida pelos agentes autônomos na negociação hierárquica.

Tarefas Automatizadas

Nesta camada, este trabalho implementa um monitor de rede, um gerente de contabilidade, e funções de configuração de rota.

O monitor de rede é responsável por verificar o estado atual do nó em relação a rede: a largura de banda que está sendo usada. O gerente de contabilidade informa quais recursos (bateria e *buffer* de rede) e quanto destes recursos estão sendo ou foram consumidos pelo nó.

5.3 Resultado de Desempenho

Nesta seção são apresentados os resultados das simulações das seis soluções descritas na seção anterior e uma análise comparativas entre eles. As soluções foram testada nos três cenários descritos anteriormente, exceto a solução 1, devido a limitações de hardware. Os resultados apresentados referem as métricas atraso, *jitter*, perda de pacotes, consumo de energia, taxa de transmissão e vazão efetiva conforme descrição na Seção 5.1.2.

Os resultados apresentados nesta seção correspondem à média aritmética simples das simulações e possuem intervalo de confiança de 95%. As médias dos resultados foram submetidas a um teste de hipótese nula para verificar se há diferenças significativas entre elas.

A hipótese nula é uma hipótese presumida verdadeira até que provas estatísticas sob a forma de testes de hipótese indiquem o contrário. Neste trabalho, é presumido que todas as soluções obteve resultados iguais (hipótese nula) e as médias de cada métrica avaliada são confrontadas para verificar se a hipótese nula é verdadeira. O método de teste usado foi o *t-student*, ou

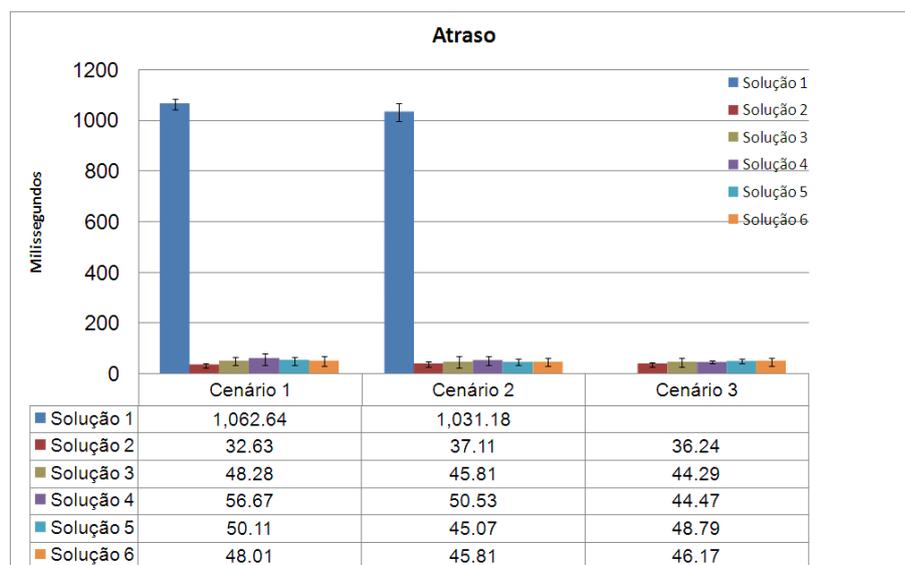


Figura 5.3: Atraso médio dos pacotes sem discriminação de serviços.

simplesmente teste t, com nível de significância⁴ de 0.05. O resultado obtido é comprado com o nível de significância, se for maior ou igual, a hipótese nula é aceita, caso contrário é rejeitada.

5.3.1 Atraso

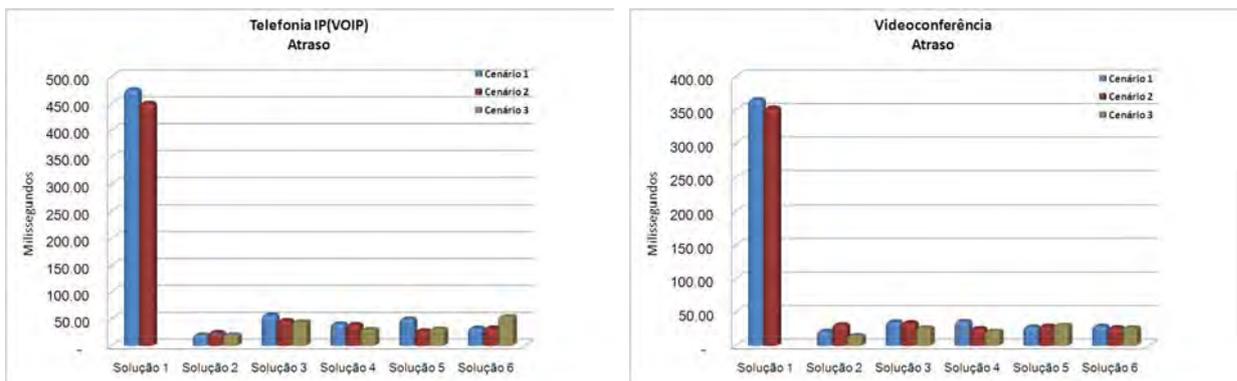
Os resultados apresentados a seguir consideram o atraso fim-a-fim dos pacotes recebidos pelos elementos de rede. O gráfico da Figura 5.3 apresenta o atraso médio na rede em malha como um todo, desconsiderando os tipos de serviços. A solução 1, obteve o pior resultado com atraso médio de 1000 ms nos dois cenários simulados. As demais soluções conseguiram reduzir esse atraso em aproximadamente 96%.

Comparando a solução 2 com as soluções 3,4,5 e 6, houve uma redução de 26% no atraso. Tanto a solução 2 quanto as soluções 3,4,5 e 6, conseguiram um atraso médio inferior ao máximo aceitável pelos serviços. O mesmo não ocorreu com a solução 1.

Os gráficos da Figura 5.4 apresentam o atraso médio dos pacotes para os serviços de VoIP e videoconferência. Para estes serviços atrasos que excedem 400 ms podem resultar em conversas ininteligíveis, com voz e vídeo sendo “cortados”. O ideal para estes serviços são atrasos inferiores a 150 ms, as soluções 2, 3, 4, 5 e 6 conseguiram obter nos três cenários atrasos inferior a 50 ms. Já a solução 1, obteve atraso superior a 400 ms para o serviço de VoIP e a 350 ms para videoconferência o que pode levar a degradação destes serviços.

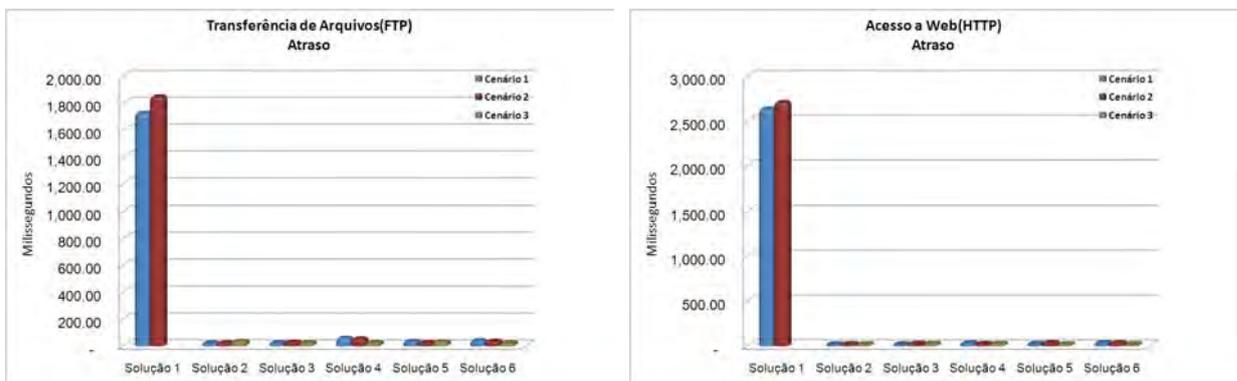
Os serviços de taxa de bits disponível FTP, HTTP e Disseminação de Dados possuem baixa

⁴O nível de significância é probabilidade de se rejeitar uma hipótese nula que é verdadeira.

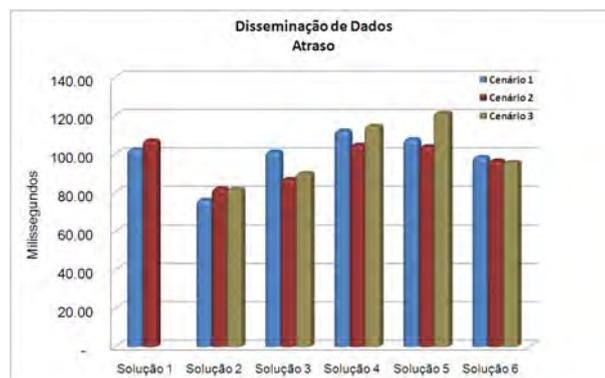


(a) Atraso médio dos pacotes para o serviço de Telefonia IP(VoIP). (b) Atraso médio dos pacotes para o serviço de Videoconferência.

Figura 5.4: Gráficos de atraso médio dos pacotes na rede em malha sem fio para os serviços de taxa de bits constante e taxa de bits variável de tempo real.



(a) Atraso médio dos pacotes para o serviço de Transferência de Arquivos(FTP). (b) Atraso médio dos pacotes para o serviço de Acesso à Web(HTTP).



(c) Atraso médio dos pacotes para o serviço de Disseminação de Dados.

Figura 5.5: Gráficos de atraso médio na rede em malha sem fio para os serviços de taxa de bits disponível empregando.

sensibilidade ao atraso. Longos atrasos podem levar o usuário a desistir do arquivo ou acesso a página Web. No caso do serviço de Disseminação de Dados nas RSSF os dados podem não ter mais validade se o atraso for longo. Para o serviço de FTP e HTTP (que são similares) a ar-

quietura de melhor esforço (solução 1) possui atraso médio de 2233,43 ms (aproximadamente 2,3 s) mais de três vezes superior ao máximo aceitável definido na Tabela 5.4. Com esse atraso, uma página de 240 bytes levaria em média 9.2 s para ser exibida usando a solução 1 contra 0,12 s nas demais soluções. O atraso médio para o serviço de FTP e HTTP, na solução Mandarin foi 32,39 ms e usando o RSVP 26,01 ms.

Para o serviço de Disseminação de Dados, ambas as soluções tiveram atraso inferior ao máximo aceitável, 600 ms. Para este serviço, a solução 2 obteve resultado melhor do que as demais soluções. Ao aplicar o teste t sobre as médias deste serviço, não podemos dizer que há diferenças significativas nos resultados das soluções 1, 3, 4, 5 e 6, mas podemos afirmar que há diferenças significativas entre solução 2 e as demais, sendo a com melhor desempenho neste serviço.

O serviço de Disseminação de Dados é essencial para analisar o comportamento das soluções na provisão e negociação intra-redes, dado que o mesmo só é provido dentro das RSSF. Todo o fluxo de dados deste serviço é direcionado ao servidor da rede (ponto de acesso) sobrecarregado os nós próximos a ele com a tarefa de roteamento dos dados. Como todos os nós da RSSF enviam os dados coletados para o ponto de acesso, os pacotes dos nós mais próximo chegaram primeiro e se a rede estiver sobrecarregada os mais distantes podem ter os pacotes perdidos. Não podemos concluir que as soluções 1, 3, 4, 5 e 6 possuem desempenho iguais para este serviço e nem que a solução 2 é a melhor. A quantidade de perda de pacotes deve ser analisada para uma conclusão mais assertiva.

Outro fato importante, é que as soluções que implementam a solução Mandarin, tiveram (em sua maioria) resultados melhores no cenário 2 e 3 em relação ao cenário 1. Este fato demonstra a capacidade de escalabilidade da solução. Um dos motivos que podem ter levado a um melhor desempenho da solução Mandarin ao aumentar o número de elemento de rede, é o aumento conseguinte do número de rotas. Rotas pouco acessadas impactam menos no consumo de energia dos elementos de rede e conseqüentemente há uma redução no custo (para cálculo do custo neste trabalho veja 5.2.3). Os agentes autônomos priorizam as rotas com custo menor, mas ao priorizá-las o custo aumenta e as rotas não usadas terão o custo reduzido, fazendo com que os agentes passem a adotá-la novamente. Essa dinamicidade faz com que os recursos da rede sejam usados de forma homogênea. O mesmo não acontece com a solução 1 e 2.

Na solução 1, não há diferenças significativas no atraso entre os cenários 1 e 2. Já a solução 2, há um aumento significativo no atraso ao mudar do cenário 1 para o 2 e 3. Este aumento no atraso na solução 2, é ocasionado porque a solução não busca alternativas de rotas, sendo totalmente dependente do protocolo de roteamento.

Aplicando o teste t não podemos afirmar que há diferenças significativas nos resultados obtidos pelas soluções que empregam a solução Mandarin, mas há diferenças se comprado com as soluções 1 e 2.

5.3.2 Jitter

O *Jitter* J é a diferença D correspondente ao espaço de tempo entre a chegada de um par de pacotes, comparado com os tempos estampados neste par de pacotes no momento do envio. Neste trabalho o *jitter* foi calculado continuamente pela equação 5.5⁵ filtrada desta diferença e pela equação 5.4 que retorna o *jitter* instantâneo.

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) \quad (5.4)$$

$$J = (J + (|D(i-1, i)| - J)/16 \quad (5.5)$$

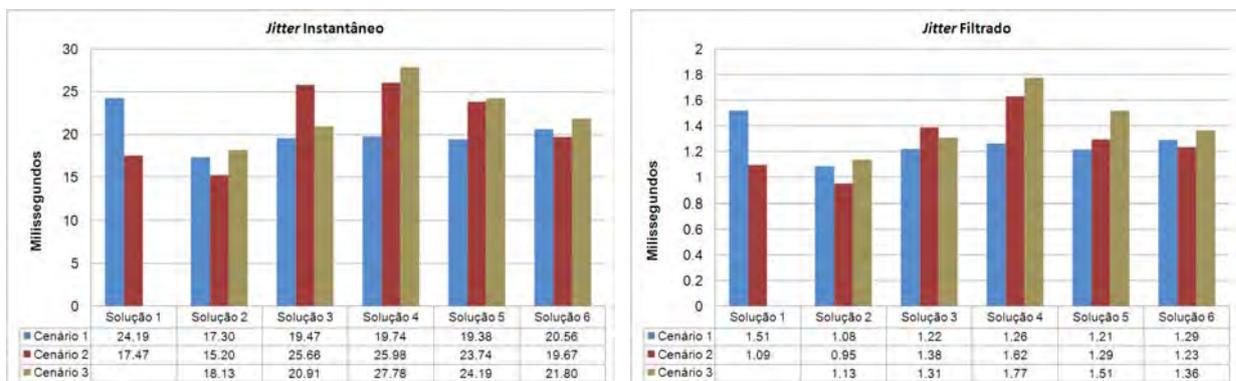


Figura 5.6: Gráficos representado os valores médios do jitter filtrado e instantâneo na rede em malha sem fio, considerando todos os serviços providos por esta. É apresentado o resultado das seis soluções empregadas para avaliação da solução Mandarin.

O *jitter* filtrado esconde os valores instantâneos do *jitter* em detrimento das médias. Por esse motivo, é apresentado no gráfico da Figura 5.6 o valor médio para o jitter instantâneo e para o filtrado. A média do *jitter* para todas as soluções foi baixa, o que implica em pouca variação no atraso, Figura 5.6(b). Isso mostra que o comportamento da rede em malha sem fio, durante as simulações, foi estável em relação ao atraso dos pacotes para ambas as soluções.

⁵O algoritmo usado em J usa um estimador empírico com parâmetro de ganho $1/16$, o que segundo a RFC dá uma boa redução da taxa de ruído (ocasionado por picos de jitter), enquanto mantém uma taxa razoável de convergência.

Aplicando o teste t sobre a média do *jitter*, o resultado indica que não há diferenças significativas entre a solução 1 e as demais, mas há diferença entre a solução 2 e as que usam a solução Mandarin. De uma maneira geral ambas as soluções tiveram um bom resultado para essa métrica.

5.3.3 Perda de Pacotes

Em redes de comunicação, o envio de pacotes de uma origem a um destino pode não ser bem sucedida, ocasionando a perda de pacotes. A perda ocorre por diversos motivos. Nas redes sem fio, com as redes em malha sem fio, o principal motivo da perda de pacotes é a colisão que ocorre quando mais de um elemento tenta transmitir simultaneamente dentro de um mesmo raio. Para evitar colisões, os protocolos da família IEEE 802.11 estipula mecanismos de negociação para transmissões. Segundo Akyildiz et al. (AKYILDIZ; XIE; MOHANTY, 2004) e Tanenbaum (TANENBAUM, 2002), a maior causa de perda de pacotes em redes sem fio se deve ao ruído no enlace aéreo.

A Figura 5.7 apresenta a porcentagem de pacotes perdidos considerando todos os serviços providos na rede em malha sem fio simulada neste trabalho. O Mandarin obteve um melhor desempenho em relação as demais soluções. Em relação a solução 1, houve uma redução média de 67% para o cenário 1 e 70% para o cenário 2. Comparando com a solução 2, as soluções ao usar a solução reduziram em 41%, 38% e 44% a perda de pacotes para os cenários 1, 2 e 3 respectivamente.

As perdas de pacotes foram ocasionadas, principalmente, devido ao congestionamento nos roteadores de bordas e nós próximos a estes. A utilização de forma indiscriminada destes roteadores, comprometem o desempenho da rede. Para a solução 1, o percentual de perda de pacotes chega a 87%, no cenário 2, implicando na degradação dos serviços prestados na rede.

Tanto o protocolo RSVP, quanto o solução Mandarin fazem reservas nos roteadores de borda, controlando o fluxo de dados nestes. Pelos resultados houve um melhor desempenho das soluções que usam a solução Mandarin em relação ao protocolo RSVP. Um dos motivos que levam ao melhor desempenho, é o fato da solução Mandarin balancear o uso dos recursos da rede. A quantidade de fluxo assumidos pelos roteadores da rede tendem a ser similares.

A Figura 5.8 apresenta o percentual de perda de pacotes para os serviços de VoIP, videoconferência e disseminação de dados que operam com o protocolo UDP para transporte de dados. O protocolo UDP não garante a entrega dos pacotes e portanto, também não faz retransmissões dos mesmos. Este protocolo, deve ser utilizado por aplicações tolerantes a perda de pacotes. As

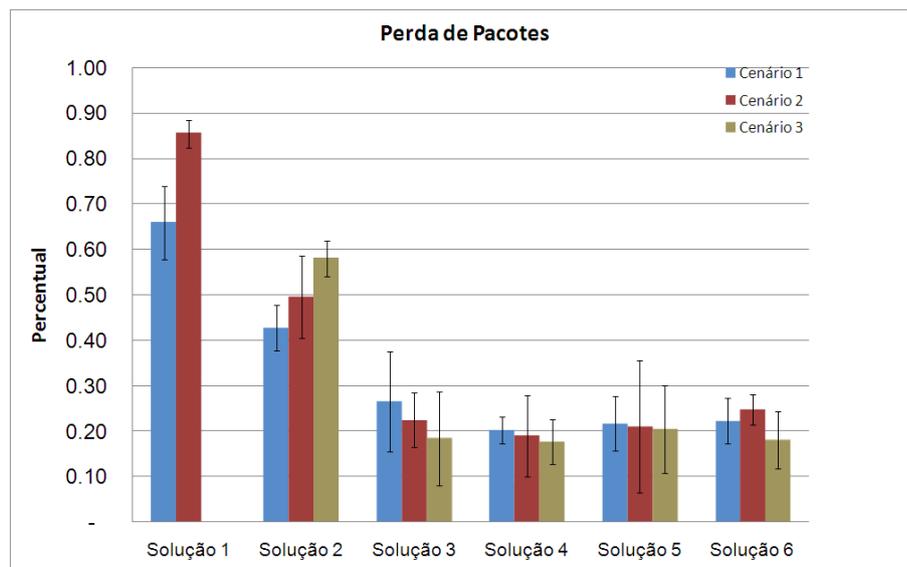
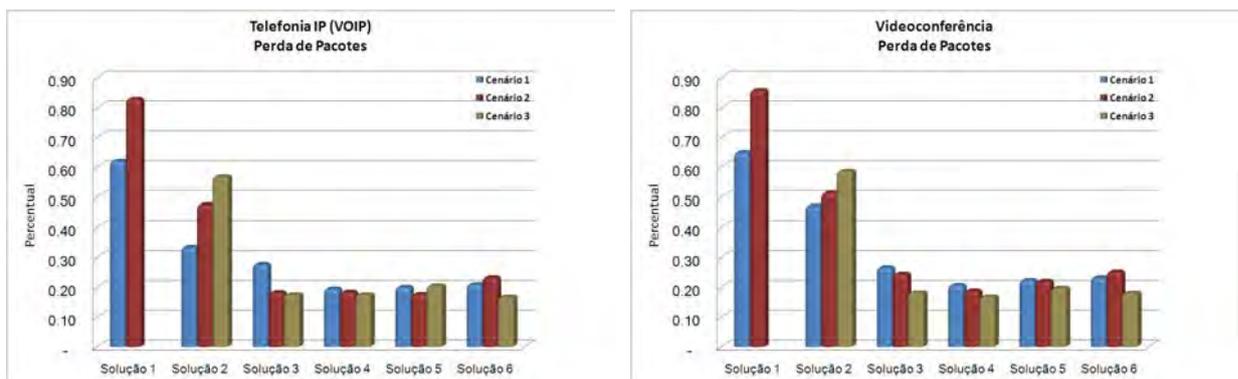
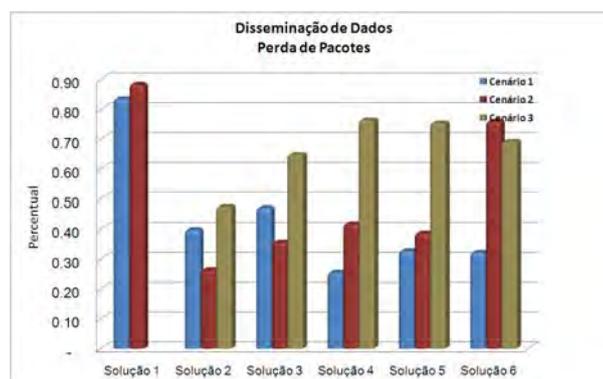


Figura 5.7: Percentual médio de perda de pacotes nas redes em malha sem fio.



(a) Percentual médio de perda de pacotes para o serviço de Telefonia IP(VoIP). (b) Percentual médio de perda de pacotes para o serviço de Videoconferência.



(c) Percentual médio de perda de pacotes o serviço de Disseminação de Dados.

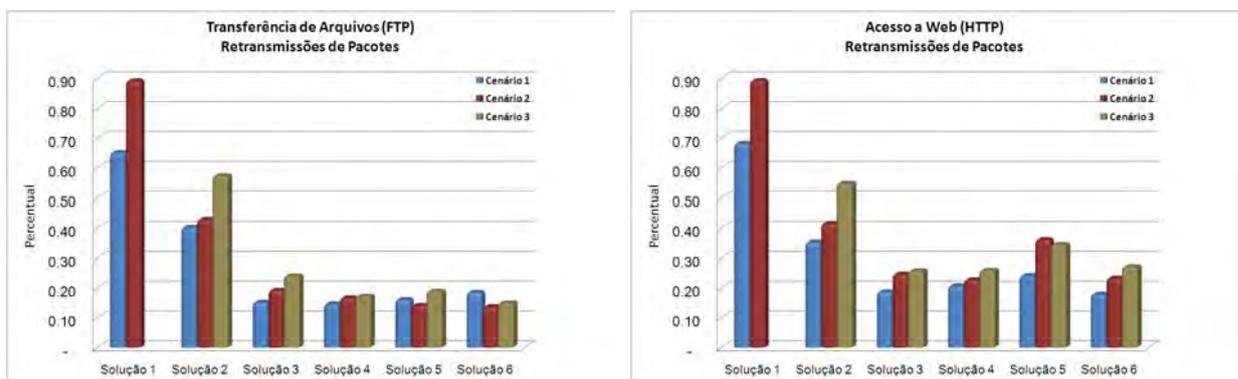
Figura 5.8: Gráficos de perda de pacotes na rede em malha sem fio para os serviços que utilizam o protocolo de transporte UDP.

aplicações de VoIP e de videoconferência têm algoritmos para correção de erro, fazendo com que até 20% de pacotes perdidos não implique em perdas significativas na qualidade do serviço

para o usuário. O serviço de disseminação de dados tolera 30%, este valor é estipulado pelo projetista da rede.

Para os serviços de de VoIP e videoconferência a solução Mandarin obteve os melhores resultados, em relação as demais soluções, para todos os cenários simulados. O percentual de perdas para estes serviços ficou dentro do máximo aceitável (20%), exceto para a solução 3 - cenário 1 e solução 6 - cenário 2. Já para o serviço de disseminação de dados, a solução Mandarin não conseguiu reduzir suficientemente a perda de pacotes, ficando acima máximo aceitável (30%) para a solução 3 - cenário 1 e para todos as outras no cenário 2 e 3.

Pode-se notar também no gráfico da Figura 5.8(c) que o aumento do número de elementos de redes, do cenário 1 para o cenário 3, ocasionou um aumento significativo no percentual de perda de pacotes para o serviço de disseminação de dados em todas as soluções. O mesmo não ocorre para os serviços de VoIP e videoconferência nas soluções 3 a 6. Este fato, demonstra que a solução Mandarin é mais escaláveis e menos suscetivas a variações na quantidade de nó do que as outras.



(a) Percentual médio de retransmissões de pacotes para o serviço de Transferência de Arquivos(FTP). (b) Percentual médio de retransmissões de pacotes para o serviço de Acesso à Web(HTTP).

Figura 5.9: Gráficos de retransmissões de pacotes na rede em malha sem fio para os serviços que utilizam o protocolo de transporte TCP.

Para os serviços de taxa de bits constante (FTP e HTTP) não há perda de pacotes a nível de aplicação pois, o protocolo TCP garante a entrega dos pacotes. Durante as simulações, foi obtido a quantidade de pacotes retransmitidos⁶ pelo TCP que, diferem da quantidade de pacotes perdidos na rede. A Figura 5.9 apresenta o percentual médio de retransmissões para estes serviços.

A solução Mandarin reduziu em média 73% e 53% o número de pacotes retransmitidos pelo TCP em relação as soluções 1 e 2 respectivamente. A redução do número de pacotes

⁶A retransmissão ocorre quando o tempo máximo para a confirmação de recebido do pacote pelo destinatário é excedido, devido a perdas de pacotes ou atraso excessivos na rede.

retransmitidos na rede implica em um menor consumo, desnecessário, dos recursos da rede e uma menor quantidade de pacotes trafegando na rede.

Finalizando, a aplicação do teste t, indica que não há diferenças significativas entre as soluções que empregam a solução Mandarin. Os resultados destas soluções são distintos dos resultados obtidos pelas soluções 1 e 2, como indica o teste t. Assim, pode-se afirmar que houve uma melhora significativa na rede em malha sem fio e nos serviços por ela providos na solução Mandarin em detrimento das outras.

5.3.4 Consumo de Energia

A energia é o recurso responsável pelo funcionamento dos elementos de redes. Nas redes sem fio, a fonte energética destes é uma bateria que armazena uma certa quantidade de energia. Uma vez consumida a energia da bateria, a mesma deve ser substituída ou recarregada e nem sempre isso é possível. A falha por esgotamento de energia de um ou mais elementos de redes, reduz a produtividade da rede ocasionando, perda de conectividade, quebra de rotas, entre outros problemas. Por esses motivos, na escolha de uma solução para provisão e negociação de serviços em redes sem fio, deve ser levado em consideração o impacto da solução no consumo de energia dos nós das redes.

Neste trabalho, os nós consomem energia na transmissão, recepção e geração de dados e o consumo pelos nós serve como base de comparação entre as soluções simuladas.

O gráfico da Figura 5.10 apresenta o consumo médio dos dispositivos ao término das simulações. Pode-se notar, que o aumento do número de elementos de redes faz com que o consumo médio dos elementos também aumente. Este fato era esperado uma vez que os elementos de redes estão roteando um maior número de pacotes e essa tarefa consome uma considerável quantidade de energia, veja Tabela 5.2.

Analisando os dados do gráfico da Figura 5.10, as soluções baseadas no Mandarin, conseguiram reduzir em 61% (20 joules) e 23% (3,79 joules) o consumo de energia no cenário 1 em comparação com a solução 1 e 2 respectivamente. Numericamente, as soluções 3 e 6 tiveram um desempenho inferior às soluções 4 e 5 no cenário 1. Ao aplicar o teste t, não pode-se afirmar que há diferenças significativas no consumo de energia entre as soluções bilaterais e hierárquicas. Este fato, é comprovado no cenário 2 e 3 onde a solução 5 teve um desempenho inferior às soluções 3 e 6.

Para o cenário 2, nas soluções 3 e 4 os nós consumiram menos energia do que nas demais soluções. A solução 1 teve o pior desempenho e a solução 5 consumiu 3% (0,54 joules) a mais

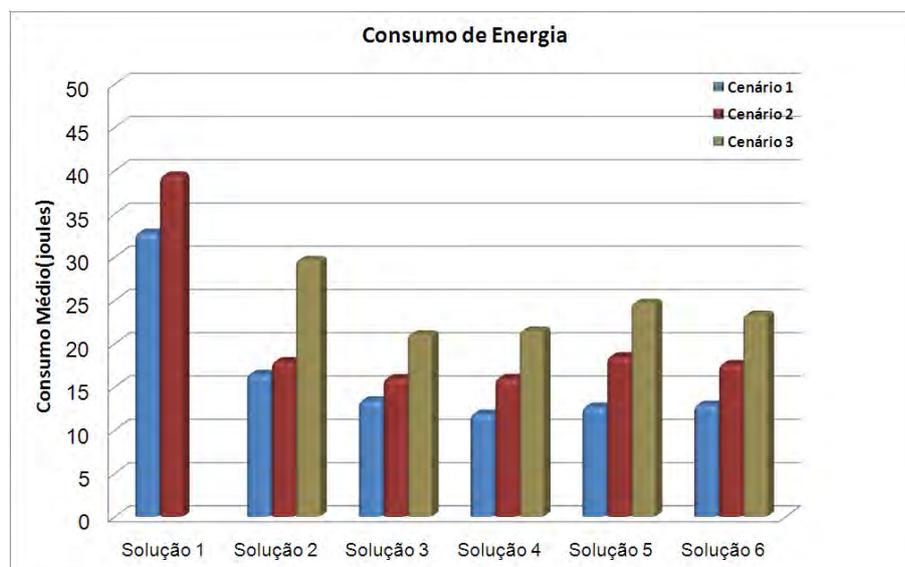


Figura 5.10: Consumo médio de energia dos elementos de rede ao término das simulações.

de energia do que a solução 2 mas, não podemos afirmar qual das duas soluções é a melhor ao aplicar o teste t. Em média a solução 2 reduziu em 45% (17,72 joules) o consumo de energia em relação a solução 1 neste cenário, enquanto as demais soluções reduziram em 57% (22,45 joules).

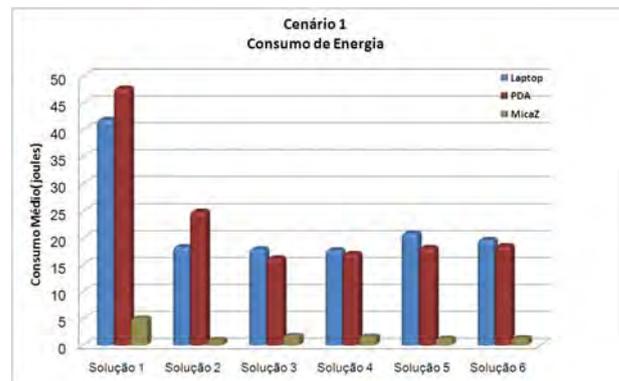
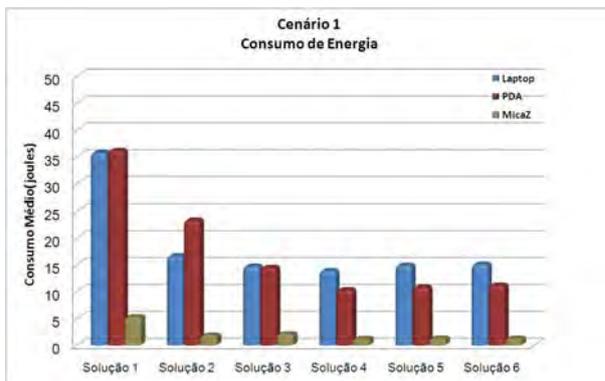
No cenário 3, as soluções que empregam o Mandarin reduziram em média 24% (7,13 joules) o consumo de energia dos elementos de redes em relação a solução 2. Não foi simulado a solução 1 para este cenário.

O consumo de energia difere-se entre os tipos de dispositivos. Os nós sensores baseados no MicaZ e consomem 85% menos energia que os laptops e PDAs independente da solução, mas possuem maiores limitações de hardware. Além da diferença no consumo de energia entre os dispositivos, outro fator, que impacta neste consumo é a mobilidade dos elementos. Elementos moveis tendem a consumirem mais energia que elementos estacionário pois, um maior número de pacotes de controle é transmitidos. Estes pacotes de controle visam manter a rota dos elementos moveis e negociar o acesso às redes ao passar de uma rede (domínio) para outra.

Os gráficos da Figura 5.13 apresentam o consumo médio de energia de cada tipo de dispositivo nos cenários simulados.

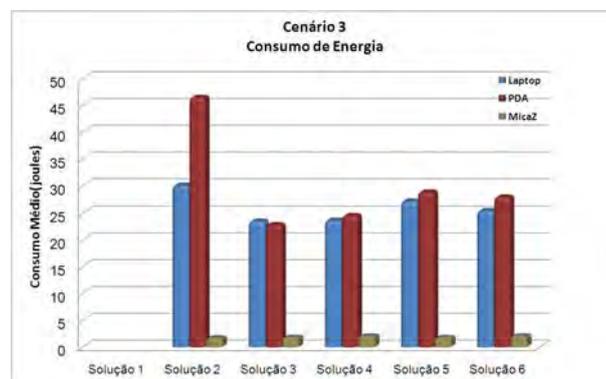
Os PDAs consomem menos energia com processamento (85%), transmissão (8%) do que os laptops, mas consomem mais energia com recepção (4%) do que estes. O maior gasto de energia destes dispositivos esta relacionado a transmissão e recepção de pacotes. Por esse motivo, os PDAs deveriam ter consumo semelhantes ou inferior aos laptops. Nas simulações os PDAs representam elementos de redes moveis transmitindo, um maior número de pacotes e

conseqüentemente consumindo mais com transmissão e recepção do que os laptops. Este fato pode ser observado nas simulações da solução 2 onde os PDAs consumiram 40%, 36% e 54% a mais de energia em relação aos laptops nos cenários 1, 2 e 3 respectivamente. Na solução 1 houve um aumento de 1% no cenário 1 e 13% no cenário 2. Já nas soluções baseadas no Mandarim os PDAs consumiram em média 20% menos energia que os laptops no cenário 1, 10% no cenário 2 e 4% a mais no cenário 3. Pode-se notar que a solução 2 teve um pior resultado sobre dispositivos moveis.



(a) Consumo médio de energia dos elementos de rede no cenário 1.

(b) Consumo médio de energia dos elementos de rede no cenário 2.



(c) Consumo médio de energia dos elementos de rede no cenário 3.

Figura 5.11: Gráficos representando o consumo médio de energia de cada tipo de elemento de rede ao término das simulações.

Aplicando o teste t, pode-se dizer que houve uma melhora significativa na redução do consumo de energia ao usar a solução Mandarim em relação a solução 1 e 2. A solução 2, também conseguiu melhoras significativas em relação a solução 1.

5.3.5 Taxa de Transmissão

A taxa de transmissão refere-se a quantidade de bits que cada aplicação transmite por segundo. Neste trabalho foi estabelecido que as soluções 1 e 2 devem transmitir à uma taxa cons-

tante dependente do serviço, veja Tabela 5.5. As soluções que usam a solução Mandarinim pode ajustar dinamicamente a taxa de transmissão durante a negociação de serviços. O algoritmo de negociação da camada de negociação de serviços da solução tenta negociar uma taxa próximo ao definido para os serviços, conforme a Tabela 5.5. Essa flexibilidade na negociação da taxa de transmissão permite ao agentes autônomos acordarem valores inferiores ao pré-definido, o que não é possível usando o RSVP.

Nos cenários simulados, a taxa de transmissão para as soluções 1 e 2 permaneceram constantes, em média 129,60 Kbps. Para as soluções baseados no Mandarinim a taxa de transmissão negociada foi em média 1% superior ao requisitado, em média 130,00 Kbps. Mesmos os agentes autônomos tentando obter taxa elevadas de transmissão de dados, a taxa de transmissão ficou próxima ao desejado.

5.3.6 Vazão Efetiva

A taxa de transmissão é uma medida da quantidade de bits enviados pelo transmissor, mas não corresponde à quantidade de bits recebidos pelo receptor. É desejável que a quantidade de bits recebido seja igual a quantidade transmitidas, mas como visto na Seção 5.3.3, frequentemente ocorre perdas de pacotes nas rede sem fio. Assim, a vazão efetiva deve mensurar a quantidade de bits recebidos em relação ao transmitidos, considerando a perda de pacotes.

O gráfico da Figura 5.12 apresenta a vazão efetiva média sem discriminar os serviços. Ao analisar o gráfico, apesar de todas as soluções terem taxa de transmissão similares, a vazão efetiva da solução 1 foi 63% inferior à taxa de transmissão no cenário 1 e 85% no cenário 2, o que torna inviável o uso desta solução para negociação de serviços multimídias.

A solução 2, apesar de reservar largura de banda para os fluxos de dados, teve uma vazão efetiva inferior a 46%, 50% e 57% ao requisitado nos cenários 1, 2 e 3 respectivamente. Já as soluções baseadas na solução Mandarinim tiveram vazão inferior a 21%, 19% e 13% ao requisitado nos cenários 1, 2 e 3 e 42% superior à solução 2 e 228% em comparação com a solução 1.

Os gráficos da Figura 5.4 apresentam a vazão efetiva para cada serviço nos 3 cenários simulados. Os serviços de FTP e HTTP, não necessitam de grande largura de banda e não são sensíveis a variações na vazão, podendo funcionar corretamente com qualquer largura de banda.

Para os serviços de VoIP e videoconferência usando o Mandarinim, a vazão efetiva foi inferior ao requisitado, como apresentado na Figura 5.4, mas se encontra próxima ao limiar aceitável se for considerado o percentual máximo (20% do pacotes) de perda de pacotes. A vazão efetiva

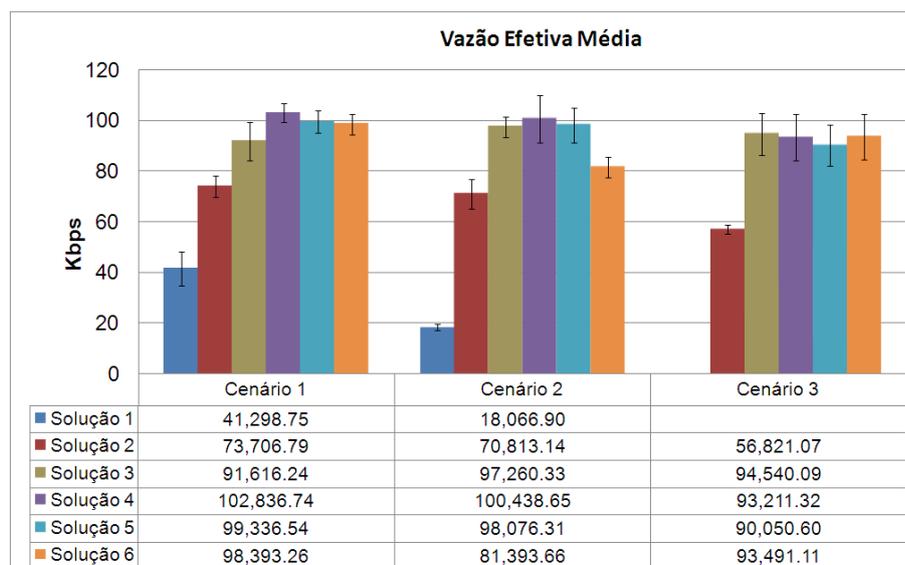


Figura 5.12: O gráfico apresenta a vazão efetiva média alcançada pelas soluções ao término das simulações.

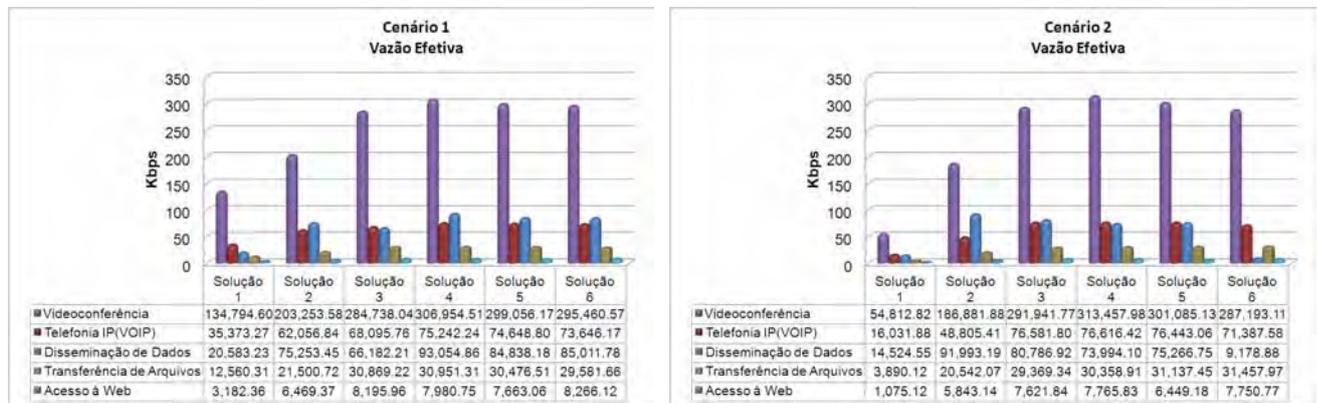
desejada para os serviços de VoIP foi definida em 93,6 Kbps (74,88 Kbps considerando a perda de pacotes) e 384 Kbps (307,2 Kbps com perda), o alcançado pelas soluções Mandarin ficou em média 74,89 Kbps para VoIP e 303,36 Kbps para videoconferência em todos os cenários. Com essas taxas é possível alcançar uma boa qualidade de transmissão de imagem e som, tendo uma pequena degradação dos serviços prestados.

A solução 4, apresentou os melhores resultados, alcançando vazão efetiva de 76,37 Kbps e 314,04 Kbps para VoIP e videoconferência respectivamente. Essa solução permite ao agente autônomo negociar e definir rotas de forma mais eficiente escolhendo por exemplo, rotas menos sobrecarregadas em detrimento de outras. Assim, os agentes conseguem reduzir o congestionamento na rede e conseqüentemente, o número de pacotes perdidos, aumentando a vazão efetiva.

Nos gráficos da Figura 5.13 nota se, pouca variação na vazão efetiva nos cenários ao usar a solução Mandarin. Essa baixa variação reforça a afirmação que a solução Mandarin conseguiu manter o nível de qualidade dos serviços independente da quantidade de elementos de redes. O mesmo não ocorre com as soluções 1 e 2.

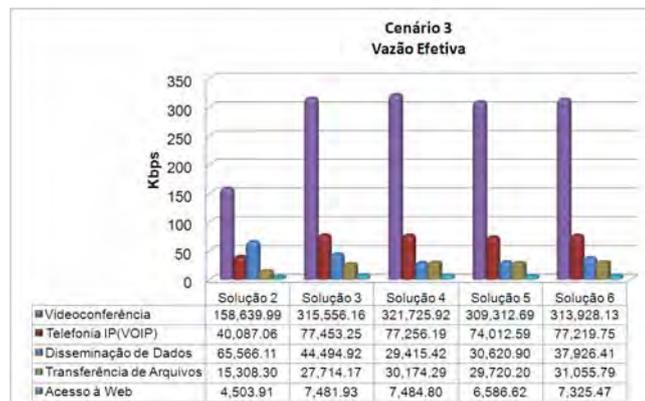
Nas soluções 1 e 2, os serviços de VoIP e videoconferência tiveram nível de qualidade reduzido ao aumentar a quantidade de elementos de rede. Para estes serviços, a vazão efetiva na solução 1 foi 35,37 Kbps e 134,79 Kbps no cenário 1 enquanto, no cenário 2 ficou em 16,03 Kbps e 54 81. Já na solução 2, a vazão efetiva para o serviço de VoIP foi 62,05 Kbps, 48,80 Kbps e 40,08 Kbps, para videoconferência 203,25 Kbps 186,88 Kbps e 158,63 Kbps

nos cenários 1, 2 e 3 respectivamente. A degradação destes serviços nas soluções 1 e 2 torna inviável a implementação de serviços multimídias nas redes em malha sem fio, sem a redução da qualidade de imagem e som dos mesmos.



(a) Vazão efetiva no cenário 1.

(b) Vazão efetiva no cenário 2.



(c) Vazão efetiva no cenário 3.

Figura 5.13: Os gráficos da figura apresentam a vazão efetiva na rede discriminada por serviços providos.

O serviço de videoconferência neste trabalho tem resolução de 352 x 288 pixels e faz, amostragem de 15 quadros por segundo. Se reduzir a resolução para 176 x 144 pixels, mantendo a taxa de amostragem, são necessários 96,00 Kbps para transmissão dos dados. Essa redução torna possível usar a solução 2, mas há uma grande perda de qualidade para os usuário de dispositivos como laptops e PDAs que trabalham com resoluções muito superior a está.

O serviço de VoIP modelado neste trabalho, utiliza o *codec G.711*⁷ com taxa de amostragem de 64 Kbps, necessitando de 93,6 Kbps de vazão para funcionar adequadamente. A adoção de outros tipos de *codec* que faça uma compressão de dados mais eficiente ou reduza a taxa de amostragem pode reduzir a largura de banda necessária para funcionamento do serviço de VoIP. Por exemplo, o *codec G.729* trabalhando com uma taxa de amostragem de 8 Kbps, consome

⁷Ele codifica um único canal de voz realizando a amostragem 8000 vezes por segundo com amostras de 8 bits, a fim de fornecer voz descompactada a 64 kbps

37,6 kbps da largura de banda. O *codec G.729* causa uma significativa redução na qualidade da voz para o usuário e, mesmo se adotado na solução 1, não a torna viável para prover este serviço. Já a solução 2, é viabilizada, mas com o aumento do número de nós pode se tornar inviável também.

5.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou um estudo de caso para a avaliação da solução Mandarin para provisão e negociação de serviços proposta nesta dissertação. Primeiramente foi caracterizado a rede em malha sem fio simulada neste trabalho, as características dos dispositivos e redes que compõe a rede em malha sem fio. Também foram apresentados os serviços simulados e os seus requisitos de qualidade de serviços.

Foram realizadas análises do comportamento da rede em malha sem fio ao utilizar seis soluções distintas para provisão e negociação de serviços. Dentre essas soluções, quatro usam a solução Mandarin, uma a arquitetura de melhor esforço e uma a arquitetura de serviços integrados usando o protocolo RSVP. Os resultados das soluções foram confrontados a fim de realizar uma análise comparativa entre as soluções. Com a comparação foi possível determinar que as soluções 1 e 2 apresentam dificuldades para manter a qualidade dos serviços prestados na rede enquanto, as soluções com o Mandarin tiveram um bom desempenho.

O desempenho das soluções foi mensurado baseado em seis métricas avaliação de desempenho: atraso, *jitter*, perda de pacotes, consumo de energia, taxa de transmissão e vazão efetiva. Para aplicações multimídias, atraso, *jitter* e vazão efetiva são os principais requisitos de qualidade de serviços. Ao empregar a solução Mandarin, a qualidade de serviço requisitada por essas aplicações ficou acima do desejável para a métrica atraso e *jitter* e, foi satisfatória em relação à métrica vazão efetiva. A arquitetura de melhor esforço não conseguiu alcançar a qualidade de serviços requisitada e a arquitetura de serviços integrados teve uma vazão efetiva insuficiente para essas aplicações.

Pode-se notar pelos resultados da Seção 5.3, que a arquitetura de melhor esforço pode acarretar perda de pacotes, excessivos atraso fim-a-fim, variação de atraso e vazão efetiva. Por isso, essa arquitetura obteve o pior desempenho dentre as soluções simuladas para todos os serviços. Já a solução Mandarin, essa obteve o melhor desempenho e a arquitetura de serviços integrados usando o RSVP teve desempenho razoável para as aplicações de transferência de arquivo e acesso a web.

Dentre as quatro soluções implementadas baseadas no Mandarin não é possível afirmar qual

é a melhor para todos os serviços em todas as métricas. Ao aplicar o teste t sobre essas soluções não há diferenças significativas entre as soluções. Contudo, discriminado os serviços para cada métrica, a solução 4 teve os melhores resultados para aplicações multimídias.

6 Conclusão

Este capítulo condensa os esforços empregados na elaboração da solução Mandarin para negociação de serviços com QoS em redes em malha sem fio apresentados no decorrer desta dissertação. Conclusões e algumas observações a respeito do trabalho são apresentadas assim como, oportunidades de pesquisa futuras.

As redes em malha sem fio têm se beneficiado dos avanços nas comunicações sem fio, circuitos integrados e microeletrônica observados ao longo da última década. De uma taxa de transmissão de 11 Mbps na versão b do protocolo IEEE 802.11, os padrões novos, como IEEE 802.16, já transmitem a 120 Mbps a uma distância de 50 quilômetros e prevêm equipamento dotado de múltiplas antenas. No contexto das aplicações as redes em malha sem fio estão sendo implantadas para prover acesso à Internet a redes de centro educacionais e na construção de cidades digitais, oferecendo infra-estrutura de comunicação sem fio em ambiente metropolitano aos cidadãos da mesma. Exemplos de projeto piloto que utiliza redes em malha sem fio são o ReMesh em Niterói/RJ (FLUMINENSE, 2008), RoofNet no MIT (AGUAYO et al., 2004), Google Mesh na Califórnia (GOOGLE, 2007) e VMesh na Grécia (TSARMPOPOULOS; KALAVROS; LALIS, 2005).

Apesar dos recentes avanços das tecnologias usadas nas redes em malha sem fio, muitos desafios permanecem, por exemplo, a forma de prestação adequada de QoS (*Quality of Service*) dos serviços, em especial os multimídias, providos por essas redes é um problema crucial e foi o tema abordado por essa dissertação. Para uma prestação adequada de QoS, esta dissertação propôs uma solução, denominada Mandarin, que negocia os serviços providos dentro das redes em malha sem fio usando agentes autônomos.

O agente autônomo, conseguiu manter o nível de qualidade dos serviços acordados e foi decisivo para o bom desempenho da solução Mandarin. Exceto, quando usados na provisão do serviço de disseminação de dados. O mal desempenho da solução para este serviço pode ter como causa as rígidas restrições largura de banda da rede que o simulou. A vazão efetiva, ao usar a solução Mandarin, foi em média 42% superior ao RSVP e 228%, se usado a arquitetura

de melhor esforço. Houve uma redução de 36.75% no consumo de energias dos nós e de 63% do número de pacotes retransmitidos pelo TCP. A solução reduziu também o número de pacotes perdidos em 68.5% e 41% e o atraso em 96% e 26% em relação à arquitetura de melhor esforço e ao RSVP respectivamente.

Os resultados (apresentados na Seção 5.3) da arquitetura de melhor esforço e arquitetura de serviços integrados (usando RSVP) indicam que essas arquitetura não são viáveis para provisão de serviços multimídias, causando uma alta degradação destes serviços. Essa degradação ocorreu mesmo efetuando a reserva de banda para os fluxos de dados dos serviços pelo RSVP. Isso demonstra, que para redes em malha sem fio, não deve ser considerado, somente o parâmetro largura de banda na negociação de serviços. Nota-se também, uma degradação contínua dos serviços ao aumentar o número de nós na RMSF usando essas arquiteturas. Isso demonstra, que estas arquiteturas não são escaláveis quando aplicadas nas RMSFs. Este fato não ocorre com a solução Mandarin, cujo os resultados foram similares nos 3 cenários simulados para a maioria das métricas de avaliação de desempenho.

Os agentes autônomos operam em um ambiente de negociação próprio dividido em cinco camadas: (i) Provisão de Serviço, responsável pela comunicação entre os nós da rede e especificação dos serviços; (ii) Negociação de Serviço, atribui valores aos itens dos arranjos de critérios e negocia os mesmos usando os agentes autônomos; (iii) Regras de Negócio, define as regras necessárias para provisão de serviços; (iv) Touchpoint, é uma interface genérica para obter informações e configurar os diferentes tipos de elemento de rede; (v) Tarefas Automatizadas, implementa funções específicas para o elemento de rede e monitora o mesmo.

A divisão em camadas do ambiente permitiu discutir uma parcela específica e bem definida do processo de provisão e negociação de serviços. Isso facilitou na identificação das tarefas básicas que devem ser implementadas na solução Mandarin. Essas tarefas foram apresentas na Seção 5.2.3. Dividir o ambiente de negociação em camadas permite que uma ou mais camadas estejam armazenadas em nós diferentes. Para os nós das RMSF isso é importante, pois permite que nós com limitações de recursos computacionais deleguem algumas tarefas da solução Mandarin a nós com maior capacidade computacional.

Com relação a implementação dos agentes autônomos, o uso em conjunto da regra Delta com a ferramenta de *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) mostrou-se eficaz, dispensando a manipulação de grandes volumes de dados por técnicas como redes neurais ou sistemas difusos. A negociação de serviços feitas pelos agentes autônomos foi realizada de forma autônoma, necessário apenas a previa configuração dos requisitos de QoS dos serviços e definição de regras de negocio. A negociação com um mínimo de interferência humana possível é uma

necessidade das redes em malha sem fio devido a periodicidade que essas podem ocorrer, sendo inviável que a mesma seja feita manualmente (pelo usuário).

Opções de pesquisa futuras que podem estender este trabalho são várias. De imediato, do *touchpoint* proposto nessa dissertação pode ser gerado um *framework* para acesso e controle dos recursos dos principais dispositivos sem fio usados nas redes em malha sem fio. O *framework* pode se tornar mais robusto se forem incorporados mecanismos de predição do estado operacional do nó e tarefas automatizadas para o ajuste do nó, do sistema e ou da própria rede. Outra oportunidade de pesquisa a ser explorada futuramente está no desenvolvimento e incorporação de protocolos de roteamento específicos para os agentes autônomos. Ao usar o protocolo AODV, os agentes autônomos não têm flexibilidade para buscar rotas com desempenho melhor, são obrigados a negociarem serviços nas rotas descobertas pelo protocolo. Isto é minimizado, quando os agentes usam o modelo de negociação hierárquico, mas nem sempre a adoção deste modelo é possível.

Apêndice A – Agentes autônomos

Neste trabalho, as redes que negociarem serviços ao usar a arquitetura Mandarin, devem fazê-la de forma autônoma, ou com um mínimo de interferência humana possível. Isso é desejável, ao observar que, o ambiente de uma rede em malha sem fio possuem características, como conectividade sujeita a interferência, topologia dinâmica, diversidade de tipos de redes e serviços disponíveis, que tornam a tarefa de negociação (que deve levar em conta essas características) complexa para ser realizada manualmente. Dentro deste contexto, o presente trabalho implementa agentes autônomos para decidir as relações de consumo entre provedores e consumidores.

Um agente autônomo é uma unidade que interage com seu ambiente (o qual provavelmente consiste de outros agentes), mas que age independentemente de todos os outros agentes. Ou seja, ele não possui idéia de um plano global que ele deveria estar seguindo (FLAKE, 2000). Em outras palavras, um agente autônomo simplesmente cuida de seus próprios interesses. Segundo Flake (FLAKE, 2000) os agentes autônomos representam bem o paradigma de um sistema distribuído e a interação entre eles pode criar uma ordem global, a auto-organização do sistema. Esse processo de auto-organização pode ser visto em diferentes fenômenos como, super-organismos, coletividade animais e sistemas econômicos (FLAKE, 2000). Os agente autônomo devem ser capazes de adaptar ao ambiente e suas condições em que se encontram.

Em um sentido amplo, adaptação é um processo repetitivo em que as mudanças externas em um ambiente são refletidas em mudanças internas compensatórias nos sistemas adaptativos, em um caso simples, um sistema adaptativo pode agir de forma reguladora, mantendo alguma propriedade do ambiente em um nível constante. Neste trabalho, as interações entre os agentes podem afetar o comportamento das redes em malha sem fio e, por sua vez, os dados decorrentes das interações, servem como informação para a adaptação dos agentes. Assim, a adaptação pode ser vista como uma forma de aprendizado.

De acordo com a disponibilidade de dados e teoria, diferentes métodos são indicados para implementação de sistemas adaptativos. Quando existem apenas exemplos (amostras representativas) de um dado processo, sem regras que expliquem a sua geração, os métodos estatísticos

permitem obter bons resultados. O contrário, quando os dados a priori de um processo não são representativos, mas o conjunto de regras para sua geração é bem definido, pode ser aplicado, métodos de inteligência artificial como sistemas difusos e redes neurais.

Os sistemas difusos, fundamentados pela lógica fuzzy, podem ser construídos a partir de regras formuladas por especialistas da aplicação em particular. Amostras do processo não são necessárias. Estes sistemas têm lógica multi-valorada que permite definir “graus de pertinência” de um valor a um conjunto, ou seja, um valor pode pertencer a dois conjuntos em grau diferente. A dificuldade de sua aplicação está justamente na escolha dos novos “graus de pertinência”.

Inspirados no sistema nervoso humano, as Redes Neurais Artificiais (RNA) podem aprender a partir de dados a priori e posteriori de um processo. Não são necessárias regras ou uma teoria que descreva o processo, as redes “aprendem” com os exemplos. Estes exemplos são apresentados sucessivamente à RNA, que se adapta um pouco a cada exemplo. O comportamento desejado é reforçado e o comportamento indesejado é reprimido até que o sistema realize a tarefa almejada.

Independente da teoria escolhida, é necessário definir uma regra para adaptação dos agentes autônomos. Uma regra simples para aprendizagem de máquina, que serve de base para sistemas de adaptação como *backpropagation* em redes neurais, é regra Delta de Widrow-Hoff (HAYKIN; HAYKIN, 1998; WIDROW; HOFF, 1988). A regra Delta reduz o erro entre a resposta desejada e a obtida a cada interação. O objetivo da Regra Delta é de obter o ponto de mínimo da função erro, por meio de um processo de interação local, usando os exemplos de um conjunto de treinamento.

Neste trabalho, a regra Delta é implementada nos agentes autônomos para ajustar os parâmetros a serem negociados na provisão e consumo de serviços. Por exemplo, um parâmetro importante na negociação de serviço é a largura de banda desejável por este. Se determinarmos um valor desejado, 2Mbps de banda e um atraso máximo de 10ms e conseguirmos 1Mbps e 100ms de atraso, a regra Delta irá ajustar os parâmetros de negociação de forma a obter o desejado. Neste ajuste, ela poderá por exemplo, pagar uma “valor” maior para obter a qualidade de serviço desejada.

A regra Delta foi escolhida por se tratar de um método simples que consome pouco recurso de processamento e memória, podendo, ser implementada em dispositivos com baixa capacidade computacional. Para as redes em malha sem fio, algoritmos complexos de aprendizagem como rede Kohonen (KOHONEN, 2003), métodos bayesianos (MACKAY, 1995), algoritmos genéticos e lógica nebulosa, podem sobrecarregar os elementos da rede. Estes métodos podem esgotar como a energia da bateria dos elementos de redes ao consumir muito tempo de proces-

samento e memória, e ainda podem não funcionar em dispositivos como celulares e PDAs que possuem baixa capacidade computacional.

Na Seção 4.4, foi desenvolvido um agente autônomo com a regra Delta para ajustar os parâmetros para negociação de um serviço e portanto, a regra será detalhada nesta seção.

Os trabalhos (CLIFF, 1997, 2005; GODE; SUNDER, 1993; MILLER et al., 1996) abordam o uso de agentes autônomos semelhantes ao que foi implementado nesta dissertação na Seção 4.4.

Em (MILLER et al., 1996) é implementado agentes autônomos dentro de um sistema automatizado de leilão, para negociar o acesso a largura de banda em redes ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). A intenção é que a largura de banda (um recurso escasso) seja negociada como um produto por uma comunidade de agentes de autônomos. Em tempos de baixo uso da rede as conexões de rede de banda larga podem ter um “preço” baixo. Com o aumento do uso, cresce a demanda por largura de banda e o preço deste recurso sobe. Uma vez aumentada a demanda, os usuários do sistema têm que fazer uma decisão simples entre manter o nível precedente de despesa (e conseqüentemente a aceitação da qualidade reduzida do serviço) ou manter a qualidade prévia do serviço (pagando mais). O trabalho inclui o desenvolvimento de sistemas bancários e moedas, e mecanismos de entrega de ofertas para propiciar a interação e negociação entre os agentes. Todo processo é centralizado em um servidor.

Neste trabalho o algoritmos dos agentes autônomos propostos na Seção 4.4 é baseado no mecanismo de adaptação do agente ZIP. O ZIP (“zero intelligence plus”) é um agente autônomo artificial que interage em mercados virtuais com técnicas simples de aprendizagem de máquina (CLIFF, 1997).

O ZIP foi uma evolução do agente ZI (“zero intelligence”) que foi proposto por Gode e Sunder em (GODE; SUNDER, 1993). A diferença entre os agentes ZI e ZIP está principalmente nas regras que definem os preços de oferta. Os agentes ZI operavam no mercado virtual fazendo lances aleatórios e sem nenhuma técnica de aprendizagem. Gode e Sunder afirmavam que a convergência para o preço de equilíbrio teórico era determinada mais pela estruturas de mercado do que pela inteligência dos agentes comerciantes. Os resultados obtidos por Cliff (CLIFF, 1997) posteriormente demonstraram que os preços de negócio dos agentes ZI poderiam variar significativamente em relação ao preço de equilíbrio teórico. Os resultados obtidos com os agentes ZIP são mais consistentes com as características observadas em mercados reais (CLIFF, 2005).

A técnicas de aprendizagem dos agentes ZIP permitem que eles ajustem seus preços ofer-

tados observando as ofertas e os negócios efetuados por outros agentes. Esta forma de ajuste se aplica ao comportamento dos seres humanos nos mercados reais. Cada comerciante ajusta seu preço de oferta com base em quatro fatores. O primeiro é se o comerciante está ativo (capaz de fazer negócio) ou inativo (já atingiu uma cota máxima pré-estabelecida de negócios em um período). Os outros fatores baseiam-se na última oferta: seu preço, se a oferta é do fornecedor ou do consumidor, e se foi aceita ou não.

Quando um comerciante está inativo há pouco incentivo para baixar seu preço de oferta. Se um comerciante inativo observou que no mercado os valores das transações diminuíram, este ainda pode no próximo período ofertar seus produtos no valor do período anterior, pois realizou transações neste valor, mas se observou que os valores das transações aumentaram o que indica que poderia ter realizado transações a um valor mais elevado, o comerciante pode aumentar seu preço de oferta antes do começo do próximo período. Por essas razões, um comerciante pode aumentar seu preço se estiver ativo ou inativo, mas somente comerciantes ativos pode diminuir seus preços.

Por outro lado, decidir quando baixar um preço de oferta é difícil. Se os fornecedores começarem a competir reduzindo seus preços sempre que um consumidor fizer uma oferta abaixo de seu preço alvo, os fornecedores estariam nas mãos dos consumidores e seus preços ficariam em níveis mínimos, enquanto os dos consumidores em níveis máximos. O contrário acontece se os consumidores reduzirem seus preços sempre que um fornecedor fizer uma oferta que seja rejeitada.

Os resultados obtidos nas simulações feitas em (ANJOS; FERREIRA, 2004; CLIFF, 1997) indicam que em situações onde as informações estão distribuídas o uso de agentes autônomos interagindo em um ambiente de simulação pode ser uma boa alternativa para a alocação dos recursos escassos.

Apêndice B – Teorias Econômicas

Os agentes autônomos interagem no ambiente das redes em malha sem fio com o objetivo de negociarem o consumo e a provisão de serviços. Essa negociação é necessária por que os recursos das redes e elementos são escassos. Como recursos podemos citar, banda disponível, ciclos de processamento, memória, buffer, entre outros. Um agente, pode requisitar mais recursos que outros ou, pode ocorrer de existir recursos para um único agente. Quando isso ocorre, os agentes podem “disputar” entre eles por um determinado recurso, é o que chamamos de conflitos de interesses¹.

Como exemplos de conflitos, podemos citar um cenário onde existe escassez de banda para transmissão. Neste cenário, se o somatório dos fluxos de dados transmitidos pelos elementos de rede superar a largura de banda disponível, pacotes serão perdidos e a qualidade dos serviços irão diminuir. Os agentes, passam a serem obrigados a negociarem acesso ao meio de comunicação com intuito de reduzir o seu uso e, conseqüentemente aumentar a qualidade dos serviços prestados na rede. Nenhum agente quer reduzir ou deixar de consumir os serviços de uma rede em detrimento de outros. Quando isso ocorrer, gera-se o conflito de interesses entre os agentes.

Estes conflitos são gerados por que a regra geral dos agentes (em um mercado real) é maximizar, prioritariamente, o ganho individual (SMITH, 1776). O ganho de um agente será definido por uma função de utilidade (veja Seção B.2).

O processo de negociação visa, então, minimizar os conflitos entre os agentes, a fim que os mesmos possam definir os parâmetros necessário para um provisão ou consumo de serviços, levando a uma boa ou ótima alocação de recursos. Problemas relacionados a alocação de recursos, resolução de conflitos e tomadas de decisões, são objetos da Economia e esta, por sua vez, fornece teorias para análise e resolução destes problemas.

¹Na teoria dos jogos um dos principais desafios para a definição da melhor estratégia (solução) é o conflito de interesses entre os agentes. Conflitos ocorrem quando à “intensidade” do interesse de um agente por determinado recurso se opõe a “intensidade” do interesse de outro agente pelo mesmo recurso, donde a atitude de um tendente à exclusão da outro quanto a este.

O processo de negociação acontece no momento em que os agentes estão dispostos a realizar uma troca, ou dentro do contexto deste trabalho, a consumir ou prover um serviço. Em uma negociação os agentes possuem um ou mais objetivos que podem ser concretizados caso o lado oposto da negociação estiver de acordo com o que é solicitado. Ambos agentes, que fazem parte da negociação, podem oferecer resistência aos objetivos do outro e por negociações exaustivas busca-se atingir um consenso sobre as prioridades de ambos os lados. O ponto chave da negociação está na concessões e na premissa de que ambas as partes devem obter vantagens dela.

As negociações acontecem no momento em que as partes envolvidas estejam dispostas a realizar uma troca, ela acontece o tempo todo em torno deste princípio, de acordo com a regra de que é preciso dar poder antes de receber. O seu ponto chave está na concessões, e na premissa de que ambas as partes devem obter vantagens delas.

Realizar concessões, definir objetivos, consumir e prover serviços são ações decorrentes de uma tomada de decisão dos agentes. Na economia real as decisões são tomadas com base em expectativas futuras de rendimento (ganho). Estas expectativas são baseadas no comportamento esperado dos demais agentes. Certamente as ações desses agentes, a medida que se desenvolvem, transformam o mundo e as expectativas, tornando inconsistente e impreciso o conjunto das informações e conhecimentos que serviram de base para as decisões do passado.

Uma decisão representa uma escolha, que deve ter alguma base racional. Modelar a racionalidade é o ponto de partida para a teoria econômica explicar as decisões e permitir a construção de modelos plausíveis para o comportamento dos agentes. Os modelos devem levar em conta a incerteza do ambiente e limitações da racionalidade dos agentes.

Computacionalmente, podemos dizer que a racionalidade dos agentes são limitadas devido às limitações de hardware e software. Em particular, as redes em malha sem fio devem prover serviços a dispositivos com baixa capacidade computacional, como nós sensores para as RSSF. Quanto a incerteza do ambiente, as redes em malha sem fio possuem uma topologia dinâmica devido a mobilidade dos nós e por conseguinte provoca instabilidade no meio de comunicação.

Pelas teorias econômicas, a racionalidade dos agentes é dada pela maximização de sua função de preferências² tendo um conjunto parcial de informações do ambiente que está inserido. O agente escolhe, dentre as alternativas postas, a que leva à maior utilidade, dadas as expectativas.

Uma teoria econômica muito empregada como marco teórico e que discute essa raciona-

²Entende-se como função de preferência sendo um subconjunto de uma função de utilidade, onde dado as limitações para o agente obter a distribuição de probabilidades este escolhe um conjunto parcial de informações do mundo.

lidade, é a teoria das expectativas racionais (SARGENT, 1996), que considera a racionalidade individual de cada agente, como uma função de utilidade, e a percepção dos agentes sobre o ambiente, como uma distribuição de probabilidades. A função de utilidade será útil para atribuir valores aos parâmetros que definem um serviço em um processo de negociação.

Dentre as respostas que pretendemos obter com o estudo das teorias econômicas estão: o que é preciso para haver cooperação entre os agentes? Em quais circunstâncias o mais racional é não cooperar? Que políticas devem ser adotadas para garantir a cooperação? Como maximizar os ganhos individuais? Quais são as expectativas dos agentes? Qual nível de qualidade de serviço prover? Como negociar a provisão e consumo de serviços?

Responder a tais questionamentos, ajuda no desenvolvimento de um agente autônomo para atuar nas redes em malha sem fio negociando serviços de forma a atender o maior número de requisições possíveis e garantir a qualidade dos serviços prestados.

B.1 Alocação de Recursos Escassos

A alocação de recursos está diretamente relacionada ao controle de admissão em uma rede. Os recursos de uma rede podem ser relacionados a hardware ou software e se tornam escassos quando a quantidade de requisições aos mesmos excede a quantidade disponível. Quando isso ocorre, há uma degradação na qualidade dos serviços e algumas requisições podem não ser atendidas. A alocação de recursos não é uma simples questão de comprar os recursos (largura de banda, buffers, ciclos) e atribuí-los às requisições. O problema é um pouco mais complicado e é frequentemente estudado dentro da Economia.

Na ótica da Economia, recurso escasso é definido como sendo todo o recurso "... para o qual a demanda em um preço zero excede a oferta disponível" (BEGG; FISCHER; DORNBUSCH, 2005). A quantidade de recursos que provedores estão dispostos a ofertarem a um dado preço é denominada oferta. A quantidade de recursos que os consumidores estão dispostos a comprar é chamada de demanda. Quando a demanda é igual à oferta o equilíbrio no preço é encontrado. O equilíbrio está representado pelo ponto de coordenadas (Q_e , P_e) da Figura B.1. Observe-se que as transações são limitadas pela quantidade demandada, sempre que o preço de oferta for maior do que o preço de equilíbrio, e pela quantidade ofertada, sempre que o preço de oferta for menor.

Esta maneira de representar as transações da economia inspirou a formulação clássica sobre o mercado livre e sua importância para melhorar a alocação de recursos. Sob tal concepção, os indivíduos atuando no mercado a partir de seus interesses, com perfeito conhecimento, podem

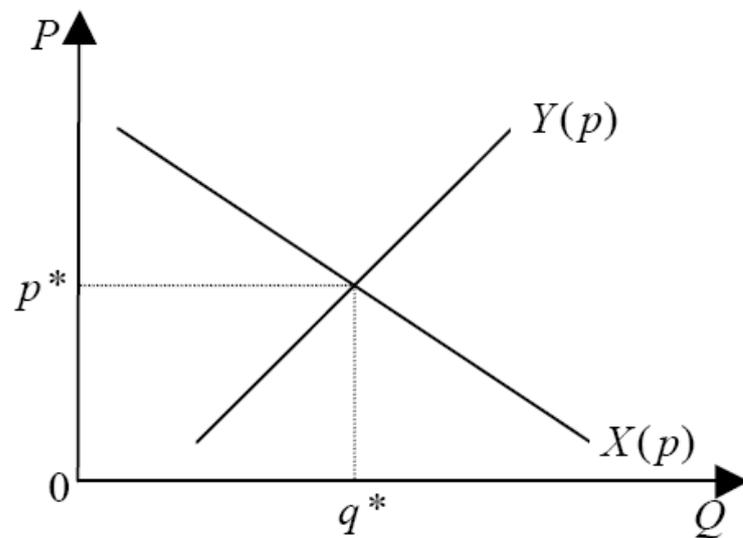


Figura B.1: Ilustração simples da oferta versus demanda. A curva de oferta Y inclina-se para cima e a curva de demanda X inclina-se para baixo. O ponto de interseção das duas curvas indica o preço de equilíbrio p^* e a quantidade de equilíbrio q^* (CLIFF, 1997).

obter uma boa ou ótima alocação de recursos. Afirma-se que os mercados livres fazem isto de uma forma distribuída. Nestes mercados não há nenhum controle central de processamento e a alocação de recursos “emerge” das interações entre provedores e consumidores (SMITH, 2006).

Espera-se, que as interações entre os agentes autônomos levem às redes a um equilíbrio na utilização de seus recursos pelos elementos de rede. A curva de demanda versus oferta pode orientar os agentes a alcançar este objetivo enquanto, a formulação de mercados livres nos orienta na construção de uma arquitetura para negociação e provisão de serviços distribuída.

B.2 Função Utilidade

Na economia, utilidade (SARGENT, 1996) é a medida de satisfação relativa ao ganho sobre diferentes recursos, por exemplo, bens e serviços. Ao atribuir uma medida de satisfação aos recursos, podemos falar em utilidade crescente ou decrescente no espaço temporal. Em tempos de congestionamento da rede, um canal de transmissão de dados livre possui alta utilidade para o provedor por apresentar maior capacidade em atender os consumidores. Em tempos de baixa demanda por transmissão, sua utilidade é baixa pois, representa prejuízo.

Os agentes autônomos visam aumentar seus níveis de satisfação buscando certos resultados em detrimento de outros, ou seja, maximizar os seus ganhos. A busca se dá pelas preferências individuais de cada agentes. Assim, utilidade é o que os agentes realmente desejam, é aquilo que “tanto mais tiverem melhor”, largura de banda, por exemplo. As preferências dos agentes é

a descrição fundamental para analisar a suas escolhas, e a utilidade é simplesmente uma forma de descrever preferências (VARIAN, 1994).

A utilidade que o agente atribui a um certo recurso é que determina sua estratégia de negociação do mesmo. Agir racionalmente (no contexto da teoria econômica), significa agir de modo a maximizar a utilidade.

A função de utilidade é uma representação, matemática, das preferências dos agentes. É uma forma de atribuir uma medida para cada arranjo de preferência dos agentes, de tal modo que os arranjos preferidos tenham utilidade maiores do que os menos preferidos. Isto é, um arranjo (x_1, x_2) é preferido a um (y_1, y_2) se e somente se a utilidade de (x_1, x_2) for maior que a de (y_1, y_2) : em símbolos, $(x_1, x_2) > (y_1, y_2)$ se e somente se $\mu(x_1, x_2) > \mu(y_1, y_2)$.

Por exemplo, na Tabela B.1 é representando as opções de acesso a internet que uma empresa fornece. O agente autônomo atribui a cada opção um valor obtido por uma função de utilidade. Pela tabela, podemos ver que o agente prefere uma taxa de *upload* maior ao invés de *download*. Assim, agente prefere *upload* a 500Kbps a *download* a 1Mbps mas, prefere *download* a 500Kbps e *upload* a 500Kbps a qualquer outra opção, escolhendo a opção C.

Opção	Característica	Utilidade
A	<i>download</i> a 1Mbps - <i>upload</i> a 100Kbps	$\mu(A) = 1$
B	<i>download</i> a 100Kbps - <i>upload</i> a 500Kbps	$\mu(B) = 2$
C	<i>download e upload</i> a 500Kbps	$\mu(C) = 4$
D	<i>download</i> a 2Mbps - <i>upload</i> a 100Kbps	$\mu(D) = 2$

Tabela B.1: Tabela de utilidades para um serviço de acesso a internet.

A função de utilidade será empregada no processo de decisão dos agentes, uma vez, que a mesma orienta o curso de suas ações. Cada parâmetro a ser negociado pelos agentes terá uma função de utilidade. O problema é que muitas vezes existem vários parâmetros e maximização de um pode levar a minimizar outro. Além disso, mecanismos de maximização pode ter um alto custo computacional e alguns elementos de uma rede não irão dispor da capacidade computacional necessária para a maximização de uma função utilidade.

O que nos traz novamente ao conceito de que a racionalidade dos agentes é limitada³. Para

³O questionamento do limite da racionalidade nas decisões de natureza econômica é uma preocupação que já tem pelo menos meio século e faz parte das pesquisas de uma corrente de economistas que tem como um de seus expoentes o professor Herbert Simon. Tal campo de pesquisa vem colocando à prova a validade do princípio da maximização (Simon, 1979) e aponta uma série de desvantagens do comportamento maximizador. Dessa forma, dadas as dificuldades de se encontrarem soluções ótimas, Simon sugeriu o conceito de solução satisfatória, que caracteriza o comportamento do indivíduo que procura “boas soluções”, dado que não pode maximizar. A partir desse conceito, Simoon (1986) criou as figuras do homem econômico - para quem a racionalidade é ilimitada e que, portanto, busca soluções ótimas - e do homem administrativo - que contemporiza, procurando soluções satisfatórias ou razoavelmente boas, ou seja, que consideram inclusive suas restrições quanto ao pleno conhecimento da situação

Simon (SIMON, 1981), essa limitação tem duas conseqüências. Por um lado, o comportamento dos agentes não pode mais ser orientado pela busca de soluções ótimas (maximizadoras), mas sim pela busca de soluções satisfatórias para os seus problemas de tomada de decisão. Por outro lado, a racionalidade do comportamento individual passa a ser definida em termos dos processos utilizados para a tomada de decisão (racionalidade processual) e não pela escolha da melhor alternativa disponível (racionalidade substantiva). Sendo assim, os agentes procurarão adotar procedimentos de tomada de decisão que (i) simplifiquem o processo decisório - economizando assim a capacidade computacional limitada dos agentes - e (ii) permitam a obtenção de resultados “razoáveis” ou “satisfatórios” (OREIRO, 2000).

de decisão. No caso específico, a capacidade dos agentes provedores de criar um esquema de incentivos que induza os agentes consumidores ao seu objetivo, mesmo que isso não seja, para eles, uma solução maximizadora, acaba estimulando-os a buscar soluções satisfatórias.

Apêndice C – Diagrama de Classe

Referências Bibliográficas

- AGUAYO, D. et al. A measurement study of a rooftop 802.11b mesh network. *In Proceedings of ACM SIGCOMM Conference*, 2004.
- AKYILDIZ, I.; WANG, X. *Wireless Mesh Networks (Advanced Texts in Communications and Networking)*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007. ISBN 0470032561.
- AKYILDIZ, I. F.; WANG, X. Cross-layer design in wireless mesh networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, v. 57, n. 2, p. 1061–1076, March 2008. ISSN 0018-9545.
- AKYILDIZ, I. F.; WANG, X.; WANG, W. Wireless mesh networks: a survey. *Computer Networks*, v. 47, n. 4, p. 445–487, Maio 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2004.12.001>>.
- AKYILDIZ, I. F.; XIE, J.; MOHANTY, S. A survey of mobility management in next-generation all-ip-based wireless systems. *IEEE Wireless Communications*, 2004.
- ANANDA, J. Implementing participatory decision making in forest planning. *Environmental Management*, v. 39, n. 4, p. 534–544, 2 2007. ISSN 0364-152X.
- ANJOS, J. M.; FERREIRA, R. P. M. Virtual market with autonomous agents suppliers, consumers, and intermediates – study and simulation (in portuguese). In: *Proceedings of the XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Brazil: [s.n.], 2004.
- ANJOS, J. M. dos; AYLON, L. B. R. Service negotiation over wireless mesh networks: an approach based on economic agents. *IFIP WIRELESS DAYS CONFERENCE*, november 2008.
- BEGG, D.; FISCHER, S.; DORNBUSCH, R. *Economics*. 6. ed. [S.l.]: McGraw Hill Higher Education, 2005. ISBN 0077107756.
- BELHOUL, A.; SEKERCIOGLU, Y.; MANI, N. Interaction of rsvp and mobile ipv6 protocols: An evaluation of performance on wireless networks. *Communications, 2006. ICC '06. IEEE International Conference on*, v. 3, p. 973–978, June 2006. ISSN 8164-9547.
- BORTNIKOV, E.; CIDON, I.; KEIDAR, I. Scalable real-time gateway assignment in mobile mesh networks. In: *CoNEXT '07: Proceedings of the 2007 ACM CoNEXT conference*. New York, NY, USA: ACM, 2007. p. 1–12. ISBN 978-1-59593-770-4.
- BRADEN, R.; CLARK, D.; SHENKER, S. *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*. [S.l.], 1994. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/braden94integrated.html>.
- BRADEN, R. et al. *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) Version 1 Functional Specification*. 1997. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/braden96resource.html>.
- BRUNO, R.; CONTI, M.; GREGORI, E. Mesh networks: commodity multihop ad hoc networks. *Communications Magazine, IEEE*, v. 43, n. 3, p. 123–131, 2005.

BUSINESS, G. International Standards for; SOCIETY. *ISO/IEC 13818-1 - Generic coding of moving pictures and associated audio information*. [S.l.], 10 2007.

CHEN, J.-C. et al. Design and implementation of dynamic service negotiation protocol (dsnp). *Computer Communications, More Than a Protocol for Next Generation Internet*, v. 26, n. 16, p. 3250–3264, Oct. 2006.

CHENG, X. et al. Maria: Interference-aware admission control and qos routing in wireless mesh networks. *Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference on*, p. 2865–2870, May 2008.

CHOI, S. *QoS Guarantees in Wireless/Mobile Networks*. Tese (Doutorado) — University of Michigan, 1999.

CISCO. *Cisco Wireless Mesh Networking Solutin*. 2008. Disponível em: <<http://www.cisco.com/go/wirelessmeh>>.

CLIFF, D. Minimal-intelligence agents for bargaining behaviours in market environments. *Technical Report HPL-97-91, Hewlett-Packard Labs*, 1997. [Http://www.hpl.hp.com/techreports/97/HPL-97-91.html](http://www.hpl.hp.com/techreports/97/HPL-97-91.html).

CLIFF, D. *ZIP60: Further Explorations in the Evolutionary Design of Online Auction Market Mechanisms*. [S.l.], Maio 2005.

COSTA, B. e; C.A.; VANSNICK, J. The MACBETH approach: Basic ideas. In: *Proceedings of the International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making*. [S.l.]: FUCAM, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, 1997. p. 86–88.

ERL, T. *Soa: principles of service design*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall Press, 2007. ISBN 9780132344821.

ERL, T. et al. *Web Service Contract Design and Versioning for SOA*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 2008. ISBN 013613517X, 9780136135173.

FIELDING, R. et al. *RFC 2616 - Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1*. [S.l.], 1999. Available at <http://tools.ietf.org/html/rfc2616>.

FLAKE, W. G. *Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems and Adaptation*. 1. ed. [S.l.]: The MIT Press, 2000. ISBN 0262561271.

FLUMINENSE, U. F. *Projeto ReMesh*. 2008. Disponível em: <<http://mesh.ic.uff.br>>.

(G.711), T. S. S. O. I. *Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies*. [S.l.], 10 1993. Available at <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-I/en>.

GALLEGO, D. A. M. *Estimação da Capacidade de Redes Sem Fio do Tipo Mesh*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, 2005.

GODE, D. K.; SUNDER, S. Allocative efficiency of markets with zero-intelligence traders: Market as a partial substitute for individual rationality. *Journal of Political Economy*, v. 101, n. 1, p. 119–37, February 1993. Available at <http://ideas.repec.org/a/ucp/jpolec/v101y1993i1p119-37.html>.

- GOOGLE. *Google Mesh Network*. 2007. URL: wifi.google.com/.
- GROUP, A.-V. T. W. *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. [S.l.], 1996. Available at <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>.
- HAYKIN, S. S.; HAYKIN, S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. [S.l.]: Prentice Hall, 1998. ISBN 0132733501.
- HILARIO, L. E. N. *Qualidade de Serviço em Redes Mesh*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, 2006.
- HU, H.; ZHANG, Y.; CHEN, H.-H. An effective qos differentiation scheme for wireless mesh networks. *IEEE Network*, v. 22, p. 66–73, jan 2008. ISSN 0890-8044.
- HWANG, C.-L.; YOON, K. P.; YOON, K. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. [S.l.]: Sage Publications, 1995. 38–45 p. (Quantitative Applications in the Social Sciences, v. 16). ISBN 0803954867.
- IBM. *An architectural blueprint for autonomic computing*. [S.l.], Outubro 2005. Available at <http://www.ibm.com/developerworks/autonomic/library/ac-summary/ac-blue.html>.
- INC., C. T. *MICA_z – WIRELESS MEASUREMENT SYSTEM*. [S.l.], 2006. Document Part Number: 6020-0041-01. Available at http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICA.pdf.
- ITSUMOGROUP. *A reference architecture for all IP wireless networks*. 2000. 3GPP2 (<http://www.3gpp2.org/>) <3GPP2-S00ALLIP-20000106-014>.
- JAVA in Simulation Time (JIST). agosto 2005. Available at <http://jist.ece.cornell.edu/>.
- KARGL, F.; SCHOCH, E. Simulation of manets: a qualitative comparison between jist/swans and ns-2. In: *MobiEval '07: Proceedings of the 1st international workshop on System evaluation for mobile platforms*. New York, NY, USA: ACM, 2007. p. 41–46. ISBN 978-1-59593-762-9.
- KOHONEN, T. Self-organized maps of sensory events. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 361, n. 1807, p. 1177–1186, 2003.
- KROP, T. et al. Jist/mobnet: combined simulation, emulation, and real-world testbed for ad hoc networks. In: *WinTECH '07: Proceedings of the the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization*. New York, NY, USA: ACM, 2007. p. 27–34. ISBN 978-1-59593-738-4.
- KUSHALNAGAR, N.; MONTENEGRO, G.; SCHUMACHER, C. *IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals*. [S.l.], 2007.
- LEE, S.-B. et al. INSIGNIA: An IP-based quality of service framework for mobile ad hoc networks. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, v. 60, n. 4, p. 374–406, 2000. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/lee00insignia.html>.
- LI, J. et al. Capacity of ad hoc wireless networks. In: *Mobile Computing and Networking*. [s.n.], 2001. p. 61–69. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/li01capacity.html>.

- LI, Z. et al. An immune genetic routing algorithm for mesh network with qos constraints. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on*, p. 1701–1704, Sept. 2007.
- LIANG, G.; M., W. A fuzzy multi-criteria decision method for facility selection. *International Journal of Production Research*, v. 29, n. 11, p. 1330–2313, 1991.
- LIU, B.; THIRAN, P.; TOWSLEY, D. Capacity of a wireless ad hoc network with infrastructure. In: *MobiHoc '07: Proceedings of the 8th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. New York, NY, USA: ACM, 2007. p. 239–246. ISBN 978-1-59593-684-4.
- MACKAY, D. *Bayesian methods for neural networks: theory and applications*. 1995. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/mackay95bayesian.html>.
- MESHNET. *Santa Barbara Mesh Network*. 2008. Disponível em: <<http://moment.cs.ucsb.edu/meshnet/>>.
- MILLER, M. et al. An automated auction in atm network bandwidth. *World Scientific, Singapore*, 1996.
- NORTEL. *Wireless Mesh Network Solution*. 2008. Disponível em: <<http://www.nortel.com/solutions/wrlsmesh/>>.
- OREIRO, J. L. *Incerteza, Instabilidade Macroeconômica e Crescimento Endógeno: ensaios em teoria Pós-Keynesiana*. Tese (Doutorado) — UFRJ, 2000.
- PADHYE, D.; ZILL. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks. *ACM MobiCom*, 2004. URL: <http://research.microsoft.com/mesh/>.
- PARK, Y.; PARK, T. A survey of security threats on 4g networks. *Globecom Workshops, 2007 IEEE*, p. 1–6, Nov. 2007.
- PERKINS, C. E.; ROYER, E. M. Ad hoc on-demand distance vector routing. *Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, p. 90–100, 1999.
- POSTEL, J.; REYNOLDS, J. *RFC 959 - FILE TRANSFER PROTOCOL (FTP)*. [S.l.], 10 1985. Available at <http://tools.ietf.org/html/rfc959>.
- RASHID, R.; YUSOFF, R. Bluetooth performance analysis in personal area network (pan). *RF and Microwave Conference, 2006. RFM 2006. International*, p. 393–397, Sept. 2006.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. In: . [S.l.: s.n.], 1977. v. 15, p. 234–281.
- SANTANA, E. A. de. Contrato satisfatório multidimensional e a teoria do incentivo. *Revista Brasileira de Economia*, v. 56, n. 4, Outubro 2002.
- SARGENT, T. J. Bounded rationality in macroeconomics. *Economic Dynamics and Control*, 1996.
- SEDOYEKA, E. et al. Wimax mesh networks for underserved areas. *Computer Systems and Applications, 2008. AICCSA 2008. IEEE/ACS International Conference on*, p. 1070–1075, 31 2008-April 4 2008.

- SHARIFI, M.; TALEGHAN, M.; TAHERKORDI, A. A middleware layer mechanism for qos support in wireless sensor networks. *Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies, 2006. ICN/ICONS/MCL 2006. International Conference on*, p. 118–118, April 2006.
- SHEN, Q. et al. Admission control for providing qos in wireless mesh networks. *Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference on*, p. 2910–2914, May 2008.
- SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. 2. ed. [S.l.]: The MIT Press, 1981. ISBN 0262691914.
- SMITH, A. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. [S.l.]: Editora Nova Cultural Ltda, 1776.
- SMITH, V. L. *Papers in Experimental Economics*. 1. ed. [S.l.]: Cambridge University Press; 1st edition, 2006. ISBN 052102465X.
- SONG, Y. et al. Comparative analysis of resource reservation cost for different rsvp extension schemes in mobile environments. *Communications and Information Technologies, 2007. ISCIT '07. International Symposium on*, p. 1331–1336, Oct. 2007.
- TANENBAUM, A. S. *Computer networks*. 4. ed. [S.l.]: Prentice Hall PTR, 2002.
- TOSHIBA. *Satellite. A10 Series*. [S.l.], 10 2007. Document Part Number: PD800U-00002. Available at <http://support.toshibatro.de/tools/Satellite/sa10/manual/userman-na-en.zip>.
- TOSHIBA. *Toshiba Pocket PC e800*. [S.l.], 10 2007. Document Part Number: PD800U-00002.
- TSARMPOPOULOS; KALAVROS; LALIS. A low-cost and simple-to-deploy peer-to-peer wireless network base don open source linux routers. *International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of NeTworks and COMmunities*, 2005.
- UCB/LBNL/VINT Network Simulator (ns-2). April 1999. Available at <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- VARIAN, H. R. *Intermediate Microeconomics*. 3. ed. [S.l.]: W. W. Norton, 1994.
- WANG JYH-WOEI JIANG, Y.-F. H. N.-C. Rsvp extensions for real-time services in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, v. 30, n. 10, p. 2248–2257, June 2007.
- WANG, X.; SCHULZRINNE, H. Rnap: A resource negotiation and pricing protocol. *Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*, p. 77–93, 6 1999.
- WANG, Z.; SADJADPOUR, H.; GARCIA-LUNA-ACEVES, J. J. The capacity and energy efficiency of wireless ad hoc networks with multi-packet reception. In: *MobiHoc '08: Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*. New York, NY, USA: ACM, 2008. p. 179–188. ISBN 978-1-60558-073-9.
- WANG, N.-C.; JIANG, J.-W.; HUANG, Y.-F. Rsvp extensions for real-time services in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, v. 30, p. 2248–2257, 7 2007.
- WIDROW, B.; HOFF, M. E. Adaptive switching circuits. MIT Press, Cambridge, MA, USA, p. 123–134, 1988.

XUE, J. *Quality of Service for Mobile Ad Hoc Networks*. Dissertação (Mestrado) — Eidgenössische Technische Hochschule Z'urich, 2003.

XUE, J.; STUEDI, P.; ALONSO, G. Asap: An adaptive qos protocol for mobile ad hoc networks. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, p. 7–10, 2003. [Http://www.iks.inf.ethz.ch/asap](http://www.iks.inf.ethz.ch/asap) - acessado em setembro de 2007.

YOUSAF, M.; QAYYUM, A. On end-to-end mobility management in 4g heterogeneous wireless networks. *Networking and Communications Conference, 2008. INCC 2008. IEEE International*, p. 118–123, May 2008.

YUAN, Q.; WU, J. Drip: A dynamic voronoi regions-based publish/subscribe protocol in mobile networks. *INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE*, p. 2110–2118, April 2008. ISSN 0743-166X.