

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

MATEUS CASANOVA PEREIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM REDES
WIRELESS AD-HOC E ESTABELECIMENTO DE
UM ACORDO DE NÍVEL DE SERVIÇO PRÓ-AATIVO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Becker Westphall

Florianópolis, Março de 2004.

ANÁLISE DE DESEMPENHO EM REDES WIRELESS AD-HOC E ESTABELECIMENTO DE UM ACORDOS DE NÍVEL DE SERVIÇO PRÓ-AATIVO

Mateus Casanova Pereira

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, Área de Concentração Redes de Computadores e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Prof. Dr. Raul Sidnei Wazlawick
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Prof. Dr. Carlos Becker Westphall
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Becker Westphall
Presidente

Prof. Dr. Paulo José de Freitas Filho

Prof. Dr. Vitorio B. Mazzola

Prof. Dr. Joni Fraga

*"Prefiro tentar e falhar, a me conformar e ver a vida passar;
Prefiro tentar, ainda que em vão, do que sentar-me e fazer nada até o final;
Prefiro num dia triste na chuva caminhar, do que em casa me esconder;
Prefiro ser feliz, embora louco, a em conformidade viver".*

Martin Luther King

Dedicatória & Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador Professor Carlos Becker Westphall sem o qual certamente esta pesquisa não teria sido realizada e pelo apoio e dedicação meus agradecimentos e gratidão. Grande parte dos conhecimentos na área e inspirações para este trabalho devo a este.

A minha namorada Ketlin, e aos grandes amigos e colegas de laboratório do LRG na UFSC Leonardo, André, Silvio, Adelmo, Marcos, Michel, Twu, Silvia, Tadeu e Valério, companheiros e apoio fundamental em todos os momentos e um dos motivos para que todo este esforço fosse concretizado.

José e Naura. Meus pais e eternos exemplos de luta e superação, vocês foram o início de tudo isto - como agradecê-los? Minha irmã, Letícia, daqui alguns anos é a tua vez!

Sumário

Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Gráficos.....	xi
Lista de Diagramas	xii
Lista de Siglas.....	xiii
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação.....	3
1.2. Objetivos	5
1.3. Estado da Arte.....	6
1.3.1. Segmentos de Padronização e Fóruns.....	7
1.3.2. Pesquisas da Comunidade Acadêmica.....	8
1.3.3. Potencial Mercadológico da Inovação Proposta.....	11
1.3.3.1. Panorama do Mercado de Gerência da Qualidade de Serviços.....	11
1.3.3.2. Acordos de Níveis de Serviço no Brasil.....	12
1.3.3.3. Setor Comunicação Sem Fio	13
1.4. Organização do Trabalho.....	14
2. WIRELESS – COMUNICAÇÃO SEM FIO.....	15
2.1. Introdução	15
2.2. O que é uma Rede Sem Fio (<i>Wireless</i>).....	15
2.2.1. Vantagens e Desvantagens das Redes Sem Fio.....	17
2.3. Tecnologias Sem Fio.....	17
2.3.1. WLANS - Wireless Local Area Networks	18
2.3.1.1. Modos de Operação	19
2.3.1.1.1. Redes Ad-Hoc	20
2.4. Arquitetura.....	21
2.4.1. Variações do Modelo IEEE 802.11	24
2.4.2. Mobilidade nas Camadas de Protocolo.....	26
2.4.3. Protocolos de Roteamento	27

2.4.4.	Tipos de Filas/Algoritmos	28
2.4.5.	Handoff	30
2.5.	QoS para Redes Móveis	31
2.6.	Conclusões	33
3.	GERENCIAMENTO E ACORDOS DE NÍVEIS DE SERVIÇO: SLM & SLA	34
3.1.	Introdução	34
3.2.	Conceitos.....	35
3.3.	Gerenciamento de Níveis de Serviços – SLM	36
3.3.1.	Arquitetura SLM.....	37
3.3.2.	Tipos de SLM	38
3.4.	Acordos de Níveis de Serviços - SLA	38
3.4.1.	Caderno de Métricas	40
3.4.1.1.	Especificações de Níveis de Serviço - SLS	40
3.4.2.	Tipos de SLA.....	40
3.5.	Tratamento de Fatores Críticos	41
3.6.	Percepção do Nível de Serviço	41
3.7.	Coexistência entre QoS e SLM/SLA	41
3.8.	Conclusões	42
4.	MÉTRICAS PARA ESTABELECIMENTO DO SLA.....	43
4.1.	Introdução	43
4.2.	Classificação das Métricas.....	44
4.2.1.	Métricas Independentes da Tecnologia	44
4.2.2.	Métricas Dependentes da Tecnologia.....	44
4.3.	Métricas mais Comuns em Redes	44
4.3.1.	Vazão	45
4.3.2.	Latência.....	45
4.3.3.	Jitter	46
4.3.4.	Perda de Pacotes	46
4.3.5.	Erros.....	47
4.4.	Conclusões do Capítulo	47
5.	SIMULAÇÕES	48

5.1.	Network Simulator - NS	48
5.2.	Tipos de Simulação	49
5.3.	Configurações para Simulações	50
5.3.1.	Modelos de Mobilidade	50
5.3.1.1.	Modelo de Mobilidade Individual	50
5.3.1.2.	Modelo de Mobilidade em Grupo	51
5.3.2.	Parâmetros do Modelo de Simulação	52
5.3.2.1.	Realização das Simulações	56
5.3.2.2.	Realização das Análises dos Dados Coletados	57
5.3.2.2.1.	Arquivos para o Simulador	57
5.3.2.2.2.	Arquivos para o Analisador	58
5.3.3.	Resultados das Simulações	60
5.3.3.1.	Filas/Algoritmos	62
5.3.3.1.1.	Tabela Vazão	63
5.3.3.1.2.	Tabela Atraso/Latência	66
5.3.3.1.3.	Tabela Jitter	69
5.3.3.1.4.	Tabela Perda Pacotes	72
5.3.3.2.	Protocolos de Roteamento	75
5.3.3.2.1.	Tabela Vazão	76
5.3.3.2.2.	Tabela Atraso	78
5.3.3.2.3.	Tabela Jitter	80
5.3.3.2.4.	Tabela Perda de Pacotes	82
5.3.3.3.	Outras Simulações	85
5.3.3.3.1.	Perda de Pacotes x Mobilidade	85
5.3.3.3.2.	Handoffs	88
5.4.	Conclusões do Capítulo	90
6.	ACORDO PRÓ-ATIVO DE NÍVEIS DE SERVIÇO	91
6.1.	Gerência de Desempenho	91
6.2.	Gerência Pró-Ativa	92
6.3.	SLA Pró-Ativo	93
6.3.1.	Arquitetura das Ações Propostas	94

6.3.1.1. Sistema Agente	96
6.3.1.2. Sistema Gerente	99
6.3.1.2.1. Gerenciamento do SLA	104
6.4. Elaboração do SLA	105
6.4.1. Intervalo de QoS	106
6.5. Conclusões do Capítulo	106
7. CONCLUSÕES	107
7.1. Filas	108
7.1.1. Vazão	108
7.1.2. Atraso/Latência	108
7.1.3. Jitter	109
7.1.4. Perda de Pacotes	109
7.2. Protocolos de Roteamento	110
7.2.1. Vazão	110
7.2.2. Atraso/Latência	110
7.2.3. Jitter	111
7.2.4. Perda de Pacotes	111
7.3. Outras Simulações.....	112
7.3.1. Perda de Pacotes x Mobilidade	112
7.4. SLA Pró-Ativo	113
7.5. Aproveitamento dos Resultados	113
7.6. Trabalhos Futuros	114
7.6.1. Avaliação de Outras Métricas de QoS.....	114
7.6.2. Políticas para Gerenciamento de Redes Wireless.....	116
7.6.3. Análise de Desempenho	117
7.6.4. Análise das Métricas Relativas ao Handoff.....	118
8. BIBLIOGRAFIA	120

Lista de Figuras

Figura 1. Rede Ad-Hoc e Rede Infra-Estruturada.	19
Figura 2. Escopo das entidades e protocolos do padrão 802.11.	22
Figura 3. “Topologia” do ambiente.	55
Figura 4. NAM gerada pelo NS-2.....	56
Figura 5. Exemplo de um arquivo trace gerado na simulação.....	57

Lista de Tabelas

Tabela 1. Parâmetros Fixos e Variáveis Utilizados na Simulação.	53
Tabela 2. Tabela Vazão x Tipo Fila.....	64
Tabela 3. Tabela Atraso x Tipo Fila.	67
Tabela 4. Tabela Jitter x Tipo Fila.	70
Tabela 5. Tabela Taxa de Perda de Pacotes x Tipo Fila.	73
Tabela 6. Tabela Vazão x Protocolo Roteamento.	76
Tabela 7. Tabela Atraso x Protocolo Roteamento.	79
Tabela 8. Tabela Jitter x Protocolo Roteamento.....	81
Tabela 9. Tabela Taxa de Perda de Pacotes x Protocolo Roteamento.	83
Tabela 10. Comparação entre os protocolos DSR e DSDV em função dos tempos de pausa.....	86
Tabela 11. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSR.	87
Tabela 12. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSDV.	88
Tabela 13. Taxa média de Handoffs x Protocolo Roteamento.	89

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Vazão x Tipo Fila – Pacotes 64 bytes.	64
Gráfico 2. Vazão x Tipo Fila – Pacotes 250 bytes.	65
Gráfico 3. Atraso x Tipo Fila –Pacotes 64 bytes.	67
Gráfico 4. Atraso x Tipo Fila –Pacotes 250 bytes.	68
Gráfico 5. Jitter x Tipo Fila –Pacotes 64 bytes.....	71
Gráfico 6. Jitter x Tipo Fila –Pacotes 250 bytes.....	71
Gráfico 7. Taxa de Perda de Pacotes x Tipo Fila –Pacotes 64 bytes.	74
Gráfico 8. Taxa de Perda de Pacotes x Tipo Fila –Pacotes 250 bytes.	74
Gráfico 9. Vazão x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.....	77
Gráfico 10. Vazão x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.....	77
Gráfico 11. Atraso x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.	79
Gráfico 12. Atraso x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.	79
Gráfico 13. Jitter x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.	81
Gráfico 14. Jitter x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.	81
Gráfico 15. Perda de Pacotes x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.....	83
Gráfico 16. Perda de Pacotes x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.....	84
Gráfico 17. Comparação entre os protocolos DSR e DSDV em função dos tempos de pausa.....	86
Gráfico 18. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSR.	87
Gráfico 19. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSDV.	88
Gráfico 20. Taxa média de Handoffs x Protocolo Roteamento.	89

Lista de Diagramas

Diagrama 1 . Estrutura Simplificada da Simulação.	60
Diagrama 2 . Estrutura Detalhada da Simulação.	61
Diagrama 3 . Estrutura Geral do Framework.	95
Diagrama 4 . Estrutura Sistema Agente.	96
Diagrama 5. Agente Nível 1 [CHI03].	97
Diagrama 6. Agente Nível 2 [CHI03].	97
Diagrama 7. Agente Nível 3 [CHI03].	98
Diagrama 8. Reorganização da Rede [CHI03].	98
Diagrama 9 . Estrutura Sistema Gerência.	100
Diagrama 10 . Estrutura Supervisor.	101
Diagrama 11. Estrutura de Negociação do Sistema de Gerência [RAS03].	103
Diagrama 12 . Fases do Gerenciamento do SLA.	105

Lista de Siglas

ABR	<i>Associativity-Based Routing</i>
ACK	<i>Acknowledgement</i>
AP	<i>Access Point</i>
AODV	<i>Ad Hoc On-Demand Distance Vector routing</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CCA	<i>Clear Channel Assessment signal</i>
CGSR	<i>Clusterhead Gateway Switch Routing</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Medium Access with Collision Avoidance</i>
CTS	<i>Clear to Send</i>
DCF	<i>Distributed Coordination Function</i>
DIFS	<i>Distributed Interframe Space</i>
DSDV	<i>Destination-Sequenced Distance-Vector Routing</i>
DSR	<i>Dynamic Source Routing</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EM	<i>Estações Móveis</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standarts Institute</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
FM	<i>Frequency Modulated</i>
IBSS	<i>Independent Basic Service Set</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IEEE	<i>Institution of Electrical and Electronic Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPPM	<i>Internet Protocol Performance Metrics</i>
IR	<i>InfraRed</i>
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union - Telecommunication</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LLC	<i>Logic Link Control</i>

LMR	<i>Lightweight Mobile Routing</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MANET	<i>Mobile Ad hoc Network</i>
MH	<i>Mobile Host</i>
MIB	<i>Management Information Base</i>
MSS	<i>Maximum Segment Size</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
NAV	<i>Network Allocation Vector</i>
NMF	<i>Network Management Forum</i>
NS2	<i>Network Simulation 2</i>
OS	<i>Operation System</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnect</i>
OSS	<i>Operational Support System</i>
PCF	<i>Point Coordination Function</i>
PLCP	<i>Physical Layer Convergence Procedure</i>
PMD	<i>Physical Medium Dependent</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RTS	<i>Request to Send</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
SA	<i>Service Available</i>
SA	<i>Station Adapter</i>
SAP	<i>Service Access Point</i>
SE	<i>Service Element</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SLM	<i>Service Level Management</i>
SLS	<i>Service Level Specification</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SSR	<i>Signal Stability Routing</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>

TMForum	<i>Telecommunication Management Forum</i>
TMN	<i>Telecommunication Management Network</i>
TORA	<i>Temporally Ordered Routing Algorithm</i>
TTL	<i>Time-to-Live</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VBR	<i>Variable Bit Rate</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WRP	<i>Wireless Routing Protocol</i>

RESUMO

Para os provedores de serviço de telecomunicações ou de redes um dos diferenciais em relação aos demais competidores, é a capacidade de executar a gerência de nível de serviço, pela qual o cliente e o provedor podem monitorar a infra-estrutura de comunicação fornecida, garantindo uma maior qualidade, redução dos custos e segurança em suas operações [MIR00].

A gerência de níveis de serviço é definida através de acordos estabelecidos durante a fase de contratação do serviço, que é utilizado tanto pelo cliente quanto pelo provedor, para verificar os níveis de serviços providos. Informações sobre falha e desempenho devem ser utilizadas para validar o contrato estabelecido.

As tecnologias baseadas em rádio frequência surgem com bastante força no mercado, como é o caso das redes *ad-hoc*, as quais combinam funcionalidade, flexibilidade, conectividade de dados e mobilidade de usuários em diversos ambientes.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo obter informações de desempenho nas redes sem fio *ad-hoc* e analisar estas informações a fim de moldar as métricas de qualidade de serviço, que compõem os SLAs, providos sobre estas redes, garantindo assim o seu melhor funcionamento.

Através de simulações de uma rede *ad-hoc*, coletaram-se os valores correspondentes a diferentes métricas de QoS, para analisar como está se comportando o tráfego, assim como os possíveis erros e problemas que podem estar acontecendo no ambiente.

Com base nos resultados das simulações, pode-se traçar o perfil de um ambiente *ad-hoc*, com as características aqui estipuladas, propondo-se um SLA pró-ativo, onde as rotinas deverão prever uma possível quebra do acordo e com isso tomar alguma decisão, a fim de, não permitir que o acordo seja quebrado de fato.

Palavras-Chaves: Gerência de Redes, Gerência de Serviços, Gerência Pró-Ativa, Qualidade de Serviço, Redes *Wireless Ad-Hoc*.

ABSTRACT

For the providers of service of telecommunications or of nets one of the differential ones in relation to the other competitors, is the capacity to execute the Service Level Management, for the which the customer and the provider can monitor the infrastructure of supplied communication, guaranteeing a larger quality, reduction of the costs and safety in their operations [MIR00].

The management of service levels is defined through established agreements during the phase of recruiting of the service, that it is used so much by the customer as for the provider, to verify the levels of provided services. Information on flaw and acting should be used to validate the established contract.

The technologies based on radio frequency appear with plenty force in the market, as it is the case of the nets ad-hoc, which combine functionality, flexibility, connection of data and users' mobility in several atmospheres.

Being like this, this work has as objective to obtain acting information in the nets without thread ad-hoc and to analyze these information in order to mold the metric of Quality of Service, that they compose SLAs, provided on these nets, guaranteeing like this his/her best operation.

Through simulations of a net ad-hoc, the corresponding values the different ones were collected metric of QoS, to analyze how he is behaving the traffic, as well as the possible mistakes and problems that can be happening in the atmosphere.

With base in the results of the simulations, the profile of an atmosphere ad-hoc can be drawn, with the characteristics here stipulated, intending a SLA for-assets, where the routines should foresee a possible break of the agreement and with that to take some decision, in order to, not to allow the agreement to be broken in fact.

Key-Word: *Management of Nets, Management of Services, Management Pro-Active, Quality of Service, Wireless Ad-Hoc Nets.*

1. INTRODUÇÃO

Os avanços nas comunicações possibilitaram o surgimento de várias tecnologias, as quais procuram atender a real necessidade de seus usuários, com a melhor qualidade possível. Nos últimos anos a comunicação sem fio ganhou um espaço considerável nas tecnologias de transmissão de dados, deixando de existir apenas nas comunicações de longa distância, feitas através de satélites [RAY02], para fazer parte de ambientes locais. Essa tendência foi fortalecida pelo investimento de instituições e empresas no sentido de aplicar a transmissão sem fio em redes de computadores.

Também apostando nessa nova tecnologia, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) constituiu um grupo de pesquisa para criar padrões abertos que pudessem tornar a tecnologia sem fio cada vez mais real. Esse projeto, denominado de Padrão IEEE 802.11, nasceu em 1990, mas ficou inerte por aproximadamente sete anos devido a fatores que não permitiam que a tecnologia sem fio saísse do papel [WLA02], sendo um dos principais fatores a baixa taxa de transferência de dados.

De acordo com a elevação da taxa de transferência de dados e a miniaturização dos componentes, a rede sem fio começou a ser vista como uma tecnologia promissora e a receber ainda mais investimentos para a construção de equipamentos que possibilitassem a comunicação sem fio entre computadores.

Atualmente o foco das redes de computadores sem fio se encontra no contexto das redes locais de computadores (*Wireless Local Area Network - WLAN*). Primeiramente foram colocados em prática alguns padrões proprietários, através de empresas como IBM, CISCO e 3COM. Hoje essas e outras empresas baseiam seus produtos no padrão IEEE, devido às inúmeras e já conhecidas vantagens que o padrão aberto oferece, entre elas: interoperabilidade, baixo custo, demanda de mercado, confiabilidade de projeto [LUC02].

Apesar da significativa elevação da taxa de transferência de dados que subiu de algumas poucas dezenas de Kbps para alguns Mbps, as WLANs não atendiam satisfatoriamente a necessidade de banda das empresas. Com isso, o IEEE investiu no melhoramento do padrão 802.11, que passou a ter algumas “derivações” como, por exemplo, 802.11a e 802.11b, os quais possuem a mesma arquitetura e tecnologia, mas com taxas de transferência de dados maiores, impulsionando de vez a tecnologia e

estimulando as comunidades científica e industrial a padronizarem, projetarem e produzirem produtos para essas redes [MUN01].

Portanto, a adoção de sistema sem fio vem crescendo significativamente, em que muitas soluções WLAN estão ou já foram implantadas em empresas, universidades e outras instituições do mundo inteiro. Isso indica, sem dúvida, que as redes de computadores sem fio são uma realidade e, provavelmente, nos próximos anos, substituirão ou serão adicionais aos sistemas com fio já existentes, passando a ser uma solução bastante interessante para as organizações, pois desta forma os pontos que necessitam de mobilidade são conectados à rede pelo meio “*Wireless*” e as estações fixas são ligadas à rede via cabo.

Fora das redes de computadores, muitas tecnologias sem fio proprietárias têm sido usadas para possibilitar a comunicação entre dispositivos sem fio. Essas tecnologias têm o propósito de permitir o controle remoto de equipamentos domésticos e interligar os periféricos (teclado, mouse, impressoras, etc.) aos computadores, eliminando os fios e tornando mais flexível e prático o uso desses equipamentos. O *Bluetooth* e *HomeRF* são exemplos dessas tecnologias [NET02b].

Para os grandes negócios, as telecomunicações tornaram-se uma ferramenta vital, demandando um alto nível de confiabilidade no que refere-se aos serviços que são oferecidos a seus usuários [SCH99]. Este competitivo campo das telecomunicações tem deslocado sua atenção para a integridade da rede, onde não é suficiente apenas prometer um alto nível de desempenho e sim apostar na qualidade e confiabilidade dos serviços, fazendo com que os clientes compartilhem dos riscos, rupturas ou atrasos destes serviços.

Desta forma, surgem os SLAs (*Service Level Agreements*), acordos voltados para garantia do serviço fornecido/contratado, definindo os indicadores de qualidade e os níveis que estes devem possuir.

Para que a qualidade do serviço seja assegurada, é necessário que esta seja gerenciada. Este gerenciamento da qualidade de serviço é um conceito cada vez mais utilizado no mercado corporativo. Os clientes não apenas exigem qualidade como também exigem comprovação do nível de qualidade do serviço prestado.

Nos dias atuais muitas coisas são descritas e discutidas no que tange a questão de Acordos de Níveis de Serviço - SLA e Gerência destes Níveis de Serviço - SLM. A

qualidade de serviço está no centro das atenções. Até a década de 70, o foco das operações empresariais era voltado para a eficiência interna, tendo se revertido a partir da década de 90, quando o foco no cliente passou a ser primordial. A grande preocupação das empresas prestadoras de serviço é hoje a qualidade percebida pelo cliente [VIS02b].

Mesmo as empresas que antigamente trabalhavam apenas com bens, hoje encontram nos serviços as melhores, se não as únicas, oportunidades de diferenciação. A razão desta mudança de foco vem claramente do acirramento da competição e sua consequência é que as empresas de serviços estão sendo obrigadas a dirigir suas estratégias visando à qualidade percebida pelo cliente. De modo geral, podem-se identificar dois pontos principais nestas estratégias: a diferenciação das ofertas evidenciando o seu valor agregado e a criação de barreiras contra a entrada de concorrentes [VIS02].

Com isto, as relações contratuais entre provedores e clientes estão ficando cada vez mais complexas, devido principalmente à difusão e complexidade do número de serviços oferecidos. Os provedores estão cada vez mais interessados em encontrar uma forma eficiente de uso dos recursos da rede, enquanto os clientes desejam verificar se os níveis de serviço estão de acordo com o contratado.

Desta forma, a formalização destes acordos, definindo os indicadores de qualidade e os níveis que estes devem possuir, é de grande importância para redes sem fio, visto o grande crescimento apresentado por estas nos últimos anos.

1.1. Motivação

Os avanços da comunicação nos últimos anos possibilitaram o surgimento de várias tecnologias que, desde então, procuram atender a real necessidade de seus usuários, com a melhor qualidade possível. No início eram apenas máquinas mono-usuário, e muito se teve que evoluir até chegar às redes de computadores atuais [TAN97]. Hoje em dia, o mercado está apostando numa das mais novas e revolucionárias tendências tecnológicas: a comunicação por redes sem fio - *wireless networks*.

A tendência mundial é a de criarmos cada vez mais redes mistas, com trechos mais distantes ou de difícil acesso utilizando-se redes sem fio e as redes locais utilizando-se as redes cabeadas.

Com o crescimento global destas redes sem fio e da demanda por banda nas mesmas, sua supervisão e gerência se tornam os principais fatores de qualidade de serviço.

A comodidade de acessar serviços de dados e multimídia em terminais móveis tendo a Internet como infra-estrutura exige, entretanto, todo o planejamento de esquemas de suporte adequados [WLA02]. As características do tráfego multimídia e do tráfego de dados devem ser levadas em consideração, assim como as particularidades das redes sem fio.

O tráfego de voz, por exemplo, exige baixa latência e *jitter*, podendo sofrer perdas, enquanto que o tráfego de dados necessita de confiabilidade. As redes sem fio acrescentam novos fatores como limitação de vazão e altas taxas de perdas, além de problemas inerentes a mobilidade dos nós.

As pesquisas com redes *ad-hoc*, procuram desenvolver soluções para superar desafios como mobilidade, inconsistência de rotas e qualidade de serviços (QoS).

Devido à explosão de complexidade dos serviços exigidos e do tamanho das redes de computadores e telecomunicações, novos conceitos devem ser agregados ao gerenciamento dessas redes [WES01]. A urgência no desenvolvimento e emprego dos conceitos de SLM e SLA são vitais para todos os tipos de redes.

As tendências do negócio de serviços de voz e dados para o segmento corporativo apontam para um cenário competitivo cada vez mais forte. Além disso, o aumento do tráfego gerado pelo uso de aplicações Internet, a expansão das redes IP, explosão das redes sem fio e a redução dos custos de transmissão de dados provocaram um aumento bastante expressivo na demanda desses serviços no segmento corporativo.

Diante deste cenário, a garantia de satisfação e fidelização dos clientes atuais e possíveis conquistas de novos clientes torna-se um item fundamental para o sucesso das operadoras que atuam neste mercado.

Tendo em vista o cenário de competição estabelecido, os clientes passaram a demandar cada vez mais serviços diferenciados e com desempenho adequado aos requerimentos dos seus negócios. Desta forma, uma política eficaz de SLM e conseqüentemente SLA, torna-se um importante diferencial competitivo.

As políticas de SLM/SLA atualmente adotadas estão mais voltadas ao cumprimento de contratos com os clientes, refletindo uma postura passiva [VIS02]. A monitoração de indicadores tradicionais visa tomar ações corretivas como, por exemplo, disparar ações de manutenção.

Com base na relevância do tema, pode-se estabelecer uma visão individualizada e vantagens para diversas áreas. Na área referente a *Empresas Tecnológicas*, por exemplo, as empresas podem agregar valor aos seus produtos mediante a inserção de funcionalidades de SLM, em conformidade com as recomendações de fóruns e organismos de padronização internacionais, igualando-se ou superando as iniciativas de outros concorrentes de forma a garantir vantagem competitiva, tanto no mercado nacional, como no internacional.

As empresas também podem manter seus produtos alinhados às tendências de mercado, tornando-os cada vez mais competitivos, uma vez que a gerência de SLAs no Brasil deverá ser um item chave na escolha de fornecedores para telecomunicações e para qualquer tipo de rede.

Sendo assim, a maior motivação ao desenvolvimento deste trabalho é o grande interesse que estão representando as redes sem fio, *ad-hoc*, na comunidade científica internacional, devido à sua ampla aplicabilidade, além da constatação feita através de leituras e análises dos trabalhos correlatos sobre a necessidade de SLAs, para redes *Wireless*, que não apresentem uma postura passiva, e sim possibilitem ações pró-ativas, permitindo que medidas corretivas sejam tomadas antes da degradação do serviço.

1.2. Objetivos

O *objetivo geral* deste trabalho é obter, através de simulações, informações de desempenho de uma rede sem fio *ad-hoc*, analisar estas informações e por fim, moldar as métricas de qualidade de serviço, as quais iram compor o SLA provido sobre esta rede, verificando como está se comportando o tráfego, assim como os possíveis erros e problemas que podem estar acontecendo no ambiente.

Cabe ressaltar ainda que o SLA terá um caráter inovador, por se tratar de um SLA pró-ativo, onde teremos rotinas que deverão prever uma possível quebra do acordo e com isso tomar alguma decisão, a fim de, não permitir que o acordo seja quebrado de fato.

Entre os *objetivos específicos* deste trabalho destacam-se:

- Continuidade dos estudos, análises e desenvolvimento da gerência de redes sem fio, bem como da gerência de níveis de serviços;
- Identificar parâmetros para assegurar qualidade de serviços em redes *ad-hoc*;
- Pesquisar os *acordos de níveis de serviço para redes sem fio*, numa concepção pura e aplicada visando à investigação e o desenvolvimento de soluções, considerando os saberes da área de gerência de redes, complementados mediante trabalho interdisciplinar com a área de telecomunicações;
- Verificar as alterações apresentadas pelas métricas de QoS em um determinado ambiente de simulação, ao alterar-se algumas variáveis de desempenho e alguns parâmetros como tipo de fila, protocolo de roteamento, tamanho dos pacotes e número de nodos;
- Propor um Acordo Pró-Ativo de Nível de Serviço, para verificação e garantia de QoS em redes sem fio, *ad-hoc*, baseado nas simulações; e
- Contribuir para o avanço teórico, experimental e prático dos temas aqui pesquisados.

1.3. Estado da Arte

Recentemente, surgiram várias propostas para prover QoS em redes corporativas, incluindo-se aqui as redes sem fio. Essas propostas seguem, essencialmente, duas vertentes distintas, a dos fabricantes de redes denominada Gerenciamento de Níveis de Serviços e a da IETF, denominada Serviços Diferenciados ou *DiffServ* [GIB00]. O trabalho aqui proposto dará ênfase a primeira vertente, mais especificamente a sua parte contratual, ou seja, Acordos de Níveis de Serviço.

A proposta apresentada neste trabalho tem um certo caráter inovador por integrar abordagens como as de *wireless ad-hoc*, SLM e SLA. Este último é o que irá trazer o diferencial ao trabalho. Como descrito na seção 1.2, o SLA aqui proposto terá um caráter inovador, por se tratar de um SLA pró-ativo, onde teremos rotinas que deverão prever uma possível quebra do acordo e com isso tomar alguma decisão, a fim de, não permitir que o acordo seja quebrado de fato.

Outras propostas existentes, analisadas durante o desenvolvimento do trabalho e que estão descritas nas seções seguintes, possuem algumas limitações em relação a este estudo, principalmente por não englobarem os inúmeros parâmetros possíveis em um ambiente *wireless*, além das demais características e elementos, descritos e discutidos ao longo do trabalho.

O trabalho aqui proposto poderá ser especificado, modelado e implementado utilizando-se diferentes enfoques e concepções. Na pesquisa desenvolvida, consideraram-se os referenciais existente nos diferentes segmentos interessados por SLM, SLA e Redes Sem Fio. Dentre estes segmentos destacam-se organismos de padronização e fóruns (OMG, ITU-T, ISO, TMForum, IETF, DMTF, IEEE), produtos, serviços, provedores de serviços, fabricantes de *hardware* e *software* e pesquisas da comunidade acadêmica.

1.3.1. Segmentos de Padronização e Fóruns

Dentre os diversos segmentos, considerados de extrema relevância para a gerência de SLM/SLA, estão os trabalhos desenvolvidos pelo TMForum (*Tele Management Fórum*). O TMForum é um consórcio internacional, composto por fornecedores de serviços de telecomunicações, dedicado a promover entendimento de como informações de gerência podem ser trocadas entre um provedor de serviço e seus clientes. Este entendimento é resultado de diversas pesquisas e debates realizados entre seus membros com o propósito de definir padrões como [TMF503], [TMF601] e [TMF701], sendo este último bastante utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

O TMF 701 produziu um estudo que trata do suporte a garantias formais de satisfação de níveis de serviço, onde foram levantados diversos aspectos para representação da eficiência do provedor e dos seus serviços em termos gerais, os quais são capazes de representar uma ampla variedade de serviços e provedores. O cliente passou a contar, a partir deste estudo, com um mecanismo de verificação e comparação de comunicação entre os diversos provedores. Neste estudo também são identificados quais os parâmetros mais importantes na provisão de QoS.

Além do referencial existente no TMForum, foram considerados os esforços específicos de outros segmentos de padronização, cujas especificações relacionam-se

com as categorias de conhecimentos abordadas neste trabalho. Dentre as referências consideradas, destacam-se as seguintes fontes de documentação *on-line*: [ITU02, IEEE02, OMG02, ISO02, DMTF02, QoS02].

1.3.2. Pesquisas da Comunidade Acadêmica

Os eventos internacionais mais significativos em gerência de redes são o IFIP/IEEE **Im** – *International Symposium on Integrated Network Management* e o IFIP/IEEE **NOMS** – *Network Operation and Management*. Nesses eventos, assim como em outros destinados à divulgação de trabalhos na área de gerência de redes (**LANOMS** - *Latin American Network Operations and Management Symposium*, **DSOM** - *Workshop on Distributed Systems: Operations & Management* e **APNOMS** - *Asia-Pacific Network and Management Symposium*) e em publicações como o *Journal of Network and System Management*, os temas *Service Level Management* e *Wireless* têm sido pautas constantes.

Entre os trabalhos de maior relevância no âmbito desta pesquisa destacam-se:

- *Service Level Management in ATM Networks* [PUK00]: Apresenta um sistema de gerência de níveis de serviços para as redes ATM, o qual pode ser aplicado aos diferentes sistemas de telecomunicações.
- *Design and Implementation of a Generic Connection Management and Service Level Agreement Monitoring Platform Supporting the Virtual Private Network Service* [TUR01]: Descreve uma arquitetura genérica e escalável para conexão e gerência de SLAs em VPNS (*Virtual Private Networks*).
- *Mapping Between QoS Parameters an Network Performance Metrics for SLA Monitoring* [LEE02]: Propõem um mecanismo formal de mapeamento entre parâmetros de QoS e métricas de performance de rede.
- *A QoS Management Framework for 3G Wireless Networks* [SEN98]: Demonstra que tipo de flexibilidade e técnicas de gerência são necessárias traçar para garantir QoS sobre redes *wireless*. Uma estrutura com agentes *wireless* de QoS é proposta, onde o agente é responsável por traçar exigências de QoS de acordo com o *link* de rádio.

- *QoS Support in Mobile/Wireless IP Networks Using Differentiated Services and Fast Handoff Method* [SUK02]: Descreve a integração do IP móvel e do *DiffServ* incluindo a condição do *handoff*, propondo alguns esquemas com arquitetura hierárquica de agentes para suportar QoS em redes móveis IP. Para isso, é configurado um agente com recursos pré-alocados de acordo com um SLA estático.
- *SNMP based Over-the-Air Management of Multi-Mode Mobile Hosts* [RAN02]: Apresenta um novo esquema da gerência de *hosts* móveis, os quais utilizam SNMP. Um agente SNMP é instalado em cada MH junto com uma MIB apropriada. Os *hosts* móveis são controlados então por um gerente centralizado SNMP. O esquema proposto é uma solução simples, contudo elegante de elogiar a funcionalidade convencional da gerência do MH com a habilidade de suportar a gerência de mobilidade em um ambiente *wireless*, sem impor *overheads* desnecessários tais como o IP móvel, *proxies* externos ou alterações nas pilhas do protocolo.
- *Quality of Service and Mobility for the Wireless Internet* [MAC03]: Explora uma forma de como fornecer de forma apropriada qualidade de serviço com a gerência flexível da mobilidade em redes *wireless*. É apresentado uma arquitetura hierárquica de QoS que concede serviços diferenciados aos *hosts* móveis em um ambiente *wireless*.

Nos eventos nacionais, sendo o de maior expressão o **SBRC** – Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, encontram-se referências como:

- *Qualidade de Serviço em Redes 802.11* [RUB01]: Apresenta os principais problemas da provisão de qualidade de serviço em redes locais sem-fio IEEE 802.11. Os problemas de injustiça no compartilhamento da banda passante disponível no canal e de instabilidade de conexões TCP são descritos detalhadamente.
- *Uma Arquitetura para Simulação Flexível de Protocolos para Computação Móvel* [ROC01]: Apresenta uma ferramenta integrada para teste e avaliação do desempenho de protocolos distribuídos para computação móvel, intitulada MOBICS.

- *Avaliação de Desempenho de Redes Bluetooth usando o Modelo de Captura* [COR01]: Realiza uma análise do protocolo de acesso ao meio das redes *Bluetooth*, chamado de L2CAP, e afere seu desempenho através de um modelo analítico e posterior simulação. Este modelo mostra claramente o efeito da interferência na vazão das piconets e quantifica seu valor neste tipo de configuração.
- *Análise de Desempenho de Protocolos de Roteamento com Diferenciação de Serviços em Redes de Comunicação Móvel Ad Hoc* [AMO02]: Investiga o impacto da utilização da diferenciação de serviços nos protocolos de roteamento. Para isso, foram usadas duas técnicas de diferenciação denominadas, Diferenciação de Serviços por Variação na Função de *Backoff* e Diferenciação de Serviços por Variação no DIFS.
- *Mobile Wireless Network System Simulation* [SHO01]: Descreve um ambiente de simulação usado para examinar, validar e determinar o desempenho de redes *wireless* móveis. Assim é possível prever exatamente os gargalos de desempenho de um sistema *wireless* multimídia, bem como determinar medidas de desempenho, fornecer e validar os algoritmos analisados e os propostos, a fim de obter-se um melhor desempenho.
- *Modelos Markovianos de Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad Hoc* [CAM03]: Propõem-se um conjunto de modelos de mobilidade que tratam os problemas de mobilidade e são indicados para representar a mobilidade de MHS em ambientes urbanos e rodovias.
- *Um modelo de contabilização e negociação de preços para serviços com QoS* [BAS03]: Discute aspectos da contabilização e precificação de serviços na Internet 2 e apresenta um modelo de contabilização no nível de serviços e negociação de preços. O objetivo do modelo proposto é considerar os novos requisitos e parâmetros de contabilização necessários em decorrência da adição de qualidade de serviço à Internet.
- *Um Framework para Provisão de QoS em Redes Móveis Sem Fio* [LIM03]: Apresenta um conjunto de *frameworks* que se propõe a oferecer provisão de

QoS em redes móveis sem fio integrando soluções isoladas encontradas na literatura.

- *Seleção Dinâmica de Parâmetros de Controle de Qualidade de Serviço em Redes IEEE 802.11 Infra-Estruturadas* [FIL03]: Descreve um mecanismo de controle que seleciona dinamicamente os parâmetros de Qualidade de Serviço (QoS) empregados em uma rede local sem fio compatível com a especificação IEEE 802.11e.

As pesquisas desenvolvidas por [HOR02] também foram de extrema relevância para elaboração deste trabalho. Ele simula um tráfego no *gateway* de uma *scatternet* em uma rede *Bluetooth* com diferentes tamanhos de pacotes, comparando o desempenho dos esquemas de filas *FIFO* com *SFQ*, *FQ* e *DRR*.

Outros trabalhos como [CHO99, PAT02] apresentam formas de adaptação de banda para redes sem fio *ad-hoc*. Esta pode ser considerada como uma forma de implementar uma aplicação de QoS, pois a aplicação se adapta às condições da rede, dentro de certas condições. Em [LIM02], é proposto à implementação e validação de um mecanismo sobre o princípio de gerência de largura de banda para manter QoS adaptável aplicados as redes sem fio de topologia *ad-hoc*.

Em [RIB02] é apresentado à avaliação do comportamento de um enlace sem fio em ambiente aberto segundo o padrão 802.11b.

Os trabalhos relatados anteriormente são apenas alguns considerados de maior expressão no âmbito da pesquisa aqui apresentada. Na seção de referências bibliográficas pode-se encontrar uma relação maior de trabalhos condizentes com o tema.

1.3.3. Potencial Mercadológico da Inovação Proposta

1.3.3.1. Panorama do Mercado de Gerência da Qualidade de Serviços

A gerência da qualidade de serviços envolve as seguintes características: projeto, desenvolvimento, entrega, monitoramento, manutenção e comunicação para clientes específicos ou classes de clientes [QoS02]. Os sistemas de gerenciamento da qualidade de serviços trabalham sobre os SLAs, estabelecidos entre fornecedores de serviços e compradores.

O crescimento significativo da utilização dos SLAs reflete principalmente as mudanças econômicas, em que a participação dos serviços está se ampliando [VIS02]. Os acordos podem ser feitos entre qualquer comprador/fornecedor de serviços, nos mais diversos setores. No entanto, o monitoramento dos SLAs são mais adequadas aos segmentos onde, a quantidade de informações a ser monitorada é muito grande; a qualidade do serviço contratado impacta a performance dos negócios do contratante.

Os primeiros segmentos adotantes de nível de serviços foram: comunicações e tecnologia da informação, onde a terceirização e a variedade de provedores de serviços são cada vez maiores. Com os mercados de tecnologia da informação e de comunicações cada vez mais competitivos, os SLAs passaram a ser exigidos nos contratos.

Diante deste cenário, os principais fornecedores de serviços de tecnologia da informação, principalmente as empresas fornecedoras de infra-estrutura, setor muito sensível a criticidade da qualidade do serviço, já adotam os acordos de nível de serviço.

1.3.3.2. Acordos de Níveis de Serviço no Brasil

Segundo entrevista realizada em dezembro de 2002 pelo *Yankee Group* [YAN02], mostra que 59% das empresas brasileiras já trabalham com o SLA, sendo que destes, 15% já produzem e disponibilizam relatórios com indicadores de qualidade gerados automaticamente por algum *software* de SLM. O levantamento, também mostrou que 21% das companhias são reativas e contam apenas com o *feedback* do usuário. Para 45% dos pesquisados, o desempenho e a disponibilidade das aplicações críticas são controlados por sistemas que avaliam os componentes da infra-estrutura (como rede ou servidores). Outros 18% possuem coleta e cálculo automático de indicadores que informam o desempenho e disponibilidade que os usuários estão experimentando no momento [YAN02].

Em outra pesquisa, realizada por [VIS02], 95% dos entrevistados responderam que gostariam de receber mais informações sobre o tema, indicando assim que o SLA está crescendo rapidamente no Brasil, assim como aconteceu em outros países. O grande interesse é definir indicadores de qualidade de serviço (43%) e os moldes do contrato (35%).

Estas pesquisas identificaram as tendências do mercado e revelaram o interesse pelo tema, mas não especificaram como os SLAs estão sendo feitos na prática. Sabe-se que empresas de grande porte já estão exigindo os SLAs, mas não se tem conhecimento sobre o que elas estipulam. Muitas operadoras entendem SLA como uma garantia da entrega de níveis de serviço firmados com base nos seus processos internos. Mas o SLA autêntico é mais complexo e deve ser construído para atender as necessidades de negócios do cliente.

1.3.3.3. Setor Comunicação Sem Fio

O Brasil é a oitava maior economia do mundo e a terceira maior no mercado das telecomunicações [PIO02], atrás apenas dos Estados Unidos e da China. No país, há uma forte demanda de todos os tipos de serviços de telecomunicação - *paging*, dados, telefonia fixa e *wireless* levando a um investimento de grande escala na infra-estrutura de rede.

Concentram-se no Brasil, 34% das linhas fixas de toda a América Latina. O Brasil é responsável por 48% dos "assinantes de *wireless*" da América Latina. Até 2005, há a expectativa de uma taxa de crescimento anual de 19% [PIO02].

Com esse aumento da demanda de "serviços *wireless*", surgem oportunidades para as operadoras que, simultaneamente, diminuem seus preços com a finalidade de aumentar a participação no mercado e investir vigorosamente em infra-estrutura, para conquistar novos clientes.

A utilização de tecnologias sem fio tende a crescer entre as corporações. A tendência foi constatada em uma recente pesquisa realizada pela *Lucent*, que ouviu 270 profissionais de TI em abril deste ano e concluiu que o crescimento existe, embora não com o mesmo ânimo previsto há dois anos. Na opinião dos profissionais ouvidos, as maiores barreiras para a utilização de soluções sem fio em ambientes corporativos ainda estão na possibilidade de invasões e ataques e na impossibilidade de comprovar retorno de investimentos feitos neste tipo de aplicativo [LUC03].

Acordo de Nível de Serviço (SLA), Métricas, Qualidade de Serviço (QoS) e Gerência de Nível de Serviço (SLM) são terminologias conhecidas e muitas vezes conceitos aplicados em nosso cotidiano. Quando fazemos referência ao SLA clássico,

estamos, normalmente, definindo padrões quantificáveis de serviços, como por exemplo: tempo de resposta ao incidente ou média de tempo de atendimento do serviço *help desk*.

No entanto, o desafio ou estado da arte está em definir métricas para redes sem fio, que normalmente são mensuráveis qualitativamente e quantitativamente, com objetivo de obter informações de desempenho nas redes sem fio – *ad-hoc*, e analisar estas informações a fim de moldar parâmetros de qualidade de serviço, que compõem os SLAs de serviços providos sobre estas redes.

1.4. Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: No Capítulo 1 foi apresentada uma breve introdução. Na seqüência do capítulo, descreveu-se a motivação para o desenvolvimento do trabalho, bem como, os objetivos gerais e específicos a que o trabalho propõe-se, o estado da arte e trabalhos correlatos que auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta a descrição da tecnologia sem fio (*wireless network*), bem como, os principais conceitos, técnicas de espalhamento espectral, o provimento de serviços usando redes sem fio e a aplicabilidade e viabilidade destas redes.

No Capítulo 3, temos uma descrição dos Acordos de Níveis de Serviços - SLAs, e o gerenciamento destes acordos. O Capítulo 4 apresenta as métricas de QoS utilizadas na elaboração do SLA.

Na seqüência, o Capítulo 5 apresenta o cenário para o desenvolvimento das simulações referentes a um ambiente com enlace sem fio, bem como a análise e avaliação dos resultados para o desenvolvimento do SLA, o qual é descrito no Capítulo 6.

Por fim, no Capítulo 7 é realizada uma discussão do trabalho realizado, bem como são apresentadas conclusões, dificuldades encontradas para o desenvolvimento do trabalho e perspectivas futuras.

As referências bibliográficas são apresentadas no Capítulo 8 para mostrar mais detalhes sobre alguns trabalhos correlatos.

2. WIRELESS – COMUNICAÇÃO SEM FIO

Neste Capítulo é apresentada a tecnologia de comunicação sem fio para a interligação de redes de computadores, bem como, os principais conceitos, técnicas de espalhamento espectral, o provimento de serviços usando redes sem fio e a aplicabilidade e viabilidade destas redes.

2.1. Introdução

A ocorrência de dois fatores nos últimos anos, a miniaturização de componentes eletrônicos e as comunicações pessoais sem fio fizeram com que surgissem as primeiras redes sem fio comerciais no início dos anos 90 [TAN97].

Em maio de 1991, foi pedido ao IEEE a elaboração de padrões adotados em redes locais, formando-se o Grupo de Trabalho 802.11, cujo objetivo é definir as especificações para conectividade sem fio. A elaboração do padrão teve atrasos e o Grupo publicou o novo padrão no segundo semestre de 1997 [RIB02]. Desde então, esforços têm sido contínuos para fazer do IEEE 802.11 um padrão mundial formalmente reconhecido como é o *Ethernet* (IEEE 802.3).

2.2.O que é uma Rede Sem Fio (*Wireless*)

Redes Sem Fio (*Wireless*) ou Redes Móveis se referem a redes de computadores que são conectadas aos seus ambientes de trabalho via enlaces sem fio, como por exemplo, rádio frequência (RF) e raios infravermelhos (IR). Surgiram com a finalidade de superar as limitações de mobilidade e dificuldades de instalação das redes tradicionais. Assim, as redes sem fio possibilitam instalações mais rápidas e apropriadas; e as redes móveis garantem a mobilidade não suportada pelas redes cabeadas [AMO02].

O uso de redes sem fio é recomendado para determinadas instalações prediais tais como: hospitais, fábricas e prédios tombados pelo patrimônio histórico, onde muitas vezes não é possível o uso de redes convencionais devido aos problemas causados pelo cabeamento na instalação.

As redes móveis visam atender usuários de serviços do tipo PCS (*Personal Communication Services*) integrando os sistemas de computação móvel. No seu conceito mais amplo, deseja-se que os usuários de sistemas de computação móvel possam acessar os recursos, incluindo diferentes tipos de serviços e servidores, em qualquer instante de tempo e de qualquer lugar de origem, eliminando todas as restrições de tempo e de espaço existentes.

Por questão de esclarecimento, neste trabalho os termos redes móveis e redes sem fio serão considerados semelhantes e podem ser aplicados individualmente a um mesmo Sistema de Redes com características descritas no parágrafo anterior, sem que isso gere ambigüidade sobre a arquitetura da rede.

Resumidamente, comunicação *wireless* se refere a todo tipo de conexão efetuada sem fios, ou em espaço livre. Os sinais sem fio são ondas eletromagnéticas, que podem trafegar pelo vácuo do espaço sideral e por meios como o ar. Portanto, não é necessário nenhum meio físico para os sinais sem fio, fazendo deles uma forma muito versátil para criar-se uma rede.

O número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética é chamado de frequência, f . A distância entre dois pontos máximos, ou mínimos consecutivos é chamada de comprimento da onda, simbolizado pela letra λ (*lambda*). O espectro magnético é à faixa de frequência e os respectivos comprimentos que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas.

Modulação é uma técnica de modificar um sinal analógico básico conhecido em um meio, a fim de codificar uma informação neste sinal. O sinal que é modulado chama-se portadora, porque ele carrega a informação digital de um canal de informação para o outro [RIB02].

Para efetuar a transmissão de informações sem fio, são utilizados o rádio, a microonda e o raio infravermelho. Para que isso possa ocorrer é necessário que a amplitude, a frequência ou a fase das ondas seja modulada. Isto para que a mensagem possa ser reconhecida pelo transmissor e pelo receptor. Ainda são possíveis as utilizações da luz ultravioleta, do raio X e do raio gama, mas ambos apresentam alguns problemas como dificuldade de modulação, não se propagam através de prédios e ainda são prejudiciais aos seres vivos [PIS01].

2.2.1. Vantagens e Desvantagens das Redes Sem Fio

Várias vantagens e desvantagens podem ser citadas ao se comparar às redes *sem fio* com as redes fixas.

Entre as vantagens, destacam-se:

- a) Rápida instalação, uma vez que as redes *ad-hoc* podem ser estabelecidas dinamicamente em locais onde não haja previamente uma infra-estrutura de rede instalada;
- b) Tolerância à falhas: a permanente adaptação e reconfiguração das rotas em redes *ad-hoc* permitem que perdas de conectividade entre os nós possam ser facilmente resolvidas desde que uma nova rota possa ser estabelecida;
- c) Conectividade: dois nós móveis podem comunicar-se diretamente desde que cada nó esteja dentro da área de alcance do outro; e
- d) Mobilidade: esta é uma vantagem primordial com relação às redes fixas.

Como desvantagens, destacam-se:

- a) Roteamento: a mobilidade dos nós e uma topologia de rede dinâmica contribuem diretamente para tornar a construção de algoritmos de roteamento um dos principais desafios em redes *ad-hoc*;
- b) Localização: outra questão importante em redes *ad-hoc* é a localização de um nó, pois além do endereço da máquina não ter relação com a posição atual do nó, também não existem informações geográficas que auxiliem na determinação do posicionamento do nó;
- c) Taxa de erros: a taxa de erros associada a enlaces sem-fio é mais elevada;
- d) Banda passante: enquanto em meios cabeados a banda passante já chega à casa dos Gbps, os enlaces sem-fio estão ainda na casa dos Mbps.

2.3. Tecnologias Sem Fio

As tecnologias de redes sem fio estão se tornando populares nos últimos anos. O uso já disseminado da telefonia celular é uma constatação deste fato. Novas tecnologias sem fio têm surgido para atender diferentes necessidades: *Bluetooth*, *HomeRF*, *WAP*,

HiperLAN e *WLAN* são alguns exemplos [DIA01]. Neste Capítulo, bem como no trabalho em si, daremos ênfase as WLANs.

2.3.1. WLANS - Wireless Local Area Networks

Como acontecem nas redes cabeadas, nas redes sem fio existem as redes WAN e redes LAN. As redes WAN sem fio, conhecidas também como WWAN, têm suporte na telefonia, inicialmente desenvolvidas para a comunicação de voz e depois adaptadas para transmissão de dados.

As redes LAN sem fio, conhecidas também como WLAN, têm suporte de comunicação para interconexão de equipamentos numa área restrita, com o objetivo de viabilizar o compartilhamento dos recursos computacionais de *hardware*, *software* e informação.

Atualmente a tecnologia de WLAN está se tornando muito popular em uma grande variedade de aplicações. Originalmente desenvolvida para aplicações internas, hoje a WLAN é uma opção tanto para redes internas, como para aplicações externas tipo ponto-a-ponto ou ponto-multiponto [PIS01].

A unidade básica de uma WLAN é a célula. A célula é a área onde as comunicações sem fio acontecem, chamadas BSS (*Basic Service Set*) e controladas pelo AP (*Access Point*). Embora estas redes possam ser formadas por uma única célula, com um único AP, muitas são formadas por várias células. Estes conjuntos de células vizinhas que se interceptam, conhecidas como ESS (*Extended Service Set*), são vistas como uma simples rede 802 pelas camadas superiores.

Quando uma estação movimentar-se de um BSS para outro, essa pode permanecer conectada à rede, processo este denominado *Roaming*.

A área de cobertura que constitui a célula depende diretamente da potência do sinal de rádio propagado, do posicionamento das antenas e do grau de desobstrução do percurso que este sinal irá encontrar (ex: relevo natural, prédios, paredes, janelas, árvores e qualquer objeto que se encontre no caminho e atenuar o sinal).

2.3.1.1. Modos de Operação

No 802.11 existem dois tipos de redes sem fio, duas maneiras de se configurá-las: com infra-estrutura (*infra-estruturada*) ou sem infra-estrutura (*ad-hoc*). Esta taxionomia é amplamente utilizada, não somente na classificação das WLANs, mas também, para classificar redes móveis em um contexto geral.

Uma rede *ad-hoc* ou Manet (*Mobile Ad Hoc Network*), é composta somente por estações dentro de um mesmo BSS que se comunicam entre si sem a ajuda de uma infra-estrutura. Qualquer estação pode estabelecer uma comunicação direta com outra estação no BSS sem a necessidade que a informação passe por um ponto de acesso centralizado.

Já em uma rede infra-estruturada, é utilizado um ponto de acesso que é responsável por quase toda a funcionalidade de rede, ou seja, toda comunicação entre os nós móveis é feita através de estações de suporte à mobilidade. Neste caso, os nós móveis, mesmo próximos uns dos outros, estão impossibilitados de realizar qualquer tipo de comunicação direta. De modo a aumentar a cobertura de uma rede infra-estruturada, vários pontos de acesso podem ser interligados através de um *backbone*, chamado sistema de distribuição.

A Figura 1, mostra a “topologia” destas redes:

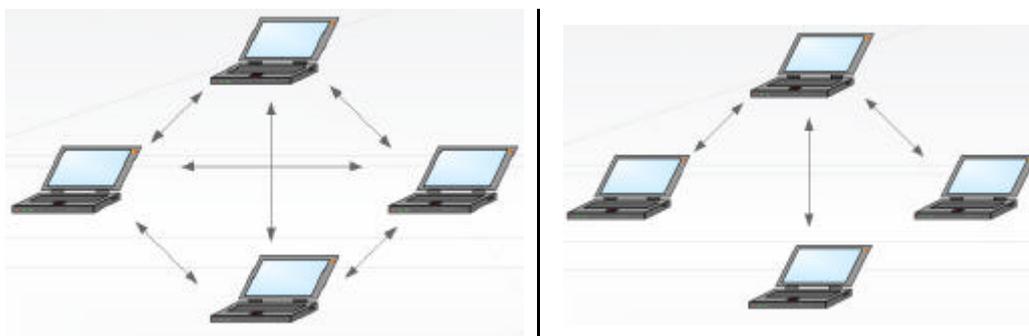


Figura 1. Rede Ad-Hoc e Rede Infra-Estruturada.

Em uma rede infra estruturada se uma estação móvel no BSS precisar comunicar-se com outra estação móvel, a comunicação é primeiramente enviada ao AP e então o AP a encaminha para a estação móvel. Com isto consome duas vezes mais largura de banda do que se a comunicação enviasse diretamente de uma estação móvel a outra [RIB02]. No entanto possuem um benefício se comparadas com as redes *ad-hoc*, como a buferização

do tráfego para uma estação móvel quando ela estiver operando em baixa capacidade de energia. As redes com Infra-estrutura também fazem a interligação das redes móveis com as redes fixas, ditas cabeadas.

2.3.1.1.1. Redes Ad-Hoc

A topologia básica (*Independent Basic Service Set - IBSS*) de uma rede *ad-hoc* consiste de dois ou mais nós (*Mobile Hosts - MH*), que estando na mesma área de cobertura do sinal, podem se reconhecer, estabelecer uma comunicação, formando-se espontaneamente. Estes MH podem estar em movimento e conectando-se com diferentes MH ao longo do caminho.

Caso os MH não estejam na mesma área de cobertura do sinal, a rota entre eles pode ser formada por vários *hops* (saltos) através de um ou mais computadores na rede. Assim, estas redes são vistas como sendo dinâmicas, mudando rapidamente e randomicamente, com topologias *multihop* e compostas por restrições de banda em canais sem fio.

A partir destas características das redes *ad-hoc*, nota-se que a grande dificuldade está relacionada com previsão da mobilidade. Um dos problemas fundamentais é então determinar e manter as rotas, já que a mobilidade de um computador pode causar mudanças na topologia.

Como as redes *ad-hoc* não possuem uma infra-estrutura fixa, a responsabilidade por organizar e controlar a rede é distribuída entre os próprios terminais. Este controle distribuído de acesso ao meio tem como objetivo fornecer um compartilhamento justo da banda passante, no qual todas as estações recebem o mesmo tratamento independentemente dos seus requisitos de QoS [MUN01].

Assim, redes *ad-hoc* que utilizam o padrão 802.11 seguem o modelo de serviço de melhor esforço, não oferecendo nenhuma garantia de QoS ao tráfego transportado [QoS02]. Protocolos e mecanismos específicos ao 802.11, usados em diferentes abordagens e arquiteturas, foram propostos com o objetivo de prover QoS em redes *ad-hoc*. No final de 2000, o grupo tarefa 802.11e iniciou o estudo e a especificação de mecanismos de suporte a QoS e Multimídia na camada MAC, seguindo a abordagem adotada pela arquitetura de diferenciação de serviços do IETF.

Já nas redes infra-estruturadas, os pontos de acesso são responsáveis pela alocação de banda passante e pela limitação da latência das estações.

2.4.Arquitetura

O padrão IEEE 802.11 definiu uma camada MAC (*Medium Access Control*) única que utiliza diversos padrões de camadas físicas de transmissão sem fio. A transmissão em canais de rádio-frequência distingue-se dos outros meios de redes fixas por apresentar propriedades únicas, e que devem ser consideradas pelo padrão. As características do meio variam abruptamente no tempo, ou seja, as características de propagação do sinal alteram-se muito rapidamente. Além disso, por ser de domínio público, deve-se tratar convenientemente da segurança e interferência [MUN01].

Em relação a interferências, o padrão toma uma série de cuidados, como a escolha, de tecnologias de transmissão do tipo *spread spectrum*, conhecida por sua robustez frente à interferência. Recursos de segurança incluem métodos de autenticação, verificando autorização de cada estação antes de ter acesso à rede (ShareKeys, autenticação RADIUS) e de criptografia (*RC4*) [PAT02], assegurando integridade dos dados ao serem convertidos de sinais eletrônicos para sinais de rádio, procurando-se prover às redes sem fio o mesmo nível de segurança das redes tradicionais.

O *roaming*, movimento de um STA (MH) de um BSS para outro permanecendo conectada à rede, é definido de forma superficial no padrão IEEE 802.11, deixando para cada fabricante os detalhes de implementação. Desta forma, para tornar possível à interoperabilidade do *roaming* entre equipamentos de diferentes fabricantes, foi definido o IAPP (*Inter-Access Point Protocol*).

As entidades do protocolo 802.11 dividem o nível físico em duas subcamadas, Figura 2, onde a inferior trata das diferentes técnicas de transmissão (PMD – *Physical Medium Dependent*), cuidando da modulação e codificação do sinal, e a superior provê os pontos de acesso de serviço comuns ao nível físico (PLCP – *Physical Layer Convergence Procedure*). A subcamada MAC, por sua vez, é responsável pelo mecanismo de acesso básico ao meio, fragmentação e encriptação. A entidade de gerência da camada MAC implementa uma MIB (*Management Information Base*) que cuida da autenticação das estações e das operações de *roaming* [TIA98].

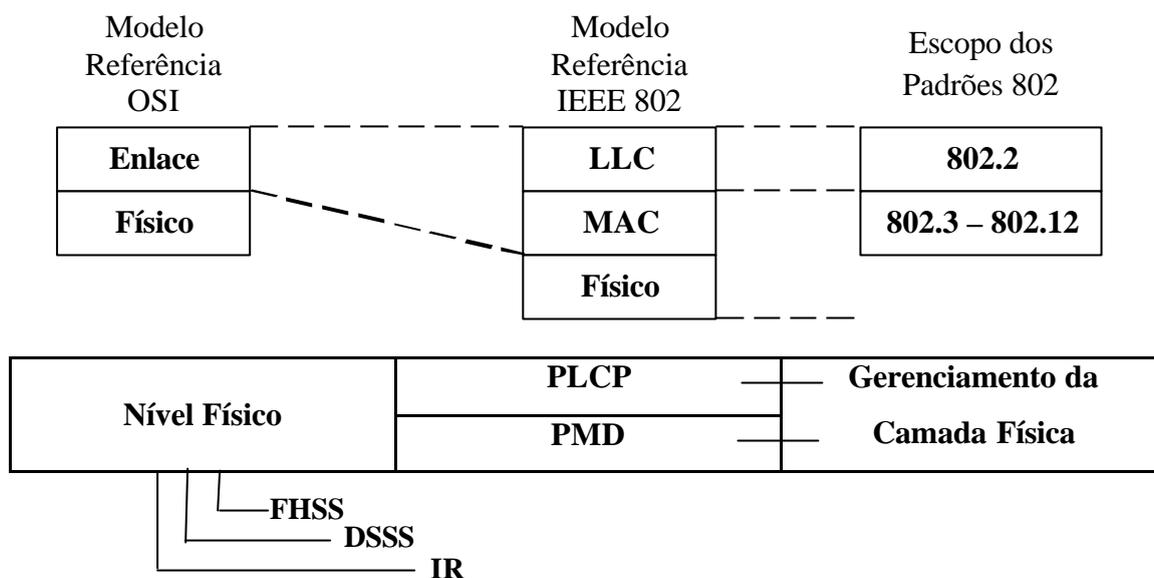


Figura 2. Escopo das entidades e protocolos do padrão 802.11.

As redes sem fio podem ter conexão com as redes cabeadas ou podem ser independentes de modo a formar uma rede inteiramente sem fio. Enquanto as redes convencionais dependem das conexões a cabo, as redes sem fio usam sinais de rádio como meio de transmissão. Assim, o órgão regulador de telecomunicações dos EUA, FCC (*Federal Communications Commission*), autorizou o uso de três faixas de rádio-frequência (RF) para finalidades *industriais, científicas e médicas (Industrial Scientific and Medical - ISM)*, cujo uso é liberado sem necessidade de licenciamento [RIB02].

A camada física é implementada através de três diferentes especificações de espalhamento espectral: **FHSS** - *Frequency Hopping Spread Spectrum*; **DSSS** - *Direct Sequence Spread Spectrum*; e **IR** - *Infrared*. As três tecnologias não são interoperáveis [HOR02].

- **FHSS:**

O FHSS é uma técnica de espalhamento de espectro, que usa a banda ISM de 2,4000 a 2,4835 GHz [DIA01], e divide a banda passante total em vários canais de pequena banda, fazendo com que o transmissor e o receptor fiquem em um desses canais por um certo tempo e depois saltem para outro canal. Neste sistema, divide-se a banda de frequência em canais de frequência com a mesma largura. Com isso, permite-se a

coexistência de várias redes em uma mesma área através da separação dessas redes por diferentes padrões pseudo-aleatórios de uso do canal chamados seqüências de saltos.

Uma rádio FM, por exemplo, trabalha transmitindo em uma mesma freqüência todo o tempo, já um sistema FHSS transmite um curto período de tempo e depois muda para outra freqüência próxima por outro período e assim por diante. Desta forma se existir uma fonte de ruído em uma freqüência, a transmissão de dados só será afetada por um curto período de tempo [RIB02].

A única desvantagem do FHSS quando comparado com o DSSS é que ele perde algum tempo pulando de uma freqüência para outra, assim este sistema tem uma taxa de transferência um pouco menor. Dessa forma, os sistemas FHSS são ideais para transmissão de dados em ambientes abertos onde existem ruídos e outros sistemas FHSS que podem entrar em operação na mesma área [PIS01].

- **DSSS:**

O DSSS é um método alternativo de espalhamento de espectro, no qual códigos são separados. O DSSS também usa a banda ISM de 2,4 GHz [DIA01].

Ao contrário do FHSS, o DSSS transmite em uma faixa de freqüência fixa, porém muito larga e distribuída por igual. O sinal transmitido não é muito forte em nenhuma freqüência específica, tendo a mesma força por uma grande faixa de freqüência.

Assim sendo, uma interferência em uma certa freqüência irá afetar apenas uma parte do sinal, sobrando ainda os sinais transmitidos em outras freqüências próximas. Além disso, se houver outro sistema de rádio utilizando uma freqüência dentro da faixa utilizada pelo DSSS ele será pouco afetado, pois o sinal DSSS é fraco [PIS01].

O DSSS tem uma capacidade de transmissão maior que o FHSS, porém se dois sistemas idênticos DSSS forem instalados na mesma área, e operarem na mesma faixa de freqüência, eles irão ocasionar uma interferência muito forte e acabar afetando a troca de informações. Dessa forma, os sistemas DSSS são ideais para transmissão de dados em ambientes fechados, onde não ocorra atenuação de interferências externas.

Segundo [HOR02], todos os rádios operando a 11 Mbps são DSSS.

- **IR:**

O infravermelho foi projetado para ser usado em áreas fechadas e opera com transmissões não direcionadas. As estações podem receber dados através de suas linhas de visada e por transmissões refletidas.

Neste tipo de rede, um transmissor e um ou mais receptores comunicam-se através de um plano de reflexão, que normalmente é o teto. O transmissor envia seus quadros, iluminando o teto. Não deve haver qualquer tipo de obstáculo em relação a qualquer nodo móvel; todos devem monitorar o plano de reflexão. Entretanto, não é necessário que nodos móveis estejam alinhados entre si para se comunicarem.

Há, ainda, redes de raios infravermelho diretos, que não são objeto de estudo do padrão 802.11 [WLA02]. Neste tipo de rede, cada nodo deve estar alinhado com o nodo de que recebe informação e com outro, para quem envia dados, formando um anel. Apesar de alcançar uma vazão de dados maior, os nodos não possuem mobilidade pela exigência de alinhamento rígido com seus respectivos pares.

2.4.1. Variações do Modelo IEEE 802.11

Com os avanços das técnicas de processamento de sinais, o IEEE investiu no melhoramento do padrão 802.11, com a mesma arquitetura e tecnologia, mas com taxas de transferências de dados maiores, impulsionando de vez a tecnologia e estimulando as comunidades científica e industrial a padronizarem, projetarem e produzirem produtos para essas redes.

O **802.11b**, com taxa de 11 Mbps utiliza a frequência de 2.4 GHz, a mesma utilizada por outros padrões de rede sem fio e pelos microondas, todos potenciais causadores de interferência. O **802.11a** por sua vez utiliza a frequência de 5 GHz, onde a interferência não é problema. Graças à frequência mais alta, o padrão também é quase cinco vezes mais rápido, atingindo 54 Mbps.

Esta é a taxa de transmissão “bruta” que inclui todos os sinais de modulação, cabeçalhos de pacotes, correção de erros, etc. A taxa real das redes 802.11a é de 24 a 27 Mbps, aproximadamente 4 vezes mais rápido que no 802.11b [WLA02].

No entanto o modelo 802.11a, é mais caro, por isso utilizado principalmente no mercado corporativo, onde existe mais dinheiro e necessidade de redes mais rápidas.

Além disso, por utilizarem uma frequência mais alta, os transmissores 802.11a também possuem um alcance mais curto, teoricamente metade do alcance dos transmissores 802.11b, o que torna necessário usar mais pontos de acesso para cobrir a mesma área, o que contribui para aumentar ainda mais os custos.

Ao contrário do que o nome sugere, o 802.11a é um padrão mais recente do que o 802.11b, sendo ambos os modelos incompatíveis.

O padrão **802.11g** é capaz de transmitir dados a 54 Mbps, uma taxa equivalente à do 802.11a e muito maior que os 11Mbps do 802.11b usado atualmente. A principal novidade é que este padrão utiliza a mesma faixa de frequência do 802.11b: 2.4 GHz. Isso permite que os dois padrões sejam compatíveis. A idéia é que se possa montar uma rede 802.11b no primeiro momento e mais tarde adicionar placas e pontos de acesso 802.11g, mantendo os componentes antigos, assim como hoje em dia temos liberdade para adicionar placas e *hubs* de 100 Mbps a uma rede já existente de 10 Mbps.

Enquanto as infra-estruturas cabeadas oferecem mecanismos avançados de QoS, os projetos *wireless* ainda engatinham para atingir o mesmo objetivo em meio à indefinição de padrões e o baixo número de implementações.

As redes sem fio, já possuem características que asseguram qualidade, como o protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*), que reserva recursos de banda para que a trajetória dos pacotes leve sempre o mesmo tempo para chegar, evitando o *jitter*. Porém, pela sua especificidade, detalhes como pequenas variações climáticas, como uma massa de ar mais quente, podem provocar problemas no envio de pacotes.

Com descrito na seção anterior, o IEEE está debruçado no **802.11e**, que pretende proporcionar mais qualidade para projetos sem fio. Essa extensão, denominada *MAC Enhancements for Quality of Service*, ainda está em desenvolvimento, de forma que as definições que serão aqui apresentadas estão sujeitas a mudanças.

No 802.11e, as estações (STA) são chamadas de QSTAs (*QoS Stations*), o ponto de acesso de QAP (*QoS Access Point*) e o BSS de QBSS (*QoS Basic Service Set*). A extensão incorpora uma nova função de coordenação, a HCF (*Hybrid Coordination Function*). Nessa função, um Coordenador Híbrido, normalmente localizado no QAP, é responsável pelo estabelecimento e coordenação da funcionalidade de QoS dentro do QBSS.

A especificação permite coexistência com as estações legadas (802.11/b/a), de forma transparente para essas estações. Um conceito importante no 802.11e é o de oportunidade de transmissão, ou TxOP (*Transmission Opportunity*). Uma TxOP é definida como um intervalo de tempo no qual uma estação tem o direito de iniciar transmissões. Ela é marcada por um tempo de início e uma duração.

Em [FIL03], tem-se uma descrição mais detalhada desta extensão do 802.11. Outro padrão em destaque é o **802.11i**, o qual destina-se a melhoria da segurança das redes sem fio.

2.4.2. Mobilidade nas Camadas de Protocolo

As características dos ambientes de computação móvel introduzem vários fatores que influenciam os protocolos de rede.

Os canais sem fio possuem alta taxa de erros e requerem o uso de mecanismos de controle de alocação de canais e multiplexação de frequência [PAT02]. Para permitir a mobilidade das estações, os protocolos devem implementar mecanismos para gerenciar a localização variável e a mudança na qualidade da comunicação.

Devido a essas características, os protocolos convencionais para redes fixas não são adequados para ambientes de computação móvel, por não tratarem muitos dos problemas mencionados anteriormente, apresentarem um desempenho insatisfatório e deixarem de prover vários serviços interessantes neste ambiente [ROC01].

Dois dos protocolos de redes mais populares, o IP (camada de rede) e o TCP (camada de transporte), tiveram implementações realizadas para adaptar-se melhor a mobilidade das redes sem fio.

O IP, aqui chamado de IP-Móvel, define como as mensagens serão endereçadas e entregues para estações móveis. Para isso um endereço IP de uma estação móvel é formado por dois números: endereço IP do *home agent*, origem da estação móvel, e do endereço *care-of*, que é atual ponto de acesso à rede da estação móvel [ROC01].

A heterogeneidade de uma rede móvel sem fio implica em grandes variações na taxa de comunicação durante o envio de pacotes. Esta variação é interpretada por uma conexão convencional TCP como sendo causada por um congestionamento, fazendo com que o protocolo reaja de forma inapropriada através do reenvio de pacotes. Isso acarreta

uma queda de desempenho ainda maior na conexão. I-TCP (TCP Indireto) é uma implementação de TCP para redes móveis sem fio que resolve esse problema fazendo com que a mobilidade seja percebida e tratada na camada de transporte, que então pode reagir adequadamente a mudanças no desempenho de uma conexão [ROC01].

2.4.3. Protocolos de Roteamento

O IETF criou um grupo de trabalho que tem por finalidade discutir os problemas e padronizar um ou mais algoritmos de roteamento para uma rede móvel *ad-hoc*.

O algoritmo de roteamento é a parte do *software* da camada de rede responsável pela decisão sobre a linha de saída a ser usada na transmissão do pacote de entrada, ou seja, rotear pacotes de uma máquina de origem para uma ou mais máquinas de destino.

Um dos maiores desafios em redes *ad-hoc* está ligado à possibilidade de perda de comunicação, seja por interferências ou por mobilidade dos terminais. Portanto, a função de rotear mensagens é de fundamental importância e influencia diretamente o desempenho de toda a rede. Os protocolos de roteamento utilizam informações imprecisas sobre o estado dos enlaces da rede. Esta imprecisão pode afetar o rendimento do protocolo e conseqüentemente o desempenho da rede.

Outro problema surge a partir do momento em que se deseja enviar uma mensagem para um outro nó, pois é necessário encontrar o nó de destino para então definir uma rota até ele e manter esta rota até o fim da comunicação tornando-se necessário um mecanismo de manutenção de rotas.

Esses problemas têm sido altamente investigados nos últimos anos. Vários protocolos de roteamento e várias formas de manutenção de rotas foram propostos. Tais protocolos devem lidar com limitações típicas desses tipos de rede como consumo de energia dos nós móveis, banda passante limitada e altas taxas de erro. Basicamente, os protocolos de roteamento *ad-hoc* se dividem em dois grupos: *table-driven* e *on-demand* [ROC01].

Os protocolos do tipo *table-driven* são aqueles que utilizam tabelas de roteamento para manter a consistência das informações de roteamento em todos os nós. Nesta classificação estão incluídos os protocolos DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*), WRP (*Wireless Routing Protocol*) e CGSR (*Clusterhead*

Gateway Switch Routing). Já os protocolos do tipo *on-demand* criam rotas somente quando desejado por um nó fonte. Fazem parte desse grupo os protocolos AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing*), DSR (*Dynamic Source Routing*), LMR (*Lightweight Mobile Routing*), TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*), ABR (*Associativity-Based Routing*) e SSR (*Signal Stability Routing*).

Não existe consenso sobre qual o melhor protocolo de roteamento *ad-hoc*. Cada protocolo possui vantagens e desvantagens de acordo com situações específicas. De acordo com o grupo de trabalho MANET do IETF, há uma lista de qualidades desejáveis para os protocolos de roteamento em redes *ad-hoc*. Estas qualidades são descritas em [ROC01].

Algumas métricas para avaliação dos protocolos de roteamento são:

- Vazão e atraso fim-a-fim;
- Tempo de aquisição de rota: particularmente importante para os algoritmos de roteamento que estabelecem rotas sob demanda;
- % de pacotes entregues fora de ordem; e
- Eficiência: algumas medidas podem ser obtidas para se verificar a eficiência de um protocolo de roteamento. Um primeiro exemplo é o número médio de *bits* de dados transmitidos por *bits* de dados entregues. O objetivo é verificar a eficiência na entrega de dados dentro da rede. Outra medida possível é o número médio de *bits* de controle transmitidos por *bits* de dados entregues. Neste caso, pode-se verificar qual o *overhead* causado pela parte de controle do algoritmo de roteamento.

Em [AMO00, COS03] são descritos vários tipos de protocolos de roteamento *ad-hoc*, suas características, qualidades e problemas.

2.4.4. Tipos de Filas/Algoritmos

A seguir serão descritas os principais tipos de filas/algoritmos suportados pelo NS. Em [SHO01, SUK02, HOL00], tem-se uma descrição de outras filas utilizadas nas redes *wireless*, entre elas: CQ (Custom Queue), WFQ (Weighted Fair Queue), CBWFQ

(Class-Based Weighted Fair Queue), WRED (Weighted Random Early Detection), TBF (Token Bucket Filter).

- FIFO (*First In First Out*) - é um algoritmo simples de controle de congestionamento. O algoritmo armazena os pacotes na ordem em que eles chegam, e, assim que a rede permitir, envia-os nesta mesma ordem. Nenhuma decisão é feita sobre a prioridade dos pacotes, a ordem de chegada é o determinante do fluxo. No caso da fila atingir seu limite, isto é, a rede congestionar, o algoritmo pode descartar os pacotes que chegarem a partir de então (*DropTail*). A disciplina FIFO não garante limites quanto à vazão, atraso, *jitter* ou perda de pacotes. É simplesmente o algoritmo padrão de muitas implementações.
- SFQ (*Stochastic Fair Queue*) - é uma implementação da família FQ (*Fair Queue*) [SHO01]. Embora seja menos justa em relação a outras variações, o desempenho é bastante bom, por exigir menos cálculos. A idéia do algoritmo é dividir o fluxo das diversas sessões em filas, usando um algoritmo *round robin*. Isto impede que uma sessão tome conta, unitariamente, da fila de transmissão. O termo "estocástico" deriva da forma como é feita a divisão. Na realidade, não há uma fila para cada sessão, mas sim, um número restrito de filas, entre as quais os diversos fluxos são divididos. A atribuição da fila a um determinado fluxo é feita através de um algoritmo de *hashing*. Desta forma, para evitar que o fluxo das sessões colida e diminua a probabilidade de uma delas enviar um pacote, o algoritmo é modificado de tempo em tempo. Por si só, a disciplina SFQ não tem muito emprego, sendo mais adequado combiná-la com outra(s) [SHO01]. A indicação de uso é para dispositivos nos quais não se queira ter uma sessão (aplicação) dominante, ou seja, utilizando toda a capacidade do canal.
- RED (*Random Early Detection*) - é um algoritmo que visa evitar o congestionamento da rede. O RED monitora constantemente a carga da rede, ou melhor, da fila de entrada, de modo que, ao perceber aumento no congestionamento, começa a descartar pacotes estocasticamente. Uma vez que as origens de dados percebem o descarte, diminuirão seu fluxo, reduzindo o congestionamento. Este algoritmo se presta bem a grandes roteadores, que não

podem arcar com o custo de manter filas classificadas. Um especial cuidado deve ser tomado ao configurar seus parâmetros de tamanho de fila mínimo, máximo e o sobre-limite permitido, pois é possível aumentar o congestionamento no caso de o roteador enviar pacotes de sinalização aos dispositivos que geram tráfego em excesso. Este algoritmo também é conhecido como *Random Early Drop*.

- DRR (*Deficit Round Robin*) - Este algoritmo, segundo seus proponentes, é uma evolução do FQ (*Fair Queueing*), e apresenta vantagens em termos de eficiência. O DRR tem custo $O(1)$ - constante, enquanto que o FQ tem custo $O(\log(n))$, onde n é o número de filas atendidas [SHO01]. O mecanismo desta disciplina se baseia em atender um conjunto de filas, do modo *round-robin*, porém, dando a cada uma um certo crédito, em *bytes*. A fila, a cada rodada, pode transmitir até o limite deste crédito. Se transmitir menos, guardará créditos para a rodada seguinte, mas se o pacote for maior do que o tamanho prefixado terá que aguardar o próximo *round*.

2.4.5. Handoff

Também conhecido como *handover*, é a função que permite manter a continuidade da comunicação quando um usuário passa de uma célula para outra.

O *handoff* pode ser intracélula ou intercélula. O *handoff* intracélula é devido a *fading*¹ seletivo de frequências por efeitos de sombra, reflexão, obstáculos e interferências.

O início do processo de *handoff* pode ser controlado pela rede, usado na telefonia celular analógica, ou assistido pelo móvel, utilizado neste trabalho. Na telefonia digital celular usam-se as duas formas [BER00].

Além disso, existe uma outra forma de classificação do *handoff* de acordo com o controle das conexões. Podem ser de três tipos: *Hard*, *Seamless* e *Soft*.

Em [SUK02] é realizado uma análise profunda de todo o processo de *handoff*, todas as suas fases, desde sua inicialização até a alocação do canal.

¹ Fading (ou em português desvanecimento), é a variação na intensidade do sinal.

2.5. QoS para Redes Móveis

Recentemente, surgiram várias propostas para prover QoS em redes corporativas, incluindo-se aqui as redes sem fio. Essas propostas seguem, essencialmente, duas vertentes distintas. A dos fabricantes de redes denominada Gerenciamento de Níveis de Serviços e a da IETF, denominada Serviços Diferenciados ou *DiffServ* [GIB00, AMO00].

Referente a *DiffServ*, existem duas técnicas: diferenciação de serviços por variação do *DIFS* e diferenciação de serviços por variação do *Backoff*. As técnicas de diferenciação podem ser aplicadas para dar prioridades distintas a diferentes terminais ou a diferentes fluxos de mensagens [GIB00]. Em [AMO00, GIB00, MEN01 e VAS01], tem-se uma análise da utilização de *DiffServ* em redes *wireless*.

O trabalho aqui proposto dará ênfase na primeira vertente, gerenciamento de níveis de serviços, mais especificamente na sua parte contratual, ou seja, os acordos de níveis de serviço.

Diferente das redes fixas, que assumem uma baixa taxa de erro e usuários estacionários, existem alguns fatores que dificultam a provisão de garantias de QoS para redes móveis sem fio [HOS01]:

- Os recursos em redes sem fio são mais escassos que em redes com fio. Enlaces sem fio, em geral, provêem menos largura de banda que enlaces com fio;
- Em redes sem fio, os canais são inerentemente não confiáveis e sujeitos a erros devido a ruído, desvanecimento por múltiplos percursos (*multipath fading*), sombreamento (*shadowing*) e interferências;
- Usuários tendem a mover-se durante a sessão de comunicação causando *handoffs* entre células adjacentes;
- A largura de banda deve ser alocada na nova localização, o que pode causar o cancelamento da chamada se a nova localização não possuir largura de banda suficiente;
- À medida que os usuários móveis movimentam-se, a rede deve rastreá-los e descobrir suas novas localizações a fim de efetuar a entrega de dados; e
- Os ambientes de computação móvel possuem características que influenciam o projeto de sistemas computacionais sob vários aspectos. Os canais de

comunicação sem fio apresentam alta taxa de erros e baixa largura de banda, se comparados às tecnologias atuais de cabeamento. A mobilidade das estações móveis pode causar grandes variações na qualidade da comunicação sem fio e confere ao ambiente de rede uma topologia dinâmica. Além disso, dispositivos móveis possuem recursos limitados de processamento e consumo de energia.

As características de rápida instalação, conectividade dinâmica, mobilidade, etc., fazem as redes *ad-hoc* muito atrativas, mas ao mesmo tempo existem dificuldades sérias que devem ser resolvidas. Uma delas é garantir as métricas de qualidade de serviço que este tipo de rede necessita, uma vez que fatores como: largura de banda, erros no enlace físico, localização e roteamento são as grandes desvantagens deste tipo de rede.

Assim, um dos desafios principais no projeto destes sistemas móveis é o adequado fornecimento da qualidade de serviço, definido como as garantias que as aplicações exigem nas diferentes redes [LIM02], e representada através de métricas de rede, tais como: latência, vazão, *jitter* e perda de pacotes.

O fornecimento de QoS de forma estrita assim como a robustez nos serviços, são requerimentos concorrentes na área da computação móvel. Esta competição é amplamente ilustrada quando uma conexão de um usuário, num ambiente celular, é derrubada devido à sua movimentação para outra célula (*handoff*) [LIM02]. Quando isso acontece, podem ser perdidos pacotes ou inclusive a conexão pode ser derrubada. Por isto manter as métricas de qualidade do serviço, resulta numa tarefa bem mais difícil sob estas circunstâncias.

O bom funcionamento de propostas de QoS na Internet depende muito do conhecimento das características de tráfego, incluindo seu volume através dos nós da rede. Através desses dados é possível que se realize um provisionamento adequado. No caso de clientes móveis essa previsão de tráfego fica muito prejudicada, por causa do fator dinâmico que é acrescentado com o movimento dos nós. Dessa forma é importante a existência de mecanismos que possam controlar e gerenciar os níveis de serviços – SLM/SLA.

Neste momento, deve ser identificado o que é mais importante para cada tipo de aplicação: a confiabilidade, a disponibilidade e/ou conectividade do serviço, etc. As métricas de QoS normalmente abordadas em redes fixas tradicionais são atraso, variação

no atraso (*delay jitter*), vazão e taxa de perdas. Quando se fala em redes móveis, entretanto, novos fatores de QoS que advem da mobilidade e de sua imprevisibilidade também tornam-se importantes. A garantia de serviços sem interrupções é uma delas. O fato de estar continuamente conectado pode ser mais importante do que a ausência total de perdas, ou até mesmo do que a presença de uma alta vazão.

2.6. Conclusões

Este capítulo apresentou alguns conceitos básicos de redes sem fio, comentando as vantagens e desvantagens desse tipo de rede, a tecnologia sem fio WLANS e as infra-estruturas/modos de operação possíveis baseadas em áreas de cobertura e sinalizações, conforme especificações do comitê IEEE.

Na seqüência detalhou-se a arquitetura 802.11, comentando-se as variações do modelo, o espectro magnético, especificamente as técnicas de sinalização FHSS, DSSS e IR, os protocolos de roteamento *ad-hoc* e os tipos de fila. Finalizou-se o capítulo, comentando os principais fatores de QoS para redes móveis.

A continuidade do trabalho abordará os acordos de níveis de serviços e o seu gerenciamento.

3. GERENCIAMENTO E ACORDOS DE NÍVEIS DE SERVIÇO: SLM & SLA

Neste Capítulo são apresentados e descritos os Acordos de Níveis de Serviços - SLA, e o Gerenciamento destes Níveis de Serviços - SLM.

3.1. Introdução

Para que uma organização atinja suas metas, é necessária uma série de serviços gerais que viabilizem as suas operações. O mau funcionamento de um destes serviços pode comprometer o funcionamento geral da organização.

Por este e outros motivos é que se faz necessário monitorar a qualidade destes serviços, detectando e reparando problemas imediatos e até mesmo auxiliando na previsão de novos requisitos para planejar modificações futuras e melhorias na operação da organização [PER02].

A fim de formalizar a relação contratual de prestação de serviço entre o provedor e o cliente, é produzido em comum acordo, um documento que estabelece as obrigações do contrato de nível de serviço, chamado *Service Level Agreement* - SLA e estabelece as características do serviço, as quais devem ser atendidas para a realização normal do contrato. Características como confiabilidade, disponibilidade, velocidade, tempo de restauração de falhas, são geralmente abordadas no contexto de um SLA.

Para monitorar o cumprimento do contrato é necessário que as informações sobre um determinado serviço sejam coletadas e tratadas, gerando-se relatórios dos níveis de serviços, os quais possuem valores reais dos parâmetros em um determinado período (hora, dia, mês, ano, etc.).

Numa organização, o gerenciamento do nível de serviço (*Service level Management* - SLM), refere-se à tarefa de identificar o processo do negócio e os serviços de rede que dão suporte a estes processos; os níveis e os parâmetros que avaliam os serviços; negociar e produzir um SLA; e produzir relatórios do nível de serviço comparando-os com o SLA [MIR00].

Uma parte do processo de SLM envolve negociação, diplomacia e confiança por parte do cliente e do provedor. A outra parte envolve métodos e ferramentas para

monitorar os parâmetros de serviço e traduzir estes parâmetros em conceitos que reflitam o estado do serviço.

3.2. Conceitos

Alguns conceitos são fundamentais para o entendimento das seções seguintes:

- **Cientes:**

O cliente é a uma companhia que faz uso dos serviços providos pelo provedor. Um cliente também pode ser uma organização que provê serviços a outros clientes, e neste caso será também um provedor de serviços.

- **Ponto de Acesso a Serviços - SAP:**

SAP é o lugar onde o serviço é fornecido ao cliente. Um SAP delimita a responsabilidade do provedor de serviços. Um serviço contratado é fornecido pelo provedor através do SAP. Cada serviço contém ao menos um SAP e um SAP pode somente ser associado a um serviço. Se um cliente detecta um problema com um serviço, ele registra o problema ao provedor de serviços fazendo referência ao SAP.

- **Provedor de Serviço:**

Provedores são companhias que provêm serviços. Provedores de serviços podem operar redes, ou simplesmente integrar serviços de outros provedores a fim de entregar um serviço completo a seus clientes. A provisão de serviços de telecomunicações a um cliente pode envolver múltiplos provedores de serviços, onde um provedor pode subcontratar outros provedores para satisfazer as necessidades do cliente. O provedor de serviços é contratado a fim de prover um conjunto de serviços com um nível específico de qualidade, conforme definido em um SLA.

- **Serviço:**

Um serviço é um conjunto de operações, por exemplo, de telecomunicações que um cliente compra ou aluga do provedor de serviços.

- **Elemento de Serviço:**

Um elemento de serviço é uma entidade que implementa um serviço, podendo ser uma entidade de *software* ou uma entidade de *hardware*. Os elementos de serviços fornecem a base para a composição de serviços.

- **Relatório de Desempenho:**

Um relatório de desempenho é um “documento” que contém informações de como um serviço contratado foi fornecido pelo provedor de serviços e utilizado pelo cliente. Este documento realiza a comparação de características de carga de trabalho e níveis do serviço obtidos durante o período de registro. Através desta comparação torna-se mais fácil determinar a qualidade do serviço entregue, a fim de prover tais informações ao cliente.

3.3. Gerenciamento de Níveis de Serviços – SLM

O SLM pode ser visto com um conjunto de processos e procedimentos aplicados para assegurar que o nível de serviço adequado seja prestado ao cliente. Em outras palavras, o SLM envolve o gerenciamento integrado de redes, sistemas e aplicações com o objetivo de estabelecer e cumprir políticas especificadas em contratos de serviços [RUB01]. Tais políticas definem regras e restrições no controle e alocação dos recursos da rede para os serviços suportados, e são expressas sob a forma de contratos ou SLAs.

A implementação de uma gerência de níveis de serviço passa obrigatoriamente pela medição direta da experiência do usuário no acesso aos serviços que utiliza, seja uma compra eletrônica via *Web*, uso de um ERP para emissão de pedidos, acesso a informações financeiras ou a uma solução de CRM [SMH00]. Essa medição, associada a medições ativas para avaliar a disponibilidade de cada serviço, permite que sejam tomadas ações preventivas e corretivas sempre que houver algum problema de acesso, independente de sua causa.

A partir da detecção de uma violação, descobre-se qual foi o elemento que causou o problema, como uma linha de comunicação, uma aplicação ou um banco de dados muito carregado. A análise fim-a-fim leva a um isolamento rápido das causas dos rompimentos de SLA para que o ambiente possa ser avaliado e dimensionado para atender as demandas de seus usuários em relação aos serviços oferecidos.

Para o provedor, o SLM é um conjunto de procedimentos sistemáticos colocados em prática para garantir o cumprimento dos SLA e inclui diversas atividades [VIS02]:

- Registrar os indicadores de nível de serviço, incluindo fórmulas, limiares e regras operacionais;

- Registrar os serviços e relacioná-los com indicadores (definir o SLA);
- Estruturar os serviços em grupos, registrando-os e relacionando-os com indicadores;
- Coletar e sumarizar dados de desempenho;
- Calcular os indicadores e fornecer ao cliente as informações sobre a qualidade do serviço prestado;
- Monitorar os indicadores e definir métodos para antecipar tendências de violação de acordo; e
- Implantar processos operacionais que permitam a reversão de uma tendência de violação de acordo, e planos de contingência para serem aplicados em caso de violação de acordo.

Para o cliente, o importante é acompanhar o cumprimento dos acordos, sendo necessário, entre outros [VIS02b]:

- Receber a informação sobre os serviços prestados;
- Validar os indicadores e a qualidade do serviço prestado; e
- Reavaliar suas necessidades e redefinir novas metas para indicadores junto com o provedor.

3.3.1. Arquitetura SLM

Segundo [SMH00], o gerenciamento de nível de serviço possui uma arquitetura conceituada como uma coleção de laços de controle em camada. Cada camada possui três processos distintos:

- **Interpretação:** é a análise dos dados, onde grandes quantidades de dados são fundidas, produzindo informações mais significativas e em menor volume;
- **Inferência:** é o processo de tomada de decisão sobre quais ações devem ser realizadas quando certas condições não forem atendidas (serviços violados). Na camada mais baixa – *tempo real*, as decisões podem incluir alarmes ou recomendação de ajuste imediato em um parâmetro, com o objetivo de trazer de volta determinado serviço a sua operação normal. No nível mais alto – *mensal*, a decisão é tomada em conjunto entre o provedor e o cliente; e

- **Controle:** é a execução das decisões tomadas no processo de inferência.

3.3.2. Tipos de SLM

Em [MIR00], são descritos dois tipos de SLM – *tempo real* e *off-line*. O SLM de tempo real acontece em níveis mais baixos de abstração, sendo realizado por agentes de supervisão. As tarefas mais comuns incluem correlação de eventos e geração de alarmes. O SLM *off-line* acontece em níveis mais altos de abstração. As tarefas mais comuns incluem contabilidade e tarifação, relatório de níveis de serviço, mineração de dados, etc.

Agentes de tempo real atuam no presente, enquanto os agentes *off-line*, dão suporte para o futuro. Em um processo de SLM, os serviços que dão suporte aos negócios de uma organização são identificados e mapeados, firmando um SLA entre provedor e cliente. Os agentes ficam supervisionando os parâmetros de seus componentes e armazenando seus valores em um banco de dados. Ao final do mês provedor e cliente analisam os relatórios gerados a partir destes dados do banco, comparando-os com o SLA firmado para verificar se este está sendo cumprido. Este é um típico exemplo de SLM *off-line*.

Caso o provedor queira assegurar-se de que o SLA será cumprido, não havendo nenhuma violação, é necessário que todos os problemas que possam vir a ocorrer sejam relatados imediatamente, possibilitando assim prever com antecedência possíveis problemas com os serviços “acordados”, diminuindo drasticamente as possibilidades de violação do contrato. Este é um típico exemplo de SLM de tempo real [KIT01].

Atualmente, existem soluções SLM dos principais fabricantes de ferramentas de gerenciamento de redes, dentre elas destacam-se *InfoVista*, *Netsys*, *HP IT Service Management e Spectrum*. Entretanto, as soluções desenvolvidas apenas implementam algumas das funcionalidades do SLM, e muitas delas ainda não possuem uma funcionalidade maior focada nas redes sem fio.

3.4. Acordos de Níveis de Serviços - SLA

Os SLAs são poderosos instrumentos de gerência dos níveis de serviços através do estabelecimento de métricas, pactuadas num processo dinâmico de construção e gerência do contrato entre provedor do serviço e cliente [RIB02], em outras palavras, é um

documento complementar a um contrato de prestação de serviços que define os critérios técnicos de qualidade do relacionamento cliente – prestadora, tendo conotação jurídica e exigindo um alto nível de precisão na sua gestão.

Este acordo é estabelecido entre o provedor e seu cliente para definir formalmente o nível de qualidade que deve ser atingido na prestação de um serviço. O objetivo é tornar a medição da qualidade objetiva e quantificável, introduzindo meios para controlar a expectativa do cliente, e, portanto, para gerir a qualidade percebida por ele.

Para permitir que acordos de níveis de serviço mais específicos e formais sejam estabelecidos, diversos estudos estão sendo realizados, definindo padrões e termos comuns, para que clientes e provedores de serviços possam chegar a um entendimento sobre a qualidade destes serviços.

Os SLAs determinam a qualidade dos serviços oferecidos em função de métricas relacionadas à disponibilidade, segurança, tempo de resposta, atraso, vazão, etc. Eles podem ser estáticos ou dinâmicos. Os estáticos são negociados entre fornecedor e cliente de serviço, sofrendo modificações periódicas, quando as mesmas forem importantes e acordadas pelas partes envolvidas no SLA. Já os SLAs dinâmicos, adaptam-se automaticamente às mudanças das condições da rede, de acordo com a necessidade de uso do sistema, no sentido de manter a QoS negociada com o usuário.

Um SLA inclui vários itens, como a descrição e a abrangência do acordo, as responsabilidades durante a prestação do serviço e o detalhamento dos seus indicadores de qualidade. O SLA está associado a um ou mais serviços que, por sua vez, são compostos de elementos que cooperam entre si. Para o detalhamento dos indicadores de qualidade, o SLA faz referência a um outro documento denominado *caderno de métricas*. Aqui, os indicadores são precisamente descritos, o que define claramente o nível de qualidade acordado e a periodicidade das medições.

Um bom contrato de SLA deve também conter condições de multas para o fornecedor de serviços caso ele não cumpra os indicadores de desempenho estabelecidos. As multas são a grande proteção oferecida pelos SLAs e penalidades que as prestadoras de serviços se comprometem a pagar aos clientes no caso de não conseguirem atingir as metas preestabelecidas.

Além das penalidades, os SLAs também podem incluir cláusulas que prevêm bônus a serem pagos aos prestadores de serviços, caso a meta estipulada supere as expectativas.

3.4.1. Caderno de Métricas

O caderno de métricas é a parte técnica do SLA. É o local no qual os indicadores são relacionados, descritos e definidos quantitativamente. No caderno de métricas definem-se também as metas de qualidades, especificando-se limiares para os indicadores.

O caderno de métricas deve possuir uma seção dedicada a cada indicador, iniciada por sua descrição e relação com os objetivos do negócio. Segue-se uma parte quantitativa que define como os indicadores são calculados, incluindo a origem dos dados de desempenho que serão usados no cálculo, a forma de coleta dos dados, a periodicidade, e quando e como serão sumarizados, caso se faça necessário. Uma seção do caderno de métricas pode ser estruturada como em [STU00]. Em [JIS02], pode-se observar exemplos de cadernos de métricas, além de vários exemplos de SLAs.

3.4.1.1. Especificações de Níveis de Serviço - SLS

Os detalhes técnicos do Caderno de métricas, são chamados Especificações de Níveis de Serviço (*Service Level Specifications - SLS*). Os SLSs especificam as agregações de fluxos e suas correspondentes regras de classificação, medição, marcação, condicionamento e descarte. Também fazem parte das SLSs as métricas de performance, como taxa de transmissão, variação de latência e taxa de perda de pacotes.

3.4.2. Tipos de SLA

Sendo a evolução da tecnologia e o aparecimento de novos serviços, cada vez mais rápidos, os SLAs podem ter um papel importante ao permitir aos clientes aderir a estes tipos de serviço com algum grau de confiança, já que os provedores de serviços se obrigam a prestar estes serviços com determinado grau de qualidade. Também

internamente as empresas de telecomunicações têm vindo a usar os SLAs para assegurar a qualidade nas diversas áreas da empresa [IWA00]. Esta informação pode ser depois apresentada externamente para comprovar o cumprimento dos SLAs com os clientes.

Sendo assim, tem-se a existência de dois tipos de SLAs: O SLA Externo e o SLA Interno. O primeiro é um tipo bastante rigoroso de SLA, pois geralmente é fator contratual entre duas empresas. Já o segundo é um acordo entre diferentes áreas de uma mesma empresa onde áreas de TI oferecem serviços aos usuários finais.

3.5. Tratamento de Fatores Críticos

A monitoração efetiva do serviço permite a realização de análises de tendência e a identificação dos fatores críticos. A análise de tendência permite a gerência pró-ativa dos SLAs, possibilitando a realização de ajustes no momento em que são necessários. Pela identificação dos fatores críticos, podem-se saber quais itens estão influenciando no aprimoramento e na degradação do serviço.

3.6. Percepção do Nível de Serviço

O usuário final de uma rede percebe qualidade do serviço oferecido através de uma visão fim-a-fim, ou seja, os indicadores precisam ser perceptíveis aos clientes. Segundo [COU01], existem sete fatores subjetivos que representam essa percepção: disponibilidade dos sistemas, *níveis de performance*, segurança, carga de trabalho, tempo de restauração, integridade dos dados e valor a ser pago pelo serviço. Transformar esses fatores subjetivos em números concretos e passíveis de serem monitorados, por ambas as partes, constitui o grande desafio.

3.7. Coexistência entre QoS e SLM/SLA

Qualidade de Serviço pode ser definida como o fornecimento de serviços de entrega de dados consistente e previsível. Com QoS, os usuários da rede podem ter certeza que as necessidades de serviço e tráfego podem ser satisfeitas.

Os objetivos de qualidade do serviço são formados a partir de critérios operacionais e de critérios de desempenho específicos ao serviço. Os critérios operacionais estão relacionados ao desempenho de uma organização, como por exemplo, tempo médio entre falhas, tempo de reparo e tempo de provisionamento de um serviço. Os critérios de desempenho específicos ao serviço estão relacionados ao desempenho de uma plataforma de serviço do provedor, como por exemplo, disponibilidade, atrasos, vazão e erros.

A definição de QoS tem um aspecto subjetivo, podendo variar de aplicação para aplicação de acordo com as características desejadas para o serviço oferecido pela rede. Porém, de alguma forma, esta subjetividade inicial deve ser traduzida em parâmetros a serem negociados entre as aplicações e a rede.

As métricas de QoS devem ser escolhidas de acordo com o ambiente, pois devido às suas características particulares, por exemplo, redes fixas, redes móveis, sem fio necessitam negociar métricas diferentes [SAN99]. Portanto, o acordo nos termos e definições para as métricas de QoS, suas medidas e análises de performance, são a chave para a construção e gerência de *SLAs* entre usuários e provedores de serviços.

3.8. Conclusões

Este capítulo apresentou os principais conceitos relacionados à gerência e acordos de níveis de serviços. Detalhou-se o gerenciamento de níveis de serviços, sua arquitetura, bem como os tipos de SLM.

Na seqüência descreveram-se os acordos de níveis de serviços, seus tipos, sua parte técnica, intitulada caderno de métricas, juntamente com as especificações de níveis de serviços.

Por fim, a questão relacionada à percepção do nível de serviço, assim como, a coexistência entre QoS e SLM/SLA foram descritas. A continuidade do trabalho abordará as métricas utilizadas na elaboração do SLA.

4. MÉTRICAS PARA ESTABELECIMENTO DO SLA

Quando se fala em gerenciamento do nível de serviço, podem surgir os seguintes questionamentos: O que é um serviço? Como e para que gerenciar um serviço? Em quais parâmetros e métricas deve-se basear para avaliar um serviço? Quais atitudes devem ser tomadas caso o serviço não esteja sendo provido com a qualidade contratada? [MIR00].

Destes questionamentos, os que apresentam maior relevância em qualquer implementação de um SLA, são os dois últimos, sendo que todo o sucesso da implementação depende de uma escolha correta, de acordo com as reais necessidades, das métricas e parâmetros.

Sendo assim, este Capítulo apresenta as métricas de QoS utilizadas na elaboração/estabelecimento do SLA.

4.1. Introdução

Para que algo possa ser analisado, conferido e gerenciado, é necessário que existam fatores mensuráveis dentro desta atividade. Assim sendo, várias métricas para medir a qualidade dos serviços de rede foram sendo observadas como as mais relevantes.

De acordo com [TMF02], ainda falta uma padronização das métricas que estabeleçam critérios de qualidade, e segundo o estudo sobre SLA do [TMF02], existe um número enorme de métricas de performance com nomes similares, mas com drásticas diferenças em suas definições.

O grupo de trabalho IPPM (*Internet Protocol Performance Metrics*) do IETF vem desenvolvendo diversos trabalhos relacionados com medições de performance e confiabilidade das transmissões em redes TCP/IP. Seus principais avanços têm sido representados pela definição de métricas de medição de latência, variação de latência e taxa de perda de pacotes, sendo este último um importante indicador para gerência pró-ativa.

4.2. Classificação das Métricas

É importante observar que tanto as métricas analisadas podem variar, de acordo com o tipo de tecnologia que está sendo tratado, como os valores a serem considerados dentro de cada uma destas métricas também irão variar de acordo com vários aspectos, tais como a qualidade de serviço desejada e os meios físicos disponíveis.

4.2.1. Métricas Independentes da Tecnologia

Métricas independentes do serviço e tecnologia são normalmente especificadas em *SLAs*. Independem de qualquer tipo de fator além da própria competência do provedor em fornecer o serviço [SEN98]. Alguns exemplos dessas métricas são: percentual de disponibilidade, tempo para recuperação de falhas e tempo para instalação do serviço.

Dentro desta categoria, inclusive métricas indicando o número máximo de tentativas para acionar a manutenção podem ser acertadas entre as partes. Muitas destas métricas inclusive são as que normalmente as agências reguladoras dos serviços de telecomunicações utilizam para conferir a qualidade das prestadoras de serviços para com os seus clientes [IBC02].

4.2.2. Métricas Dependentes da Tecnologia

São aquelas relacionadas com a tecnologia que suporta o serviço oferecido pela prestadora. A decisão sobre qual destas métricas serão incluídas no *SLA* pode ser uma escolha individual para cada serviço contratado. Essas métricas precisam responder pelas particularidades técnicas de cada tecnologia. Alguns exemplos são: perda, retransmissão, latência, disponibilidade e utilização.

4.3. Métricas mais Comuns em Redes

No mínimo, as aplicações sempre necessitam de vazão. Assim esta é a métrica mais básica e certamente a mais presente nas especificações, sendo também a mais lembrada pelo usuário ao provedor [RIB02].

Uma aplicação multimídia *offline*, por exemplo, dados, gráficos e animações, não necessita de sincronização, não necessitando assim de cuidados especiais da rede. Neste caso, os dados correspondentes a uma animação requerem determinada vazão, que eventualmente carrega a rede, mas não exige atraso, sincronização ou tempo de resposta. Por outro lado, para aplicações multimídia de áudio, a garantia de apenas vazão não é suficiente. Neste caso fatores como atraso e perda de pacotes possuem influência direta na qualidade [DMO00].

Para o escopo deste trabalho, as métricas de avaliação de redes *IP* são as mais relevantes.

4.3.1. Vazão

Vazão é uma medida de transmissão de dados, o montante de tráfego de dados movidos de um nó da rede para outro em um determinado período de tempo, normalmente expressa em Kbps ou Mbps. A vazão indica a capacidade máxima de transmissão teórica de uma conexão, sendo o parâmetro mais básico de QoS e para a operação adequada de qualquer aplicação. Em termos práticos as aplicações geram vazões que devem ser atendidas pela rede.

4.3.2. Latência

Latência é o tempo que um pacote *IP* leva para ir e voltar (*round-trip*) de um ponto a outro da rede. É normalmente medida em milissegundos. Quanto menor a latência, melhor o tempo de resposta da rede. Caso esse atraso seja muito grande, prejudica uma conversação através da rede, tornando difícil o diálogo e a interatividade necessária para certas aplicações.

De maneira geral, a latência pode ser entendida como o somatório de todos os atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação. O tempo em que o pacote chega ao canal de comunicação observado pelo emissor e a observação do último *bit* do pacote observado pelo receptor é a forma de se calcular a latência.

Os principais responsáveis pela latência são o atraso de transmissão, codificação e decodificação e empacotamento e desempacotamento.

A maior parte da latência é originada dentro dos próprios dispositivos de transmissão (computadores e roteadores). Cada nível na pilha do protocolo TCP/IP dos computadores e roteadores representa um processamento que gera uma certa quantidade de latência. A latência que cada mensagem encontra em cada nível é variável e costuma depender da carga de processamento do dispositivo naquele momento.

Considerando que latência é um parâmetro fim-a-fim, os equipamentos finais também têm sua parcela de contribuição para o atraso.

Segundo [RIB02], latência é convencionalmente utilizada para equipamentos e atraso para transmissão de dados.

4.3.3. Jitter

Jitter é a variação do atraso, a diferença entre atraso máximo e mínimo. Em uma rede de pacotes, o *jitter* ocorre, principalmente devido à latência gerada pelo enfileiramento dos pacotes nas interfaces de saída dos dispositivos. Como a quantidade de pacotes enfileirados varia de acordo com as variações do tráfego, a latência dos pacotes também varia.

4.3.4. Perda de Pacotes

Perda de pacotes é o índice que mede a taxa de sucesso na transmissão de pacotes entre dois pontos da rede. É normalmente exibida como uma porcentagem, indicando o percentual de pacotes perdidos. Quanto menor a perda de pacote, maior a eficiência da rede.

A taxa de perda de pacotes é calculada no lado do receptor com sendo a razão entre a quantidade de pacotes perdidos e a quantidade de pacotes transmitidos, em cada intervalo de tempo.

O protocolo TCP se recupera destas situações através da detecção e reenvio dos pacotes perdidos. No entanto outros protocolos como o UDP, utilizado normalmente para transmissões de vídeo e áudio, não retransmite pacotes, logo estas perdas são irre recuperáveis.

4.3.5. Erros

É a relação do número de pacotes cujo conteúdo (*bits*) contém erros (detectados pelos mecanismos de verificação de integridade de transmissão). Os erros podem ser causados por alguma falha nos meios de transmissão, falha ou sobrecarga em algum dos equipamentos e normalmente são medidos também como uma porcentagem do total da transmissão dentro de um determinado período. A taxa de erros em um serviço de rede é um parâmetro de fundamental importância na gerência, pois é de difícil detecção (não se detecta tão claramente como uma queda no serviço ou a alta latência), e pode ser a causadora de muitos problemas que serão detectados nos demais fatores.

Este é um bom parâmetro para caracterizar o estado de um enlace sem fio. Segundo [RIB02], o valor de referência para taxas de erros *wireless* em um ambiente sem interferência e com tráfego bi-direcional deve ser inferior a 6%. São admitidas taxas de erros de até 10%. Porém neste caso, caracteriza-se um enlace degradado. Taxas de erros superiores a 10 % representam um *link* inadequado para operação.

4.4. Conclusões do Capítulo

Este Capítulo apresentou, as principais métricas de QoS para o gerenciamento de redes. Estas métricas foram classificadas como dependentes ou não da tecnologia adotada. Na seqüência descreveram-se as principais métricas para redes IP, sendo estas utilizadas no trabalho e nas simulações, com o intuito de elaborar o acordo de nível de serviço para redes *wireless ad-hoc*.

Na seqüência, o Capítulo 5 apresenta o cenário para o desenvolvimento das simulações, bem como a análise dos resultados para o desenvolvimento do SLA.

5. SIMULAÇÕES

Simulação é uma técnica muito utilizada para avaliação de desempenho de sistemas em geral, representando um importante papel em várias áreas do conhecimento humano. Não pode-se imaginar a realização de um grande projeto sem uma prévia simulação de seu comportamento, avaliando as respostas do sistema para os mais diversos valores de entrada.

O objetivo de realizar-se a simulação é então modelar computacionalmente um sistema do mundo real, ou seja, aproximar ao máximo o comportamento das simulações a um ambiente real.

Quando o sistema a ser avaliado não está disponível, o que é o caso em muitas situações, uma simulação é o caminho mais fácil para prever o desempenho ou comparar alternativas. No caso de redes de computadores como a Internet, por exemplo, apesar do sistema já estar implementado e funcionando, uma alteração em um ponto crítico pode gerar resultados indesejados, além de muitos transtornos [SUK01]. Logo, a realização de simulações é o melhor caminho para obter boas estimativas do comportamento do sistema após uma possível modificação de algum parâmetro.

Outra vantagem da simulação é o custo/benefício proporcionado. Geralmente, uma simulação tem um custo relativamente pequeno se comparado a uma implementação, e o resultado pode chegar bem próximo ou igualar ao obtido por uma implementação. Todavia, a simulação apresenta vários tipos de limitações que dependem do simulador utilizado.

Sendo assim, este Capítulo apresenta o cenário para o desenvolvimento das simulações referentes a um ambiente com enlace sem fio, bem como a análise e avaliação dos resultados para o desenvolvimento do SLA.

5.1. Network Simulator - NS

Vários são os simuladores utilizados para projetar e avaliar redes de computadores. O mais conhecido deles é o *Network Simulator – NS*, desenvolvido na Universidade de Berkeley, orientado a objeto, escrito em C++ e Java, tendo como ambiente de

programação a linguagem interpretada Otcl (*Object tool command language*), permite a simulação de uma variedade de redes fixas e móveis.

Em [HAI99, LAR99 e ROC01], são descritos de forma detalhada alguns dos principais simuladores, para as mais variadas funções.

Para esse trabalho, o simulador escolhido foi o NS, por preencher todos os requisitos esperados como, por exemplo, robustez, agilidade, simplicidade na criação e inicialização dos componentes da rede e facilidade na obtenção dos resultados, além de ser altamente conceituado no meio acadêmico. Outro ponto importante na escolha desse simulador foi o prévio conhecimento de seu funcionamento. O Grupo de Redes e Gerência (LRG) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde o trabalho foi desenvolvido, possui uma grande experiência com o simulador, proveniente de várias pesquisas desenvolvidas nesse ambiente.

A versão usada foi a 2.26 a qual possui uma extensão mais atualizada para redes móveis. A simulação foi rodada em uma máquina com as seguintes configurações: processador Pentium IV - 1,6 GHz, 128 MB de memória RAM e 40 GB de disco rígido. O Sistema Operacional requerido pelo simulador foi o Linux e a distribuição utilizada foi o Mandrake 9.1.

5.2. Tipos de Simulação

Antes de iniciar uma simulação, deve-se decidir qual o tipo mais adequado para o problema. Dentre os vários tipos de simulação que podem ser encontrados na literatura, os mais importantes para aplicações em redes de computadores são: simulação de Monte Carlo, simulação baseada em traces e simulação baseada em eventos discretos [ROC01]. No contexto deste trabalho, o tipo de simulação que se enquadra aos objetivos aqui propostos é a simulação baseada em traces.

Uma simulação baseada em traces é a que tem como entrada um registro que contém eventos, ordenados no tempo, observados em um sistema. Esses registros são chamados de *traces*. Uma característica importante dos traces é a credibilidade, e um dos principais problemas é o tamanho. Os traces são geralmente seqüências longas e exigem um considerável tempo computacional para serem processados.

5.3. Configurações para Simulações

Para a correta modelagem de um sistema de redes, alguns aspectos devem ser levados em consideração. Entre eles destacam-se: topologias, aplicações e protocolos, modelos de tráfego, fluxos e agregações, tamanho de pacotes, tempo de simulação.

Com base nesses parâmetros, modelou-se um sistema o qual objetiva representar o desempenho de uma rede *wireless ad-hoc*.

5.3.1. Modelos de Mobilidade

Atualmente existem duas maneiras de representarem-se padrões de movimento de usuários de uma rede móvel. Uma forma é através da captura de informações do comportamento real de movimentação do NM (nó móvel), ou seja, com o uso de registros (*traces*). A outra maneira é através de modelos de mobilidade, onde tenta-se representar o comportamento de movimentação dos nós sem o uso desses registros de movimentação [CAM03].

A captura dos registros de movimentação possibilita uma observação do comportamento real de movimentação dos NMs, principalmente quando se tem um grande número de nós durante um longo período de observação. Entretanto, em ambientes muito dinâmicos, como em redes *ad-hoc*, capturar esses registros não é uma tarefa fácil e quando se trata de dados confidenciais há uma dificuldade maior de acesso aos mesmos. Com isso é necessária a utilização dos modelos de mobilidade. Esses modelos são classificados em dois tipos: modelos de mobilidade individual e modelos de mobilidade em grupo.

5.3.1.1. Modelo de Mobilidade Individual

São modelos que representam o comportamento de movimentação de um NM de forma independente do restante dos NMs da rede. Consiste numa modelagem mais simples e de fácil implementação. Devido a tais características, esses modelos são os mais usados na literatura para avaliação de sistemas para redes *ad-hoc* [CAM03].

a) *Modelo de Mobilidade Aleatório*: a direção e velocidade do movimento num novo instante de tempo não têm relação nenhuma com os valores de instantes anteriores, ou seja, é um modelo de mobilidade sem memória. Por isso, esse modelo pode gerar um comportamento não realístico, por exemplo, com mudanças bruscas de direção, paradas abruptas e acelerações bruscas no movimento do NM.

b) *Modelo de Mobilidade WayPoint*: Esse modelo divide o percurso de um NM em períodos de movimentação e pausa. O NM fica num local por um determinado intervalo de tempo e depois move-se para um novo local escolhido aleatoriamente com uma velocidade que segue uma distribuição uniforme entre [minspeed, maxspeed].

c) *Modelo Markoviano de Percurso Aleatório*: Nesse modelo, o movimento é modelado através de uma Cadeia de Markov, possuindo três estados para representar as coordenadas x e y . O estado zero (0) representa a posição atual do NM em x e y , o estado um (1) representa a posição anterior do NM em x e y , e o estado dois (2) representa a próxima posição do NM também em x e y . O modelo utiliza uma matriz de probabilidade de transição para determinar a posição de um NM específico no próximo instante de tempo.

Esse modelo é mais realístico que os modelos Percurso Aleatório e *Waypoint*. No entanto devido ao fato de não possibilitar que um host fique parado em uma posição qualquer, este modelo não foi adotado. Porém em [CAM03], foi realizada uma alteração deste modelo Markoviano, a fim de permitir que esta “barreira” imposta pelo modelo fosse sucumbida. Ainda em [CAM03], pode-se observar outros modelos de mobilidade individuais propostos na literatura.

5.3.1.2. Modelo de Mobilidade em Grupo

São modelos que representam o movimento de um grupo de NMs, onde o comportamento de movimentação dos mesmos é dependente, tanto em relação a intervalos de tempo quanto ao relacionamento entre eles.

Apesar deste modelo ser utilizado para prever a disponibilidade do enlace sem fio, o que seria bastante útil no trabalho aqui realizado, este tipo de movimentação não se encaixa em nossas necessidades pela necessidade de dependência existente em relação a intervalos de tempo e ao relacionamento entre os NMs.

5.3.2. Parâmetros do Modelo de Simulação

O modelo de simulação implementa os parâmetros de avaliação e o padrão abstrato de comportamento dinâmico do sistema simulado em função do tempo. Para um simulador, o modelo de simulação define os parâmetros de uma simulação e como os eventos simulados são gerados a partir deles.

Tanto o ambiente de movimentação quanto o cenário de comunicação foram gerados a partir de comandos do NS. O simulador utiliza esses cenários como entrada para variar a movimentação dos nós e o padrão de comunicação.

Procurou-se caracterizar o modelo simulado o mais próximo de um ambiente real, onde este caracteriza-se por possuir um desempenho regular que atende perfeitamente às necessidades de usuários que utilizam, por exemplo, aplicações Internet, tais como correio eletrônico e FTP, ou para operações de *backup* de arquivos.

Existem alguns parâmetros da simulação que irão variar de acordo com a análise a ser realizada, como por exemplo, tipo de fila, tipo de protocolo de roteamento, tamanho dos pacotes, número de nodos; e outros parâmetros que não irão variar em nenhum caso, como por exemplo, máximo de pacotes na fila, modelo de mobilidade, tipo de tráfego, entre outros.

A Tabela abaixo sumariza os parâmetros utilizados nas simulações. Observam-se os parâmetros fixos e variáveis, os quais nos permitem descrever o comportamento de uma rede *ad-hoc* através das simulações.

Parâmetros Fixos	Parâmetros Variáveis
Tipo de Canal: <i>Wireless Channel</i>	Tipo de Interface de Fila: <i>FIFO, SFQ, DRR e RED</i>
Modelo de Propagação: <i>Two Ray Ground</i>	Protocolo de Roteamento: <i>DSR e DSDV</i>
Tipo de Interface: <i>Wireless Phy</i>	Número de Estações Móveis: <i>5, 10, 20</i>
Tipo de Camada de Acesso ao Meio – MAC: <i>802.11</i>	Métricas de QoS: <i>Vazão, Latência, Jitter e Perda de Pacotes</i>
Tipo de Camada de Ligação: <i>LL</i>	Tamanho dos Pacotes: <i>64 e 250 bytes</i>
Modelo de Antena: <i>Omni Antenna</i>	
Dimensões do Ambiente: <i>200 x 200 m</i>	
Máximo de Pacotes na Fila (<i>queue length</i>): <i>10 pacotes</i>	
Tempo de Simulação: <i>400 seg.</i>	
Protocolo de Conexão: <i>UDP</i>	
Tipo de Tráfego: <i>Dados – CBR</i>	
Largura de Banda: <i>2Mbps</i>	
Taxa de Pico (<i>peak rate</i>): <i>500 Kbps</i>	
Tamanho da rajada (<i>burst size</i>): <i>16 Kb</i>	
Modelo de Mobilidade: <i>WayPoint</i>	
Localização dos Nodos: <i>Uniforme</i>	

Tabela 1. Parâmetros Fixos e Variáveis Utilizados na Simulação.

O parâmetro modelo de mobilidade foi escolhido de acordo com o apresentado na seção 5.3.1. Sendo assim, o ambiente de simulação exemplifica um ambiente *wireless multihop*, com 5, 10 e 20 nós, onde os computadores encontram-se em um mesmo local, com dimensões 200 x 200 m, assemelhando-se a um ambiente fechado, como por exemplo, um escritório.

A comunicação não é feita diretamente entre dois pares com uma certa distância entre si, uma vez que interfaces de comunicação 802.11 geralmente possuem alcance de cerca de 100, 200 e 300 m, no máximo. Considerando que o alcance máximo atingido pelas redes 802.11 em ambientes *indoor* é de aproximadamente 300 m, apesar do

ambiente de simulação ter dimensões 200 x 200 m, considera-se a existência de obstáculos que prejudicam a comunicação. Sendo assim em alguns casos a comunicação é feita com auxílio de algum intermediário.

As posições iniciais, coordenadas X e Y, dos nós são obtidas usando uma distribuição uniforme. Os nós movem-se em uma região de acordo com o modelo aleatório da mobilidade do *waypoint*, onde cada nó escolhe um destino e uma velocidade aleatórios na área estipulada, viajando então ao destino. Uma vez que o nó chega em seu destino, pausa, escolhe um outro destino, e continua em frente.

Os arquivos de movimentação são caracterizados por períodos de pausa denominados tempos de pausa. Cada nó começa em uma determinada posição e mantém-se nesta posição durante o tempo de pausa estabelecido. Depois deste tempo, o nó escolhe um ponto aleatório entre a área e movimenta-se para o ponto com uma velocidade média entre 0 e um valor máximo determinado. Após alcançar este ponto, pára durante o tempo de pausa, volta a escolher outra posição e assim sucessivamente até terminar o tempo de simulação.

Foram gerados seis diferentes tempos de pausa: 0, 30, 60, 100, 200, 400 segundos. O tempo de pausa de 0 segundo corresponde à movimentação contínua e o tempo de pausa de 400 segundos, igual ao tempo total da simulação, corresponde a um nó estacionário. Os tempos de pausa representam, além do tempo em que os nós permaneceram parados, o padrão de mobilidade dos nós. Os nós se movimentam com uma velocidade média de 10 m/s e velocidade máxima de 20 m/s, em um canal com largura de banda de 2 Mbps.

Os pacotes têm tamanho de 64 e 250 *bytes*, simulando apenas tráfego do tipo dados, mais especificamente CBR (*constant bit rate* - taxa constante de bits (dados)). Escolheram-se estes tamanhos de pacotes, devido a estudos referenciados em outros trabalhos, como [HOL00, RIB02], os quais realizam, entre outras análises, uma análise de tráfego em redes, sendo estes valores os mais comumente presentes em uma rede *wireless*.

Uma conexão UDP é estabelecida entre os nodos. Não optou-se pelo TCP, pois este não é considerado um protocolo para aplicações que requerem QoS. O objetivo do TCP é oferecer comunicação confiável, não tendo sentido avaliar latência, jitter, etc., sob este

protocolo [GIB00]. Assim uma avaliação das métricas de QoS com UDP é mais interessante. Caso fosse utilizado o TCP, seria interessante avaliar a métrica *goodput*, ou seja, a quantidade efetiva de dados transmitidos sobre o tempo necessário para transmiti-los.

O tempo de duração e ativação de cada conexão foi estabelecido a partir de valores aleatórios, pelo qual todas as conexões têm a mesma probabilidade de ocorrer a qualquer momento.

Para este estudo, configurou-se ainda cada suavizador com os seguintes parâmetros: taxa de pico (*peak rate*) de 500 Kbps, tamanho da rajada (*burst size*) de 16 Kb, taxa de 4 pacotes por segundo e comprimento da fila (*queue length*) de 10.

Baseando-se nestas especificações foi realizada a simulação de uma rede *ad-hoc*, fazendo a análise dos dados, dos quais foram obtidos os principais resultados, descritos nas seções seguintes.

A Figura 3, mostra a “topologia” do ambiente com 5 nós simulados.

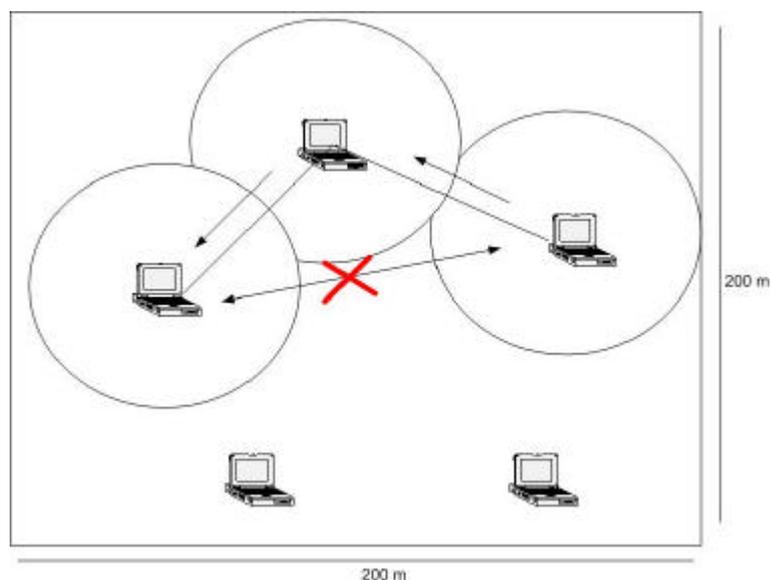


Figura 3. “Topologia” do ambiente.

Esta mesma Figura acima, poderia ser observada em uma NAM, gerada pelo simulador NS, na Figura abaixo, a qual representa um ambiente com 50 nós:

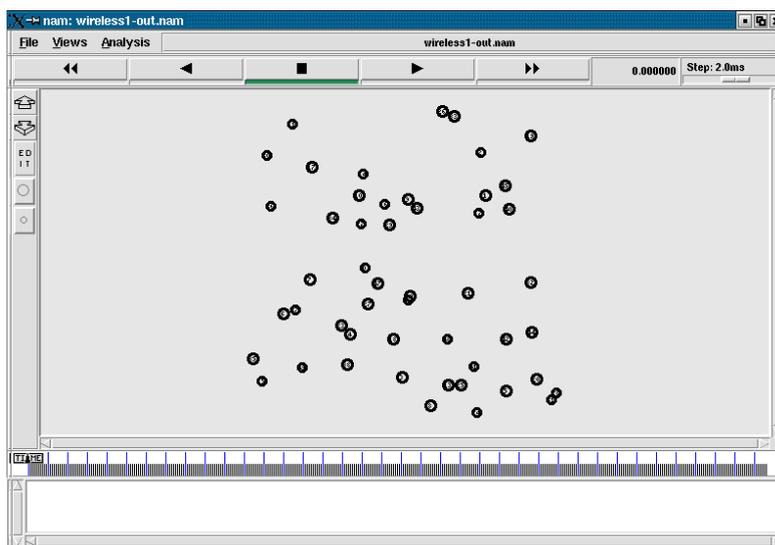


Figura 4. NAM gerada pelo NS-2.

Nota-se que por tratar-se de uma rede totalmente móvel, não existe uma predisposição prévia dos nodos, podendo-se estabelecer uma “topologia fixa”. Sendo assim, as Figuras acima, apenas serve m como um referencial de uma possível “topologia” do ambiente em um determinado momento de sua funcionalidade.

Os parâmetros variáveis serão descritos na seção 5.3.3.

5.3.2.1. Realização das Simulações

Sabe-se que a variabilidade das variáveis de interesse que medem o desempenho do sistema é um componente fundamental do processo de análise dos resultados. Assim foram realizadas 10 replicações da simulação, com duração de 400 segundos cada, a fim de garantir confiabilidade estatística aos resultados e permitir trabalhar corretamente com intervalos de confiança. Esse número foi escolhido, porque testes com um número maior de replicações não mostraram nenhuma variação significativa nos resultados, assim como o ocorrido, com o tempo de simulação. Além disso, dada a modelagem das fontes, pode-se considerar que 400 segundos é um período suficientemente generoso para observar as métricas de interesse, visto que o NS necessita de pelo menos 5 segundos para "encher" a rede e iniciar as medidas.

Primeiramente, calculou-se a média de cada replicação. Na seqüência calculou-se a média geral de todas as replicações (a média das médias). Por fim calculou-se a variância das médias das replicações.

Note que, caso fosse utilizado o TCP ao invés do UDP, teríamos que tomar cuidado com o tempo de simulação, uma vez que o TCP possui propriedades de retransmissões e janelas variáveis que necessitam de um tempo superior ao UDP para demonstrar algum efeito.

5.3.2.2. Realização das Análises dos Dados Coletados

Para a análise das simulações, há duas categorias de arquivos: para o *simulador* e para o *analisador*.

5.3.2.2.1. Arquivos para o Simulador

Os arquivos de entrada do NS são *scripts* TCL com informações sobre os parâmetros e o comportamento da simulação. Como saída, o simulador gera arquivos que correspondem aos eventos ordenados temporalmente, chamados *trace*, Figura 5, através do qual podem-se extrair os dados necessários para avaliação das métricas propostas.

h	-t 29.031284241	-s 9	-d -1	-p cbr	-e 512	-c 2	-a 0	-i 0	-k AGT
r	-t 29.145272345	-s 11	-d 11	-p cbr	-e 512	-c 2	-a 0	-i 0	-k AGT
+	-t 33.842481695	-s 9	-d -1	-p cbr	-e 512	-c 2	-a 0	-i 10	-k AGT
-	-t 33.842481695	-s 9	-d -1	-p cbr	-e 512	-c 2	-a 0	-i 10	-k AGT
h	-t 33.842481695	-s 9	-d -1	-p cbr	-e 512	-c 2	-a 0	-i 10	-k AGT
d	-t 33.854465612	-s 11	-d 11	-p cbr	-e 512	-c 2	-a 0	-i 10	-k AGT

Figura 5. Exemplo de um arquivo trace gerado na simulação.

São registrados nos *traces*, informações referentes a:

- Tipo de evento/ação ocorrido ("+", "-", "d", "r" e "h");

O sinal “+” significa entrada em fila ou sistema (*enqueue packet*), “-“ significa a retirada da fila ou sistema (*dequeue packet*), “d” representa descarte

de pacote (*drop*), “r” significa o recebimento do pacote (*receive*) e “h” significa salto (*hop*).

- Tempo em que o evento/ação ocorreu ("-t");
- Nó em que o evento/ação se originou ("-s");
- Nó a que o pacote era enviado ("-d");
- Tipo de fluxo ("-p");
- Tamanho do pacote, em *bytes* ("-e");
- Conversação ("-c");
- Atributo ("-a");
- Nó de origem do pacote, isto é, o emissor ("-i"); e
- Tipo de pacote ("-k").

Em <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/node552.html> encontra-se uma descrição detalhada de cada um desses e outros atributos utilizados pelo NS.

O NS ainda gera como saída um outro tipo de arquivo, conhecido como “.nam”. Esses arquivos destinam-se à entrada do animador de simulação (NAM), não sendo utilizados para a análise.

5.3.2.2.2. Arquivos para o Analisador

Para a análise dos resultados da simulação, adaptou-se um *script* já existente em C [TOR01], o qual contempla as principais métricas de QoS adotadas neste trabalho.

Os arquivos de entrada do analisador são aqueles que o simulador gerou como saída, isto é, aqueles arquivos com a extensão “*.out”. Não é necessário modificá-los ou pré-processá-los, ao passo que os “*.nam” devem ter as linhas de cabeçalho removidas, bem como os *tokens* na forma "-x" das linhas de eventos.

O analisador gera, para cada análise, cinco arquivos de saída:

- ***.raw** - Cópia idêntica ao arquivo ***.out** gerado pelo simulador. Este arquivo é gerado para efeitos de depuração.
- ***.stat** - Este arquivo contém os resultados da análise estatística realizada.

- ***.hgrm** - Arquivo de histograma completo, com identificadores de fluxo inclusos, sendo utilizados principalmente para depuração e confirmação visual/manual dos resultados.
- ***.dat** - Arquivo de histograma, com identificadores de fluxo, sendo gerados para a ferramenta de elaboração de gráficos *GnuPlot*.
- ***.trace** - Arquivo que contém somente os eventos de geração e recebimento de pacotes, sendo utilizados para depuração e confirmação visual/manual dos resultados.

O programa gera, ainda, uma saída em tela, contendo estatísticas sobre si próprio, como os tempos de execução de cada etapa. Ao ser disparado pelo *script start.sh*, a saída é redirecionada para um arquivo ***.res**.

Para a análise dos resultados da simulação, este analisador, realiza as análises das métricas de QoS definidas para o escopo deste trabalho, sendo elas:

- **Vazão** - definida como o número de *bytes* (e pacotes) que foram recebidos entre a chegada do primeiro e do último pacote dividido pelo tempo necessário.
- **Latência** – definida como a diferença entre o tempo em que o pacote foi recebido e o tempo em que foi transmitido, considerando na ordem cronológica, as diferenças das ações registradas como “-”.
- **Jitter** - definido como a diferença entre o atraso do pacote atual e média dos atrasos. Na análise do *jitter*, valores positivos significam que houve um aumento na latência, por exemplo, de dois pacotes consecutivos. Isto significa que o segundo pacote permaneceu mais tempo na fila em relação ao anterior. Valores negativos, ao contrário, significam que o segundo pacote permaneceu menos tempo na fila. Valores nulos significam que ambos pacotes permaneceram o mesmo tempo na fila. As variações positivas do *jitter* estão associadas à transferência de pacotes maiores, forçando uma situação de enfileiramento, pois a taxa de saída passa a ser menor que a taxa de entrada de pacotes. Este fator torna-se cada vez mais acentuado na medida em que pacotes maiores tornam-se mais frequentes na fila.
- **Taxa de Perdas** - definida como o total de *bytes* (e pacotes) perdidos durante a simulação, sendo obtida pela observação das ações registradas como “d”.

Para cada simulação descrita, o programa gera a análise individual de cada fluxo. Para a construção dos gráficos, um *script bash* gera os arquivos de entrada para o *GnuPlot*.

5.3.3. Resultados das Simulações

O objetivo desta seção é apresentar os resultados das simulações e análises realizadas sobre os parâmetros variáveis, demonstrando os diferentes comportamentos (perfis) de uma rede *wireless ad-hoc*.

Os comentários e descrições das particularidades, dos pontos importantes, das sutilezas percebidas estão agrupados pelos principais tópicos que envolvem qualidade de serviços, citado nas seções anteriores, sendo eles vazão, latência, *jitter* e taxa de perdas.

Os Diagramas abaixo demonstram, a estrutura de simulação adotada, com intuito de alcançar-se o objetivo proposto neste trabalho.

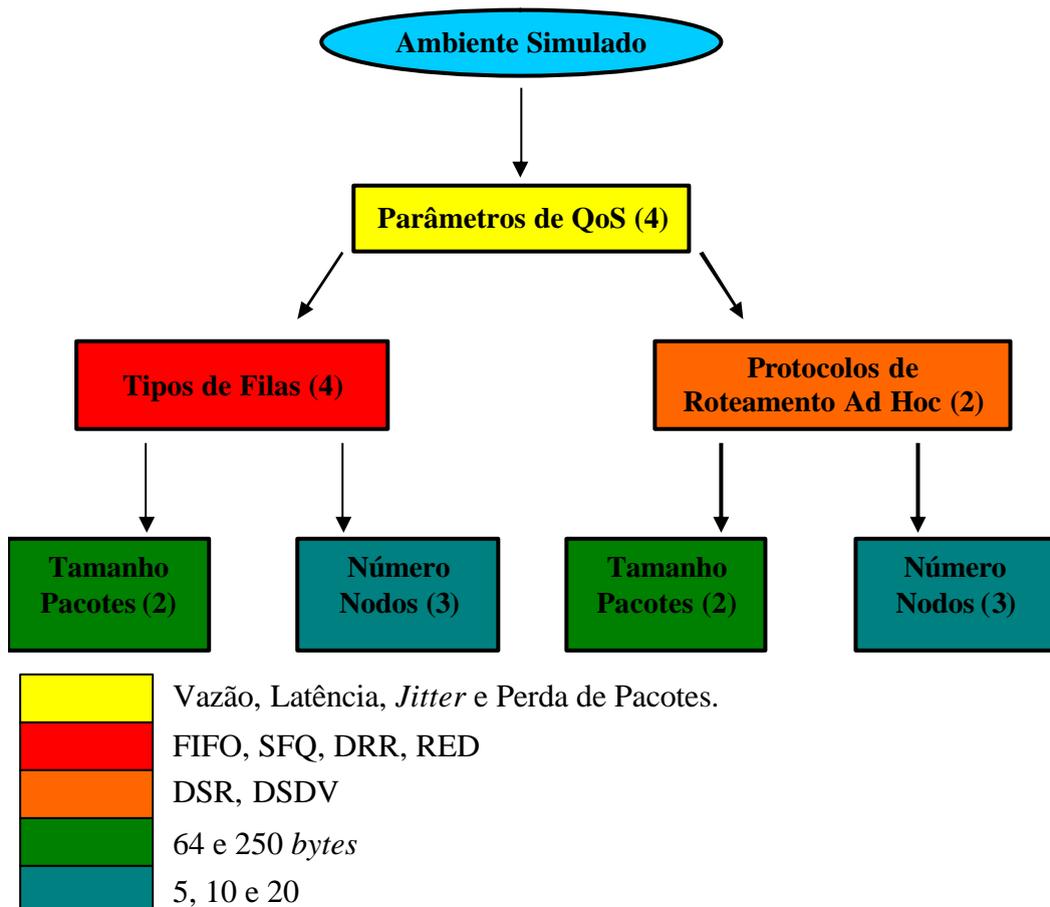


Diagrama 1 . Estrutura Simplificada da Simulação.

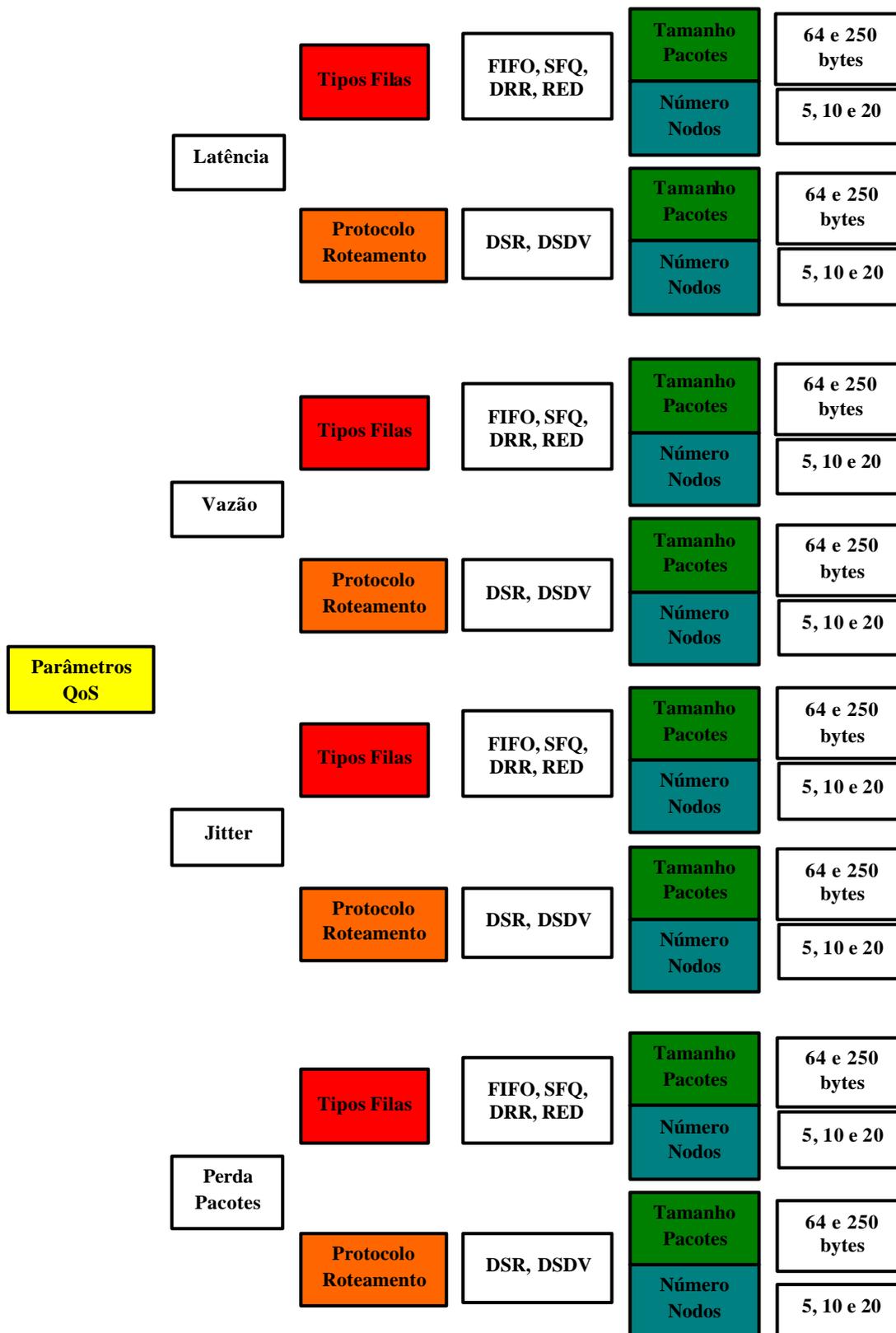


Diagrama 2 . Estrutura Detalhada da Simulação.

5.3.3.1. Filas/Algoritmos

O congestionamento em redes de computadores pode ser causado por diversos fatores. Se os pacotes que chegam através de três ou quatro linhas de entrada tiverem como destino uma mesma linha de saída, poderá surgir uma fila de saída.

Um roteador com processador lento e memória insuficiente para conter todos os pacotes da fila, pode causar congestionamento. Uma demora na execução das tarefas administrativas de roteamento (ordenação de *buffers*, atualização de tabelas, etc.) também podem provocar o surgimento de filas, mesmo que os canais de comunicação tenham capacidade suficiente.

Sendo assim, foram simuladas as principais políticas de filas suportadas pelo NS: FIFO, RED, DRR e SFQ, sendo elas já descritas na seção 2.4.4.

Para este estudo, configurou-se ainda cada suavizador com os seguintes parâmetros: taxa de pico (*peak rate*) de 500 Kbps, tamanho da rajada (*burst size*) de 16 Kb, taxa de 4 pacotes por segundo e comprimento da fila (*queue length*) de 10. O protocolo de roteamento utilizado foi o DSR, por suas características descritas na seção 5.3.3.2, como por exemplo, o fato de não realizar troca periódica de informações de roteamento, onde pela estação não ser obrigada a transmitir ou receber estas informações, há uma economia de bateria e banda (este um agravante das redes *wireless ad-hoc*). Além disso, adaptam-se rapidamente as mudanças causadas pela movimentação dos hosts.

Para a análise dos resultados da simulação, utilizou-se o analisador, descrito na seção 5.3.2.2.2.

5.3.3.1.1. Tabela Vazão

Vazão (bps)				
	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
FIFO	64 bytes	Valor Médio: 31744 Desvio Padrão: 178,16	Valor Médio: 103424 Desvio Padrão: 321,59	Valor Médio: 177152 Desvio Padrão: 420,89
	250 bytes	Valor Médio: 343040 Desvio Padrão: 585,69	Valor Médio: 414720 Desvio Padrão: 643,98	Valor Médio: 486400 Desvio Padrão: 697,42
SFQ	64 bytes	Valor Médio: 20480 Desvio Padrão: 143,10	Valor Médio: 92160 Desvio Padrão: 303,57	Valor Médio: 163840 Desvio Padrão: 404,77
	250 bytes	Valor Médio: 317440 Desvio Padrão: 563,41	Valor Médio: 394240 Desvio Padrão: 627,88	Valor Médio: 465920 Desvio Padrão: 682,58
	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 20378 Desvio Padrão: 142,75	Valor Médio: 92058 Desvio Padrão: 303,41	Valor Médio: 163738 Desvio Padrão: 404,64

DRR	250 bytes	Valor Médio: 317338	Valor Médio: 394138	Valor Médio: 465818
		Desvio Padrão: 563,32	Desvio Padrão: 627,80	Desvio Padrão: 682,50
RED	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 21504	Valor Médio: 93184	Valor Médio: 164864
		Desvio Padrão: 146,64	Desvio Padrão: 305,26	Desvio Padrão: 406,03
250 bytes	Valor Médio: 332800	Valor Médio: 404480	Valor Médio: 476160	
	Desvio Padrão: 576,88	Desvio Padrão: 635,98	Desvio Padrão: 690,04	

Tabela 2. Tabela Vazão x Tipo Fila.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios da vazão em cada uma das filas analisadas.

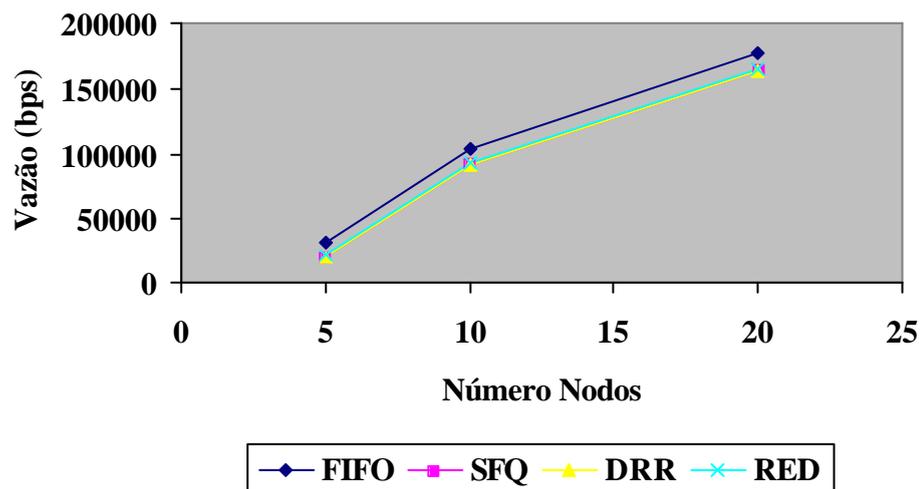


Gráfico 1. Vazão x Tipo Fila – Pacotes 64 bytes.

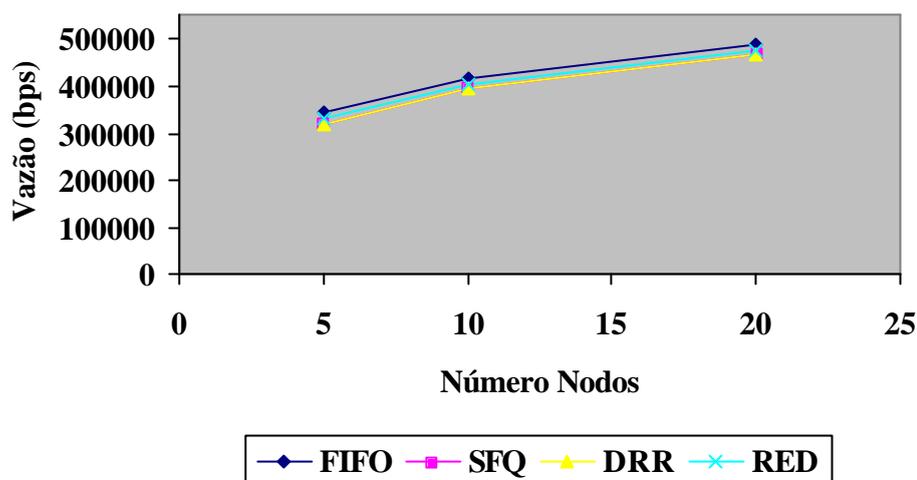


Gráfico 2. Vazão x Tipo Fila – Pacotes 250 bytes.

Como pode ser visto, o comportamento dos diversos algoritmos, com exceção a FIFO, frente à variação dos parâmetros tamanho do pacote e número de nós é muito semelhante.

Há poucos casos em que ocorrem desvios muito acentuados de comportamento. No caso da métrica vazão com tamanho de pacotes de 64 *bytes* e 250 *bytes*, o algoritmo FIFO, apresentou o pior comportamento, seguido por RED, SFQ e DRR.

Para pacotes de 64 *bytes*, tem-se um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nós de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nós, esta variação de desempenho das filas não é tão acentuada assim.

Os pacotes de 250 *bytes*, também apresentam um crescimento da linha do desempenho, no mesmo momento dos pacotes de 64 *bytes*, porém de maneira menos acentuada.

5.3.3.1.2. Tabela Atraso/Latência

Atraso (ms)				
	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
FIFO	64 bytes	Valor Médio: 21,50	Valor Médio: 30,3	Valor Médio: 33,6
		Desvio Padrão: 4,63	Desvio Padrão: 5,50	Desvio Padrão: 5,79
	250 bytes	Valor Médio: 23,76	Valor Médio: 33,96	Valor Médio: 37,45
		Desvio Padrão: 4,87	Desvio Padrão: 5,82	Desvio Padrão: 6,11
SFQ	64 bytes	Valor Médio: 21,17	Valor Médio: 29,97	Valor Médio: 33,27
		Desvio Padrão: 4,60	Desvio Padrão: 5,47	Desvio Padrão: 5,76
	250 bytes	Valor Médio: 23,43	Valor Médio: 32,42	Valor Médio: 35,77
		Desvio Padrão: 4,84	Desvio Padrão: 5,69	Desvio Padrão: 5,98
DRR	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 22,03 Desvio Padrão: 4,69	Valor Médio: 30,83 Desvio Padrão: 5,55	Valor Médio: 34,13 Desvio Padrão: 5,84

	250 bytes	Valor Médio: 25,29 Desvio Padrão: 5,02	Valor Médio: 35,35 Desvio Padrão: 5,94	Valor Médio: 39,03 Desvio Padrão: 6,24
RED	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 21,42 Desvio Padrão: 4,62	Valor Médio: 30,22 Desvio Padrão: 5,49	Valor Médio: 33,52 Desvio Padrão: 5,78
	250 bytes	Valor Médio: 23,68 Desvio Padrão: 4,86	Valor Médio: 32,67 Desvio Padrão: 5,71	Valor Médio: 36,02 Desvio Padrão: 6,01

Tabela 3. Tabela Atraso x Tipo Fila.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios da latência em cada uma das filas analisadas.

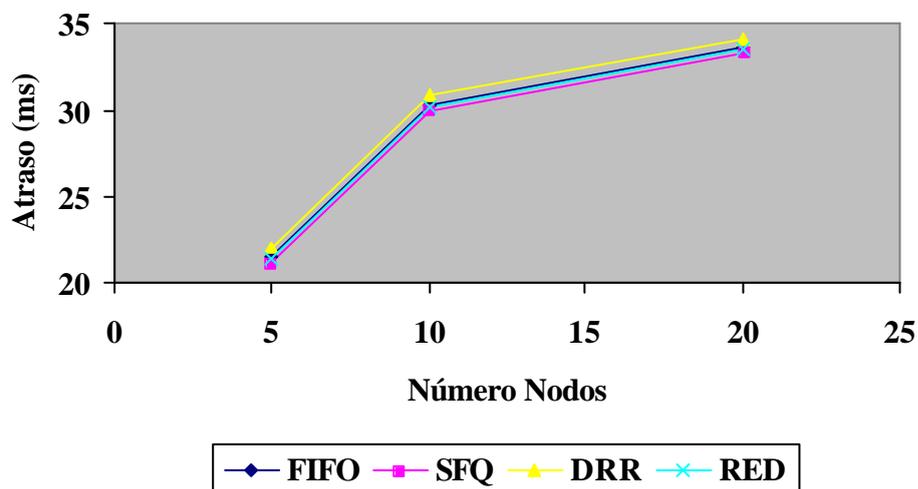


Gráfico 3. Atraso x Tipo Fila – Pacotes 64 bytes.

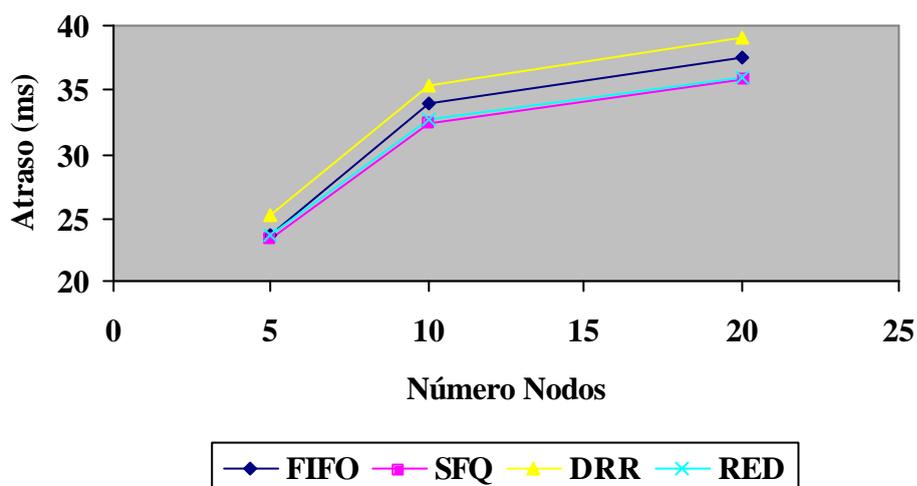


Gráfico 4. Atraso x Tipo Fila – Pacotes 250 bytes.

Para analisar o atraso, a consideração dos parâmetros de entrada é essencial, pois os algoritmos comportam-se muito em função destes parâmetros.

Em termos gerais, para um enlace não carregado, os algoritmos comportam-se semelhantemente. Na medida em que o tráfego aumenta, as diferenças aparecem de maneira mais acentuada, ou seja, o atraso aumenta com o tamanho do pacote, e a isto se soma o aumento da vazão de entrada.

O pior desempenho é o da disciplina DRR, seguido pela FIFO. RED e SFQ. Para pacotes de tamanho igual a 64 bytes todas as disciplinas apresentam um desempenho semelhante. Porém ao aumentarmos o tamanho dos pacotes para 250 bytes, apenas as disciplinas RED e SFQ permanecem com um desempenho semelhante.

Nota-se que o DRR degrada acentuadamente com o aumento no tamanho do pacote, agregado à vazão de entrada.

Observou-se que a variação do tamanho do pacote afeta diretamente no atraso, ou seja, quanto maior a taxa de chegadas de pacotes grandes, maior passa a ser a latência. Se a fila estiver predominantemente preenchida com pacotes menores, menores serão os tempos computados na latência dos pacotes enfileirados quando comparados com um perfil oposto. Se a predominância for de pacotes maiores, maiores os tempos a serem acumulados pelos pacotes enfileirados.

Além disso, segundo [RIB02], a transmissão de radiofrequência possui naturalmente uma taxa de erros de retransmissão de *frames* que pode variar em até 6% para um enlace de RF ser considerado normal, provocando assim mais congestionamento na rede e conseqüentemente, influenciando no atraso do tráfego.

Seguindo a tendência da vazão, os pacotes de 64 *bytes*, tem um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não é tão acentuada assim. Os pacotes de 250 *bytes* seguem a mesma tendência dos de 64 *bytes*, diferindo-se do ocorrido com a vazão.

5.3.3.1.3. Tabela Jitter

Jitter (ms)				
	Tamanho	Número Nodos		
	Pacote	5	10	20
FIFO	64 bytes	Valor Médio: 03,72 Desvio Padrão: 1,92	Valor Médio: 06,04 Desvio Padrão: 2,45	Valor Médio: 10,12 Desvio Padrão: 3,18
	250 bytes	Valor Médio: 23,02 Desvio Padrão: 4,79	Valor Médio: 25,07 Desvio Padrão: 5,0	Valor Médio: 28,38 Desvio Padrão: 5,32
SFQ	64 bytes	Valor Médio: 05,02 Desvio Padrão: 2,24	Valor Médio: 07,34 Desvio Padrão: 2,70	Valor Médio: 11,42 Desvio Padrão: 1,19

	250 bytes	Valor Médio: 23,11 Desvio Padrão: 4,80	Valor Médio: 25,16 Desvio Padrão: 5,01	Valor Médio: 28,47 Desvio Padrão: 5,33
DRR	Tamanho Pacote	Número Nós		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 05,64 Desvio Padrão: 2,37	Valor Médio: 07,96 Desvio Padrão: 2,82	Valor Médio: 12,04 Desvio Padrão: 3,46
	250 bytes	Valor Médio: 24,94 Desvio Padrão: 4,99	Valor Médio: 27,62 Desvio Padrão: 5,25	Valor Médio: 30,03 Desvio Padrão: 5,47
RED	Tamanho Pacote	Número Nós		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 03,81 Desvio Padrão: 1,95	Valor Médio: 06,13 Desvio Padrão: 2,47	Valor Médio: 10,21 Desvio Padrão: 3,19
	250 bytes	Valor Médio: 24,32 Desvio Padrão: 4,93	Valor Médio: 26,37 Desvio Padrão: 5,13	Valor Médio: 29,68 Desvio Padrão: 5,44

Tabela 4. Tabela Jitter x Tipo Fila.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios do *jitter* em cada uma das filas analisadas.

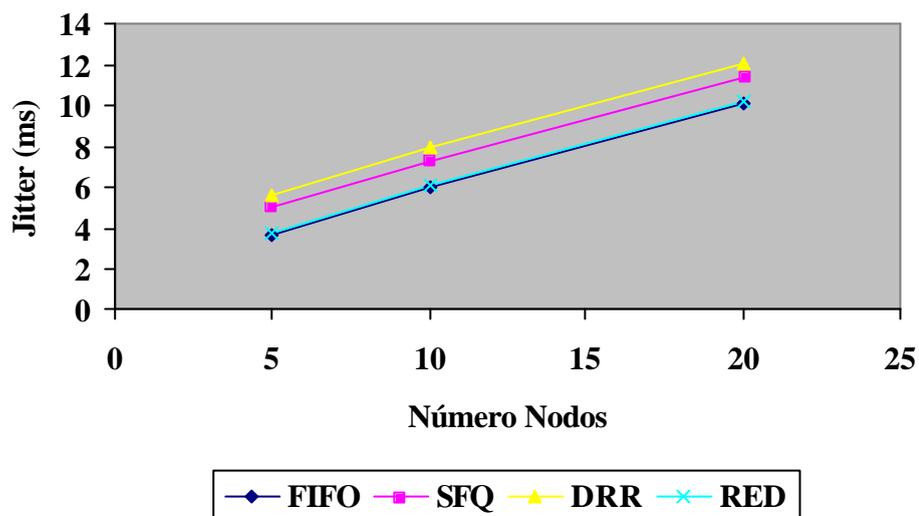


Gráfico 5. Jitter x Tipo Fila –Pacotes 64 bytes.

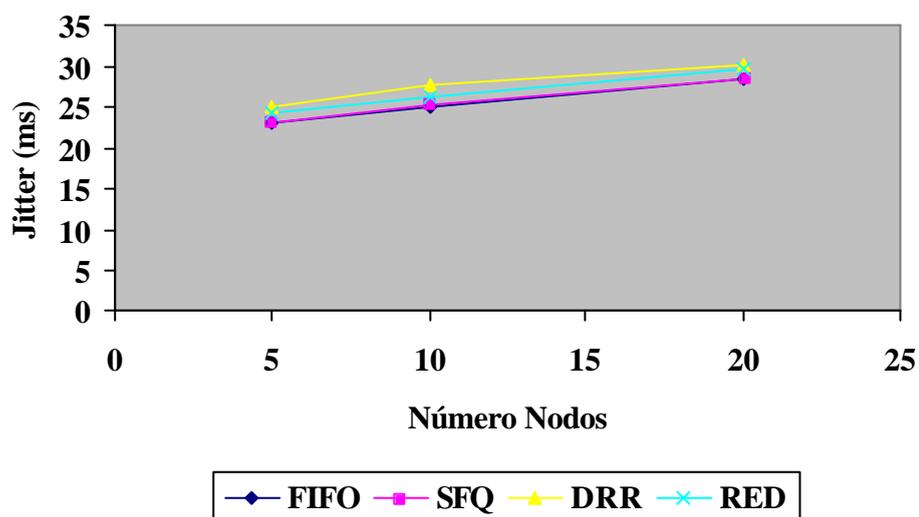


Gráfico 6. Jitter x Tipo Fila –Pacotes 250 bytes.

De modo geral, quando o enlace caminha para o estrangulamento, variando apenas um dos parâmetros (tamanho pacote e/ou número nós), os algoritmos ainda conseguem manter certa estabilidade. Porém, aumentando-se os dois, os algoritmos tendem a modificar seu comportamento para os casos em que degradam, cada um a sua maneira.

Para pacotes de tamanho igual a 64 bytes, o algoritmo FIFO, fica com os melhores resultados, seguido do RED, SFQ e DRR. Já pra pacotes de tamanho igual a 250 bytes, o algoritmo FIFO, continua com o melhor desempenho, porém ocorre uma troca de

posição, em relação ao desempenho, entre o RED e SFQ, apresentando este último um melhor desempenho. Por fim o DRR continua com o pior desempenho entre os algoritmos.

Analisando os dados, verificou-se que a variação do tamanho do pacote, seguindo a tendência do atraso, afeta diretamente no *jitter*. Sendo assim, o *jitter* é uma condição totalmente dependente da situação da fila em cada momento. Não somente em termos de pacotes enfileirados, mas também dos perfis destes pacotes, ou seja, se maiores ou menores. No esquema FIFO, o processo de descarte de pacotes não influencia diretamente no *jitter*, pois os pacotes não chegam a entrar na fila [HOR02].

A linha do desempenho na métrica *jitter* apresenta um crescimento uniforme, ou seja, o mesmo crescimento ao variar-se o número de nodos, diferindo-se assim das métricas vazão e atraso.

5.3.3.1.4. Tabela Perda Pacotes

Taxa de Perda de Pacotes (%)				
	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
FIFO	64 bytes	Valor Médio: 3,64	Valor Médio: 4,94	Valor Médio: 6,13
		Desvio Padrão: 1,90	Desvio Padrão: 2,22	Desvio Padrão: 2,47
	250 bytes	Valor Médio: 5,98	Valor Médio: 7,1	Valor Médio: 10,08
		Desvio Padrão: 2,44	Desvio Padrão: 2,66	Desvio Padrão: 3,17
	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20

SFQ	64 bytes	Valor Médio: 0,71 Desvio Padrão: 0,84	Valor Médio: 2,01 Desvio Padrão: 1,41	Valor Médio: 3,2 Desvio Padrão: 1,78
	250 bytes	Valor Médio: 3,02 Desvio Padrão: 1,73	Valor Médio: 4,17 Desvio Padrão: 2,04	Valor Médio: 7,15 Desvio Padrão: 2,67
DRR	Tamanho Pacote	Número Nós		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 0,62 Desvio Padrão: 0,78	Valor Médio: 1,92 Desvio Padrão: 1,38	Valor Médio: 3,11 Desvio Padrão: 1,76
	250 bytes	Valor Médio: 2,96 Desvio Padrão: 1,72	Valor Médio: 4,08 Desvio Padrão: 2,01	Valor Médio: 7,06 Desvio Padrão: 2,65
RED	Tamanho Pacote	Número Nós		
		5	10	20
	64 bytes	Valor Médio: 1,92 Desvio Padrão: 1,38	Valor Médio: 3,22 Desvio Padrão: 1,79	Valor Médio: 4,41 Desvio Padrão: 2,1
	250 bytes	Valor Médio: 4,26 Desvio Padrão: 2,06	Valor Médio: 5,38 Desvio Padrão: 2,31	Valor Médio: 8,36 Desvio Padrão: 2,89

Tabela 5. Tabela Taxa de Perda de Pacotes x Tipo Fila.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios da taxa de perda de pacotes em cada uma das filas analisadas.

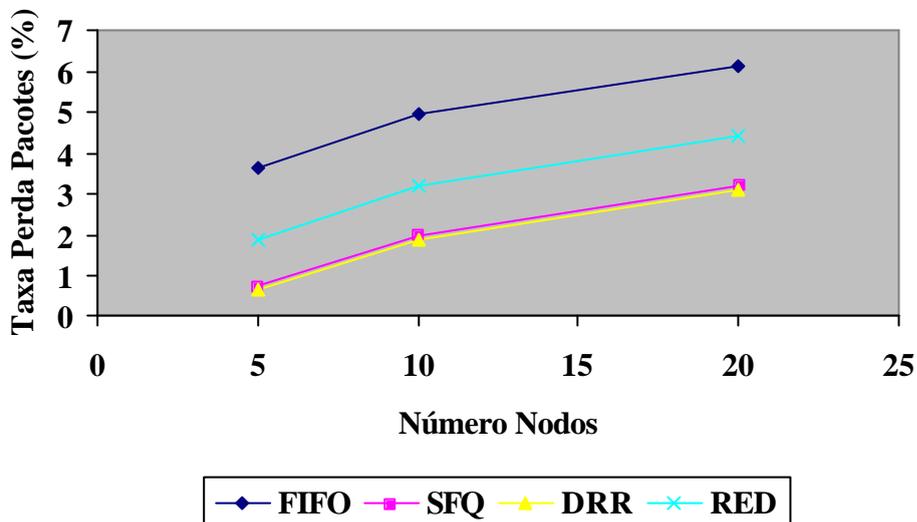


Gráfico 7. Taxa de Perda de Pacotes x Tipo Fila - Pacotes 64 bytes.

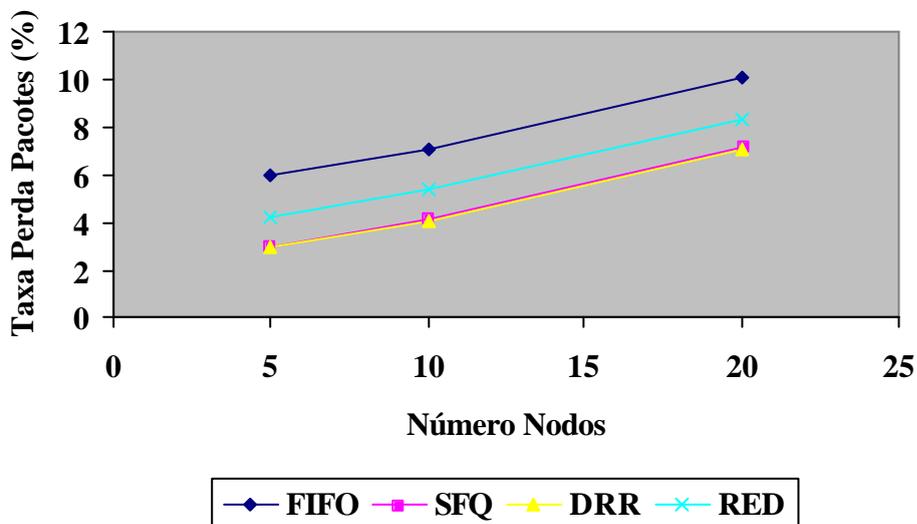


Gráfico 8. Taxa de Perda de Pacotes x Tipo Fila - Pacotes 250 bytes.

Devido à movimentação constantemente e principalmente devido ao fato da possibilidade de um grande afastamento entre os nós, é comum que os pacotes comecem a ser perdidos.

O algoritmo DRR apresentou o melhor desempenho, seguido por SFQ, RED e FIFO.

Seguindo a tendência da vazão e do atraso, os pacotes de 64 *bytes*, tem um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não é tão acentuada assim. Os pacotes de 250 *bytes*, também apresentam um crescimento da linha do desempenho, no mesmo momento dos pacotes de 64 *bytes*, porém de maneira menos acentuada, seguindo a tendência da vazão.

5.3.3.2. Protocolos de Roteamento

Um dos maiores desafios em redes *ad-hoc* está ligado à possibilidade de perda de comunicação, seja por interferências ou por mobilidade dos terminais. Portanto, a função de rotear mensagens é de fundamental importância e influencia diretamente o desempenho de toda a rede. Os protocolos de roteamento utilizam informações imprecisas sobre o estado dos enlaces da rede. Esta imprecisão pode afetar o rendimento do protocolo e conseqüentemente o desempenho da rede.

Outro problema surge a partir do momento em que se deseja enviar uma mensagem para um outro nó, pois é necessário encontrar o nó de destino para então definir uma rota até ele e manter esta rota até o fim da comunicação tornando-se necessário um mecanismo de manutenção de rotas.

Não existe consenso sobre qual o melhor protocolo de roteamento *ad-hoc*. Por isso, como base nas descrições feitas na seção 2.4.3, os protocolos escolhidos para serem simulados e analisados foram o *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV) e o *Dynamic Source Routing* (DSR). O DSDV é um protocolo de roteamento pró-ativo, baseado no algoritmo *Distance Vector*, muito abordado pela literatura. O DSR, em contrapartida, é um protocolo reativo, do tipo *Source Routing*, onde o terminal de origem é quem define quais nós intermediários farão parte da rota até o destino.

Quanto ao algoritmo/fila utilizada, optou-se pela SFQ, por apresentar um melhor desempenho no geral em relação as métricas de QoS aqui analisadas, segundo as

simulações da seção 5.3.3.1. Os demais parâmetros fixos são os mesmos utilizados nas simulações anteriores.

5.3.3.2.1. Tabela Vazão

Vazão (bps)					
	Tamanho Pacote	Número Nodos			
		5	10	20	
DSR	64 bytes	Valor Médio: 20480	Valor Médio: 92160	Valor Médio: 163840	
		Desvio Padrão: 143,10	Desvio Padrão: 303,57	Desvio Padrão: 407,77	
	250 bytes	Valor Médio: 317440	Valor Médio: 394240	Valor Médio: 46920	
		Desvio Padrão: 563,41	Desvio Padrão: 627,88	Desvio Padrão: 216,61	
	DSDV	64 bytes	Valor Médio: 51359	Valor Médio: 112234	Valor Médio: 175968
			Desvio Padrão: 226,62	Desvio Padrão: 335,01	Desvio Padrão: 419,48
250 bytes		Valor Médio: 618319	Valor Médio: 694314	Valor Médio: 716048	
		Desvio Padrão: 786,33	Desvio Padrão: 833,25	Desvio Padrão: 846,19	

Tabela 6. Tabela Vazão x Protocolo Roteamento.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios da vazão em cada um dos protocolos de roteamento analisados.

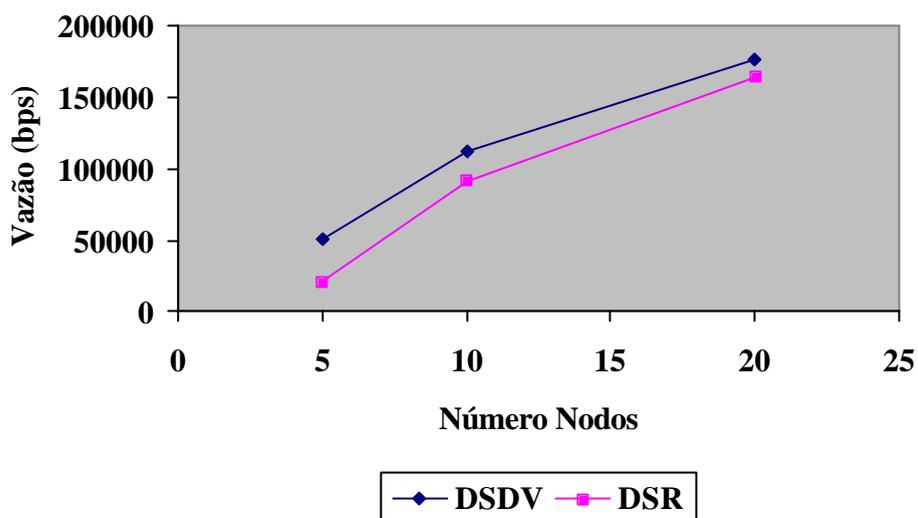


Gráfico 9. Vazão x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.

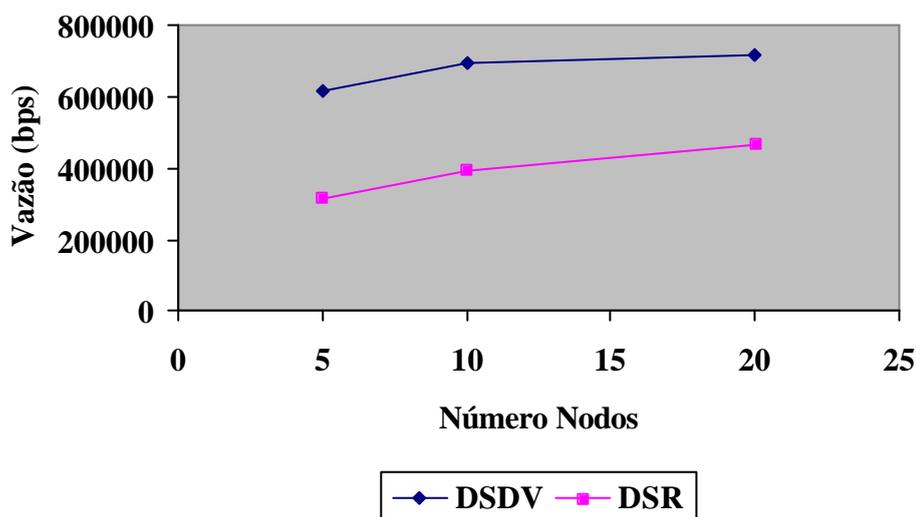


Gráfico 10. Vazão x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.

Observa-se que os dois protocolos apresentam um comportamento semelhante para pacotes de 64 bytes e um comportamento completamente diferente para pacotes de 250 bytes. O DSR possui um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes. No entanto, na medida que aumentamos o número de nodos, o protocolo DSDV, tende a diminuir a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade, principalmente ao aumentar-se o tamanho dos pacotes.

Para pacotes de 64 *bytes*, tem-se um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não é tão acentuada assim.

Os pacotes de 250 *bytes*, também apresentam um crescimento da linha do desempenho, no mesmo momento dos pacotes de 64 *bytes*, porém de maneira menos acentuada.

5.3.3.2.2. Tabela Atraso

Atraso (ms)				
DSR	Tamanho	Número Nodos		
	Pacote	5	10	20
DSR	64 bytes	Valor Médio: 21,17 Desvio Padrão: 4,60	Valor Médio: 29,97 Desvio Padrão: 5,47	Valor Médio: 33,27 Desvio Padrão: 5,76
	250 bytes	Valor Médio: 23,43 Desvio Padrão: 4,84	Valor Médio: 31,42 Desvio Padrão: 5,60	Valor Médio: 35,77 Desvio Padrão: 5,98
DSDV	Tamanho	Número Nodos		
	Pacote	5	10	20
DSDV	64 bytes	Valor Médio: 28,31 Desvio Padrão: 5,32	Valor Médio: 34,66 Desvio Padrão: 5,88	Valor Médio: 35,08 Desvio Padrão: 5,92
	250 bytes	Valor Médio: 32,57 Desvio Padrão: 5,70	Valor Médio: 40,11 Desvio Padrão: 6,33	Valor Médio: 42,13 Desvio Padrão: 6,49

Tabela 7. Tabela Atraso x Protocolo Roteamento.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios da latência em cada um dos protocolos de roteamento analisados.

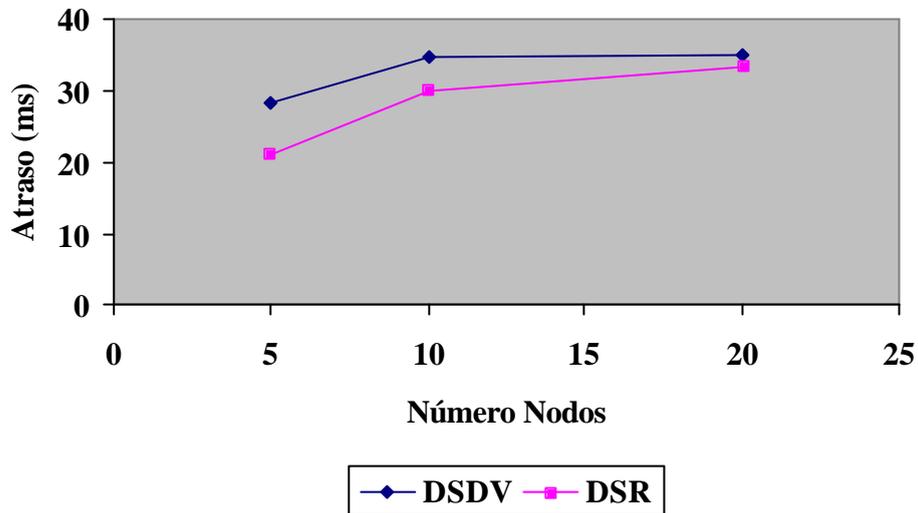


Gráfico 11. Atraso x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.

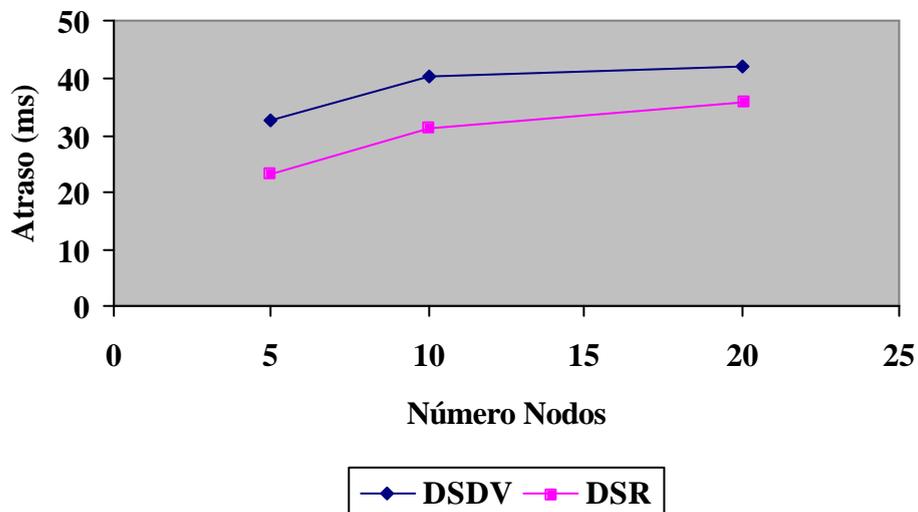


Gráfico 12. Atraso x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.

Observa-se que os dois protocolos apresentam um comportamento semelhante para pacotes de 64 e 250 bytes. Novamente, o protocolo DSR possui um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes, e o DSDV tende a

diminuir a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade, principalmente ao aumentar-se o tamanho dos pacotes.

Seguindo a tendência da vazão, os pacotes de 64 *bytes*, tem um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não é tão acentuada assim. Os pacotes de 250 *bytes* seguem a mesma tendência dos de 64 *bytes*, diferindo-se do ocorrido com a vazão.

5.3.3.2.3. Tabela Jitter

Jitter (ms)				
	Tamanho	Número Nodos		
	Pacote	5	10	20
DSR	64 bytes	Valor Médio:	Valor Médio:	Valor Médio:
		05,02	07,34	11,42
	Desvio Padrão:	Desvio Padrão:	Desvio Padrão:	
	2,24	2,70	3,37	
250 bytes	Valor Médio:	Valor Médio:	Valor Médio:	
	23,11	25,16	28,47	
Desvio Padrão:	Desvio Padrão:	Desvio Padrão:		
4,80	5,01	5,33		
	Tamanho	Número Nodos		
	Pacote	5	10	20
DSDV	64 bytes	Valor Médio:	Valor Médio:	Valor Médio:
		11,7	12,10	13,46
	Desvio Padrão:	Desvio Padrão:	Desvio Padrão:	
	3,42	3,47	3,66	
250 bytes	Valor Médio:	Valor Médio:	Valor Médio:	
	32,19	34,03	36,26	
Desvio Padrão:	Desvio Padrão:	Desvio Padrão:		
5,67	5,83	6,02		

Tabela 8. Tabela Jitter x Protocolo Roteamento.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios do *jitter* em cada um dos protocolos de roteamento analisados.

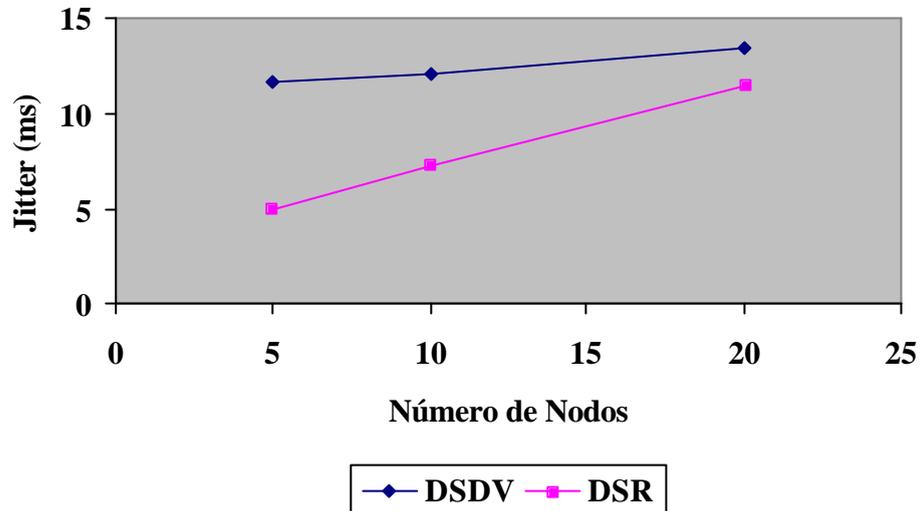


Gráfico 13. Jitter x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.

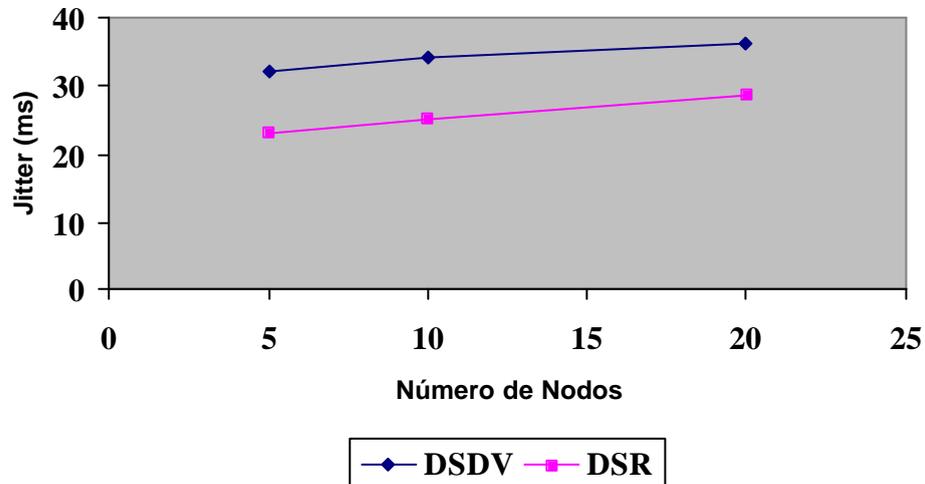


Gráfico 14. Jitter x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.

Para pacotes de 64 *bytes*, na variação de 5 a 10 nós os dois protocolos apresentam um comportamento completamente diferente. Quando a variação dos nós passa de 10 para 20, esta diferença tende a diminuir.

Já para pacotes de 250 *bytes*, a diferença entre os protocolos mantém-se semelhante independentemente da variação do número de nodos.

Novamente, o protocolo DSR possui um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes, e o DSDV tende a diminuir a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade com o aumento do número de nodos e principalmente com pacotes menores.

O protocolo DSR com pacotes de 64 *bytes* tem um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos. Já o protocolo DSDV com pacotes de 64 *bytes* não apresenta um crescimento significativo da linha de desempenho ao variar-se o número de nodos.

Para os pacotes de 250 *bytes*, ambos os protocolos não apresentam crescimento significativo da linha de desempenho em função do número de nodos.

5.3.3.2.4. Tabela Perda de Pacotes

Taxa de Perda Pacotes (%)				
DSR	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20
64 bytes	Valor Médio:	0,71	2,01	3,2
	Desvio Padrão:	0,084	1,41	1,78
250 bytes	Valor Médio:	3,28	4,17	7,15
	Desvio Padrão:	1,81	2,04	2,67
	Tamanho Pacote	Número Nodos		
		5	10	20

DSDV	64 bytes	Valor Médio: 3,46 Desvio Padrão: 1,86	Valor Médio: 4,86 Desvio Padrão: 2,20	Valor Médio: 7,16 Desvio Padrão: 2,67
	250 bytes	Valor Médio: 7,96 Desvio Padrão: 2,82	Valor Médio: 8,21 Desvio Padrão: 2,86	Valor Médio: 11,7 Desvio Padrão: 3,42

Tabela 9. Tabela Taxa de Perda de Pacotes x Protocolo Roteamento.

Os gráficos abaixo referem-se aos valores médios da taxa de perda de pacotes em cada um dos protocolos de roteamento analisados.

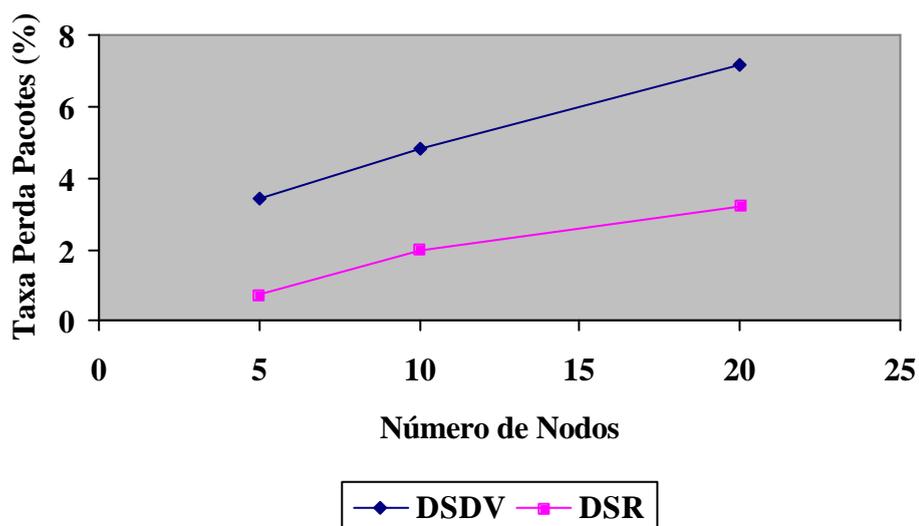


Gráfico 15. Perda de Pacotes x Protocolo de Roteamento – Pacotes 64 bytes.

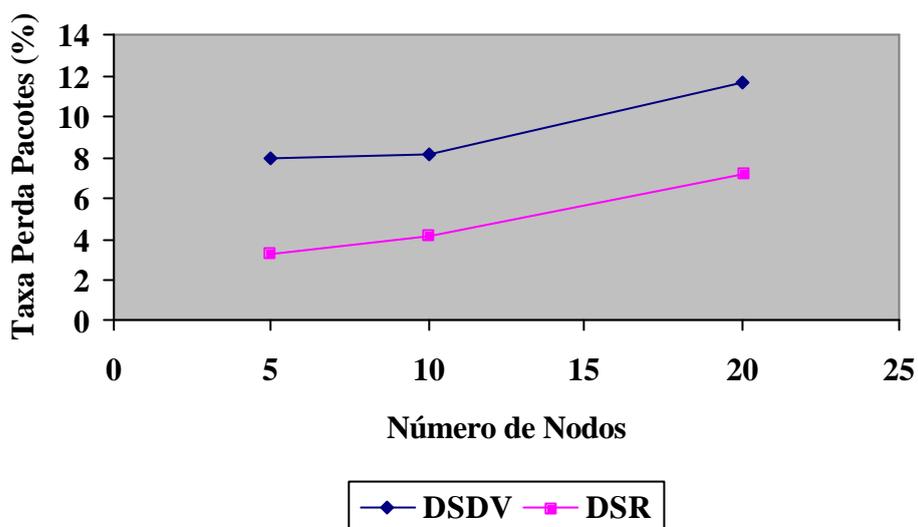


Gráfico 16. Perda de Pacotes x Protocolo de Roteamento – Pacotes 250 bytes.

Tanto para pacotes de 64 quanto para de 250 *bytes*, os dois protocolos apresentam um comportamento completamente diferente, tendo uma maior variação no aumento de 10 para 20 nós com tamanhos de pacotes de 64 *bytes* e uma menor variação no aumento de 5 para 10 nós com tamanhos de pacotes de 250 *bytes*.

Novamente, o protocolo DSR possui um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes. O DSDV tende a diminuir a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade, para pacotes de maior tamanho, enquanto para pacotes menores o DSR apresenta uma melhor uniformidade.

Para ambos os protocolos a taxa de perda acentua-se quando o número de nós varia de 10 para 20 nós. No entanto a linha de desempenho apresenta um aumento maior durante a variação de 10 para 20 nós com pacotes de 250 *bytes*.

A taxa de Perda de pacotes é mais acentuada no protocolo DSDV. Isso se deve ao fato de que o DSR, por ser um protocolo reativo, identifica mais rapidamente as mudanças e, portanto consegue convergir para um descobrimento de rota até o destino em menor tempo, evitando uma perda muito grande dos pacotes. Por outro lado, o DSDV, por se tratar de um protocolo pró-ativo, observa um maior atraso para manter as informações das tabelas de rotas atualizadas.

Após estas simulações pode-se chegar a conclusão que para todas as métricas de QoS aqui propostas, o protocolo DSR, apresenta um melhor desempenho. Porém ao

aumentarmos o número de nodos o DSDV tende a apresentar um comportamento mais uniforme, principalmente no aumento de 10 para 20 nodos.

5.3.3.3. Outras Simulações

5.3.3.3.1. Perda de Pacotes x Mobilidade

Esta simulação foi realizada, devido à necessidade de descobrir-se à correlação existente entre a mobilidade dos nodos e a perda de pacotes através da variação do tempo de pausa de cada nodo na simulação.

Devido à movimentação constante e principalmente devido ao fato da possibilidade de um grande afastamento entre os nós, é comum que os pacotes comecem a ser perdidos.

Sendo assim, pelo fato da taxa de perda influenciar diretamente em todas as métricas de QoS, na análise desta métrica em específico, não realizou-se a simulação “tradicional” como nas demais métricas, e sim, optou-se por uma análise dos protocolos de roteamento com relação a movimentação dos nodos, ou seja, tempo de movimentação e tempo pausa.

Nesta simulação, utilizou-se a fila SFQ e tamanho de pacote fixo: 250 *bytes*, variando-se apenas o número de nodos: 10, 20 e 30.

Os dois protocolos possuem uma baixa taxa de perda de pacotes, conseqüentemente uma grande porcentagem de pacotes entregues, quando a mobilidade do terminal móvel é pequena e convergem para 0% de perda de pacotes (100% de pacotes entregues) quando não há movimentação dos nós (tempo de pausa igual a 400). Porém é visível que o protocolo de roteamento DSR tem um desempenho muito melhor do que o DSDV quando existe uma movimentação mais intensa dos nós (tempo de pausa igual a 0). O DSR possui taxa de perda de pacotes de aproximadamente 5%, entregando mais do que 95% dos pacotes, com mobilidade constante dos nós, enquanto que o DSDV, possui taxa de perda de pacotes de aproximadamente 25%, entregando um pouco mais do que 75% dos pacotes no mesmo ambiente. Isso se deve ao fato de que o DSR, por ser um protocolo reativo, identifica mais rapidamente as mudanças e, portanto consegue convergir para um descobrimento de rota até o destino em menor tempo, evitando uma perda muito grande

dos pacotes. Por outro lado, o DSDV, por se tratar de um protocolo pró-ativo, observa um maior atraso para manter as informações das tabelas de rotas atualizadas. Isso reflete em envios de pacotes sobre enlaces rompidos, o que acaba ocasionando perdas de pacotes.

Tempo	DSR		DSDV	
	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues
0	4%	96%	22%	78%
30	3%	97%	23%	77%
60	5%	95%	12%	88%
100	2%	98%	7%	93%
200	1%	99%	3%	97%
400	0%	100%	0%	100%

Tabela 10. Comparação entre os protocolos DSR e DSDV em função dos tempos de pausa.

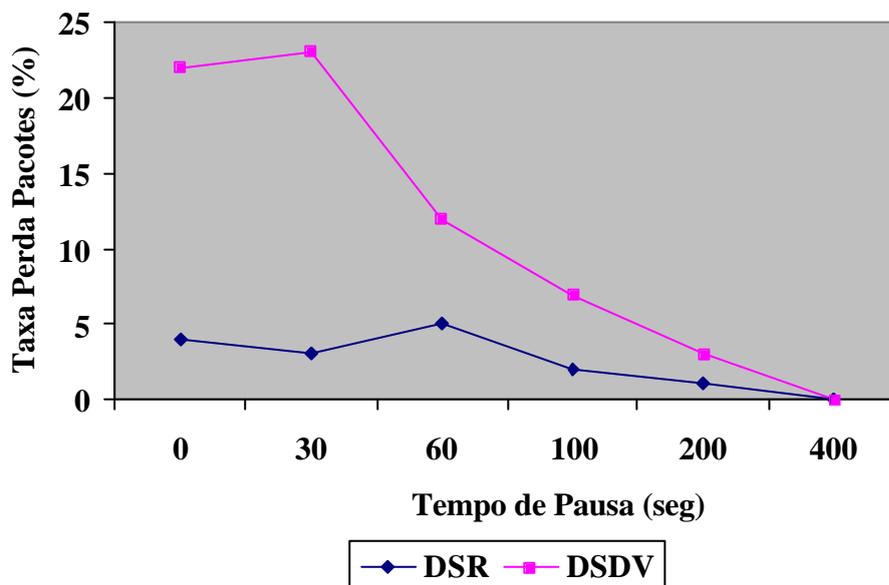


Gráfico 17. Comparação entre os protocolos DSR e DSDV em função dos tempos de pausa.

Através desta comparação pode-se concluir que o protocolo DSR possui uma taxa de entrega de pacotes superior a 95% em todos os tempos de pausa. Esta taxa se deve à capacidade de reação às mudanças da topologia. Já o protocolo DSDV entrega somente 75% dos pacotes nos cenários de maior movimentação e converge para 100% nos cenários sem movimentação. O protocolo DSDV tem uma deficiência em manter as

tabelas de roteamento atualizadas, já que um certo retardo na troca dessas tabelas acaba prejudicando o rendimento do protocolo.

Os dois Gráficos abaixo mostram desempenho dos protocolos variando-se o número de fontes CBR. Como pode-se verificar, o protocolo DSR mantém um desempenho semelhante, quando o número de fontes varia de 10 para 20 e 30. Já o protocolo DSDV melhora o rendimento quando há uma variação de 10 para 20 e 30 fontes. O desempenho cresce porque uma quantidade maior de pacotes requer que sejam trocadas uma quantidade maior de informações e, conseqüentemente, a tabela de roteamento refletirá melhor as mudanças ocorridas na rede.

Tempo	DSR - 10		DSR - 20		DRS - 30	
	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues
0	2%	98%	1,8%	98,2%	1,7%	98,3%
30	1,2%	98,8%	1,1%	98,9%	1%	99%
60	1,5%	98,5%	1,9%	98,1%	1,95%	98,05%
100	0,8%	99,2%	0,9%	99,1%	0,9%	99,1%
200	0,4%	99,6%	0,3%	99,7%	0,2%	99,8%
400	0,1%	99,9%	0,1%	99,9%	0,1%	99,9%

Tabela 11. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSR.

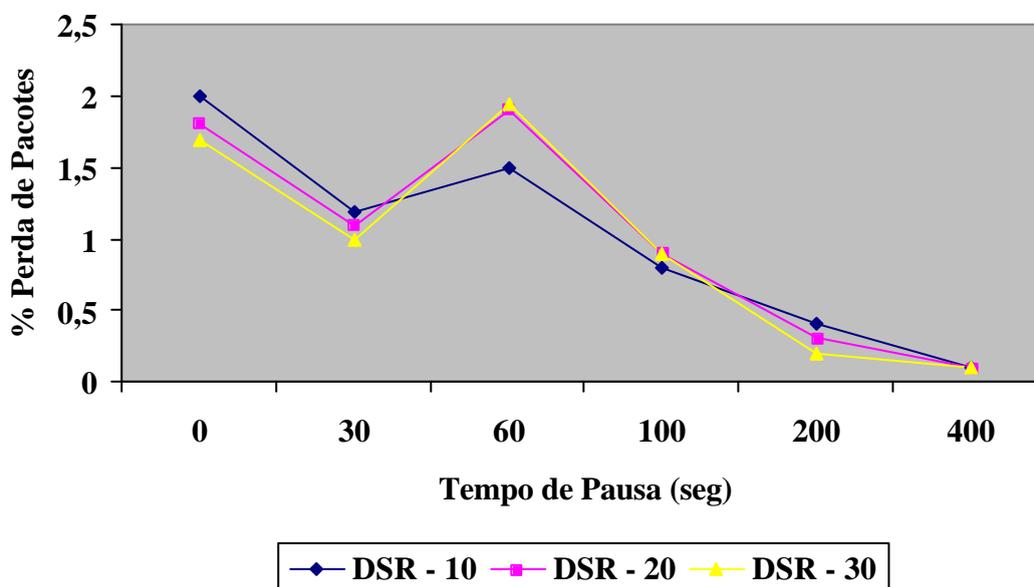


Gráfico 18. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSR.

Tempo	DSDV - 10		DSDV - 20		DSDV - 30	
	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues	Perda de Pacotes	Pacotes Entregues
0	26%	74%	22%	78%	20%	80%
30	25,9%	74,1%	23,2%	76,8%	22,8%	77,2%
60	14%	86%	13%	87%	12,3%	87,7%
100	9%	91%	7,5%	92,5%	6,9%	93,1%
200	6%	94%	5%	95%	3,9%	96,1%
400	2%	98%	1%	99%	0,7%	99,3%

Tabela 12. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSDV.

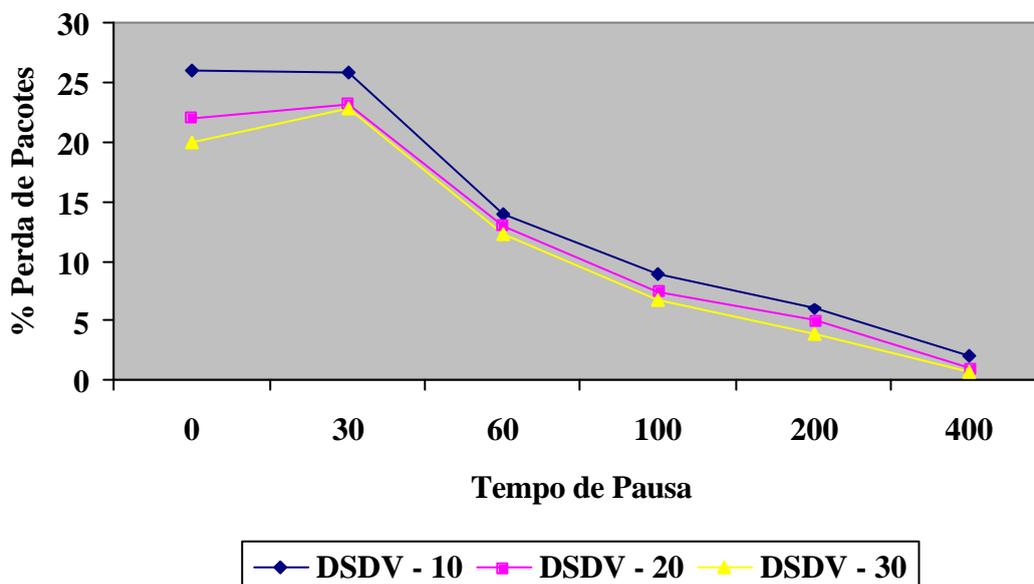


Gráfico 19. Reflexo da variação da quantidade de fontes no protocolo DSDV.

Observou-se que quanto maior a mobilidade e carga na rede, maior é a degradação da rede e a perda de pacotes. O protocolo DSR possui uma taxa de erros de aproximadamente 1 % a 2% dos pacotes enviados e o DSDV entrega entre aproximadamente 1 a 25%.

5.3.3.3.2. Handoffs

O número de *handoff* depende de inúmeros fatores como, por exemplo, velocidade do terminal móvel, número de terminais móveis, tamanho das células, entre outros.

Devido à movimentação constante dos nodos e conseqüentemente um tráfego mais constante/intenso tem-se mais requisições de *handoffs*. Na seção 2.4.5, pode-se acompanhar uma descrição mais detalhada sobre este procedimento.

Assim como na simulação da taxa de perda de pacotes x mobilidade, seção 5.3.3.3.1, utilizou-se a fila SFQ e tamanho de pacote fixo: 250 bytes, variando-se apenas o número de nodos: 10, 20 e 30.

DSR		DSDV	
Número Nodos	Taxa Handoffs (%)	Número Nodos	Taxa Handoffs (%)
10	0,04	10	0,05
20	0,07	20	0,09
30	0,11	30	0,15

Tabela 13. Taxa média de Handoffs x Protocolo Roteamento.

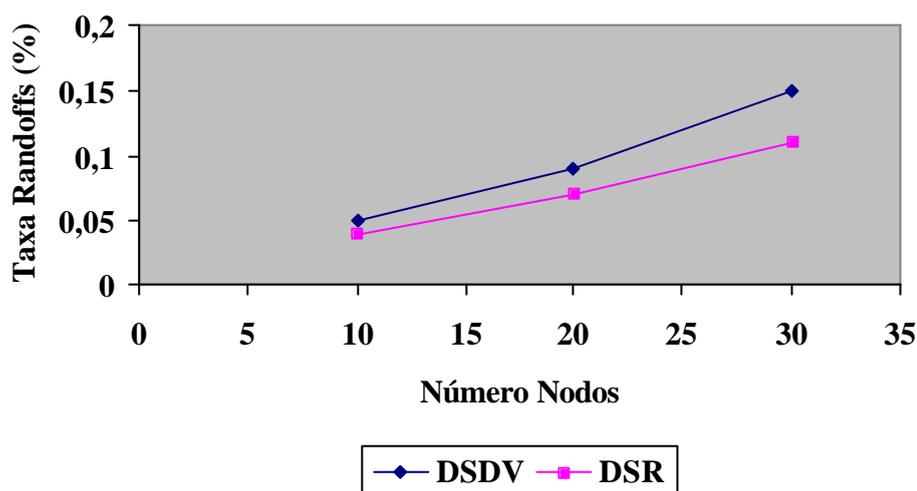


Gráfico 20. Taxa média de Handoffs x Protocolo Roteamento.

Os protocolos DSR e DSDV, apresentam um desempenho relativo ao *handoff* semelhante para um número de nodos igual a 10.

No entanto ao aumentarmos o número de nodos, a diferença tende a crescer cada vez mais, apresentando o DSR um melhor desempenho.

5.4. Conclusões do Capítulo

Este Capítulo apresentou o cenário para o desenvolvimento das simulações, bem como a análise dos resultados para o desenvolvimento do SLA.

Primeiramente foi abordada a técnica de avaliação de desempenho de sistemas denominada *Simulação*. Na seqüência apresentaram-se alguns tipos de simulações, bem como suas vantagens e desvantagens.

Foi descrito o simulador, utilizado para execução do trabalho, denominado *Network Simulator - NS 2*, bem como os arquivos utilizados pelo NS e os arquivos utilizados para análise dos dados gerados pelo simulador.

Descreveram-se as configurações do ambiente de simulação, abordando alguns parâmetros fixos e variáveis.

Por fim, apresentaram-se os resultados das simulações e análises realizadas sobre os parâmetros variáveis, demonstrando os diferentes comportamentos (perfis) de uma rede *wireless ad-hoc*, onde constatou-se o que a literatura já descrevia, a baixa confiabilidade e largura de banda e as altas taxas de latência e erros, devido principalmente a mobilidade nos nós.

Os comentários e descrições das particularidades, dos pontos importantes, das sutilezas percebidas foram agrupados pelos principais tópicos que envolvem qualidade de serviços, sendo eles vazão, latência, *jitter* e taxa de perdas.

Na seqüência, no Capítulo 6, é realizada com base nos resultados obtidos neste Capítulo, a elaboração de um acordo pró-ativo de níveis de serviços.

6. ACORDO PRÓ-ATIVO DE NÍVEIS DE SERVIÇO

Uma vez realizados os experimentos no ambiente de rede sem fio *ad-hoc* e analisados os seus resultados, segundo o apresentado na seção 5.3.3, tem-se agora os valores médios e o desvio padrão de cada uma das métricas de QoS para a elaboração de um SLA, o qual terá como característica principal o fato de ser pró-ativo, possibilitando que ao detectarem-se condições inadequadas, ações sejam tomadas a fim de evitar a quebra de alguma métrica no acordo.

Para isso, rotinas deverão prever com base em limiares mínimos estabelecidos para cada métrica de QoS, esta possibilidade de uma possível quebra de contrato e sugerir alguma forma/ação de correção a fim de realmente evitar a quebra.

Sendo assim, o SLA pró-ativo é permitir que sejam executadas ações com o objetivo de tentar-se reverter quedas nos níveis de QoS ou, caso isso seja impossível, minimizar os prejuízos para os usuários.

Observe que não é o escopo deste trabalho realizar o desenvolvimento de um *framework* para gerência pró-ativa, e sim, descrever as ações a serem tomadas, até mesmo por um *framework*, para garantir os níveis de serviços contratados.

6.1. Gerência de Desempenho

A garantia de QoS está diretamente relacionada ao gerenciamento de desempenho, que é uma das cinco áreas funcionais de gerência. O correto gerenciamento do desempenho viabiliza ao administrador ou operador da rede gerenciá-la de forma a prover níveis diferenciados de QoS ou, pelo menos, descobrir que não está sendo possível atingi-los. O gerenciamento de desempenho também traz vantagem financeira, uma vez que, quanto maior for a capacidade de medir, analisar e garantir certos níveis de QoS; acordos de níveis de serviço mais estritos poderão ser negociados, gerando maior receita.

O gerenciamento de desempenho deve prover funções para medir, monitorar, avaliar e gerar informações sobre os níveis de desempenho alcançados pela rede. Essas informações devem ser utilizadas principalmente com duas finalidades. A primeira é a geração de estatísticas periódicas que venham a ajudar no planejamento de capacidade da rede, enquanto que a segunda é indicar a ocorrência de desrespeitos aos níveis de QoS

desejados. Nesse último caso, controles dos recursos da rede e/ou das aplicações devem ser acionados com o objetivo de melhorar a QoS que está sendo prestada aos usuários. Exemplos desses controles podem ser alterações de roteamento, realocação de *buffers*, adaptação dos tráfegos, entre outras.

As aplicações de gerenciamento atuais concentram-se basicamente na divulgação do estado da rede em vez de localizar e desencadear ações para que problemas de desempenho sejam resolvidos [BAS03].

Pode-se dizer que o trabalho do gerenciamento de desempenho resume-se então, na monitoração e no controle mediante ações de parâmetros de QoS.

6.2. Gerência Pró-Ativa

A garantia de níveis de serviço específicos depende fundamentalmente da presença de um mecanismo de gerenciamento preciso, eficiente e rápido. O gerenciamento de desempenho, em particular, é de vital importância, pois é ele quem deve monitorar a situação da rede no que diz respeito ao desempenho dos serviços que estão sendo prestados e indicar quando e porque os níveis desejados de qualidade não estão sendo alcançados. É desejável ainda que o gerenciamento, particularmente de desempenho, seja pró-ativo, de forma que ações sejam desencadeadas antecipadamente, com o objetivo de tentar-se evitar ou, pelo menos, minimizar-se as conseqüências das falhas ou degradações que venham a ocorrer nos serviços que estão sendo prestados aos usuários.

Detectadas as tendências de queda no desempenho, ações são desencadeadas para que seja tentada a reversão dessa tendência ou, caso isso seja impossível, pelo menos a redução das conseqüências para o usuário.

O gerenciamento de desempenho pró-ativo, monitora a tendência de comportamento desse parâmetro através de sua variação e estima, mediante extrapolação, que a ultrapassagem do seu limite máximo, e a conseqüente falha de QoS, ocorrerá em determinado instante, caso aquela tendência se mantenha. Ações podem então ser desencadeadas automaticamente, via agentes móveis, aplicações ativas ou outros meios, para que seja pelo menos tentada a reversão da tendência que foi detectada. Um exemplo dessas ações poderia ser a alteração de uma ou mais rotas em uma rede, alteração do tipo de protocolo de roteamento, entre outros.

As ações desencadeadas pelo gerenciamento de desempenho podem não ser suficientes para que seja evitada uma falha de QoS. Nesse caso, ações podem ser desencadeadas junto aos usuários dos serviços de comunicações, ou seja, as aplicações, para que as adaptações cabíveis possam ser realizadas de forma a, pelo menos, tentar-se evitar a queda na QoS percebida pelo usuário. Nesse caso, como as adaptações certamente reduzirão os níveis de QoS exigidos, pode ser possível até que a falha de QoS prevista não venha a acontecer e que o prejuízo para quem assiste a um vídeo, por exemplo, se limite apenas à mudança de resolução espacial do mesmo.

Sendo assim, com o intuito de obter-se uma gerência pró-ativa, algumas atividades devem ser realizadas, dentre elas:

- **Monitoração dos parâmetros:** é realizada continuamente, com frequência configurável para cada parâmetro, para detectar as tendências de variação dos mesmos. É realizado por algum mecanismo (ferramenta) de gerenciamento.
- **Comunicação:** é causada pela detecção, através da monitoração, de uma tendência de que venha a ocorrer uma falha de QoS. As condições para que uma tendência seja caracterizada também são configuráveis, podendo ter como base um SLA estabelecido.
- **Ação automática ou manual junto aos elementos gerenciados:** ligada diretamente a Comunicação, onde deve-se tomar alguma medida afim de evitar-se a degradação do serviço contratado.

6.3. SLA Pró-Ativo

Em redes tradicionais, cabeadas, manter as métricas de QoS estipuladas no SLA, é uma tarefa mais simples e fácil do que em uma rede *wireless ad-hoc*, principalmente por esta última sofrer influência de fatores como mobilidade, altas taxas de erros, limitação de banda e consumo de energia.

Sendo assim, pode-se perceber que mesmo tendo-se traçado o perfil de um ambiente sem fio (Capítulo 5) com as características neste trabalho definidas, não pode-se afirmar que a rede aqui simulada, muito menos uma outra rede que apresente características semelhantes a esta, irão comportar-se sempre da mesma maneira. Isto

deve-se aos fatores anteriormente relacionados, como por exemplo, a mobilidade dos *hosts*, que em um determinado momento pode estar maior ou menor; e aliado a esta variação da mobilidade, temos consequência na taxa de perda de pacotes, a qual influência diretamente as demais métricas de QoS.

Assim sendo, uma alternativa a solução deste problema é realizarmos um SLA pró-ativo, o qual antecipa-se a uma possível degradação do serviço, por meio de um valor mínimo, intitulado de valor de alerta ou simplesmente QoSmin.

Para esta pró-atividade, propõem-se duas ações, as quais seriam disparadas ao atingir-se o QoSmin. A primeira seria o disparo de uma ação, a qual é responsável pela reorganização da rede. Caso esta ação não permita solucionar a possível degradação da rede, uma segunda ação é tomada, onde ocorre a renegociação do acordo com um servidor de SLAs. Observe que a segunda ação só deverá ser tomada, caso a ação de Reorganização da Rede, não obtiver resultado, ou em casos excepcionais em que o nível de serviço exigido em um determinado momento for além do contratado, como por exemplo, uma vídeo conferência.

A ação de Reorganização da Rede utiliza como base o trabalho desenvolvido por [CHI03], onde é proposta uma arquitetura adaptativa para gerenciamento de níveis de serviço em redes *wireless ad-hoc* denominada Guerilla, além dos trabalhos realizados por [RAN02, HOO98, KAL97, GOL95]. A ação de Renegociação do SLA utiliza como base trabalhos como [DAV03, FOS99, HAF96a, HAF96b, OGU98, RAS03].

Outras soluções à pró-atividade, poderiam ser tomadas, como a geração de alarmes (exemplo, as *traps* do SNMP) que, por sua vez, deverão desencadear, normalmente apenas sinalizações por parte de uma aplicação de gerenciamento ao administrador da rede, modificações das rotas, filas e protocolos de roteamento.

6.3.1. Arquitetura das Ações Propostas

Esta proposta de *framework* é uma junção das arquiteturas propostas por [CHI03, FOS99 e RAS03]. Utilizaram-se as partes mais importantes, no contexto deste trabalho, adaptando-as as necessidades aqui encontradas.

O gerenciamento de desempenho é, tradicionalmente, realizado através da monitoração dos valores momentâneos dos parâmetros de controle, em relação aos

limites mínimos e/ou máximos das suas faixas de valores toleráveis, descritos/estabelecidos no SLA.

Uma vez que o Supervisor detecte situações que exijam ações ou mesmo análises mais especializadas, agentes especialistas podem ser empregados. Esses agentes são *softwares* autônomos, com funções bem definidas.

Os agentes serão enviados pelo Supervisor ou pelo Gerente ao elemento gerenciado em questão ou a outros elementos com um objetivo de realizar algumas dessas ações: Reorganização da Rede ou Renegociação do SLA.

O Diagrama 3, demonstra a estrutura do *framework*:

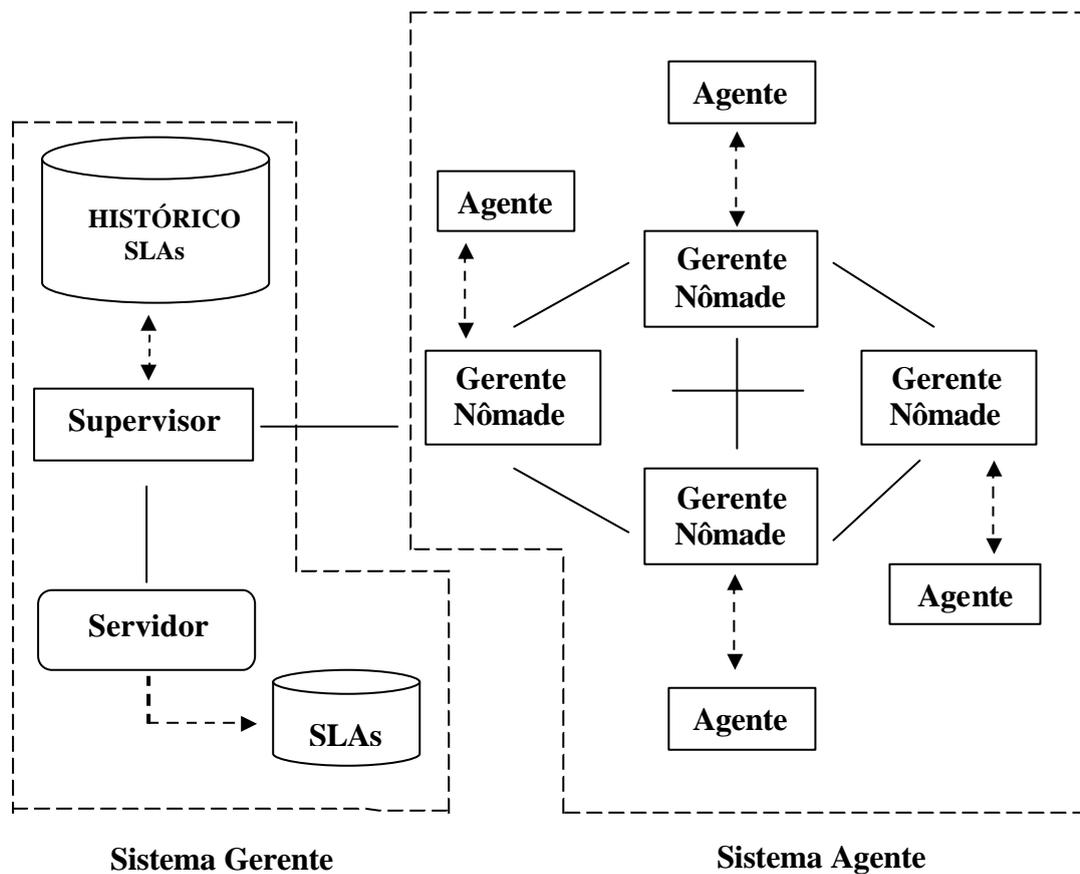


Diagrama 3 . Estrutura Geral do Framework.

6.3.1.1. Sistema Agente

Esta etapa da arquitetura baseou-se basicamente no trabalho desenvolvido por [CHI03], onde é proposta uma arquitetura adaptativa para gerenciamento de níveis de serviços em redes *wireless ad-hoc* denominada Guerilla.

A auto-organização e gerência, dá-se com a colaboração dos nodos nômades. O Supervisor elege os Gerentes Nômades - GNs no Sistema Agente, regulando e distribuindo *policies* de gerenciamento entre eles.

O Sistema Agente é então composto por agentes, onde alguns desses são nomeados Gerentes Nômades, adaptando o ambiente local e tornando a rede dinâmica. Assim, os Gerentes Nômades, representam um conjunto de agentes dinâmicos que colaboram no gerenciamento.

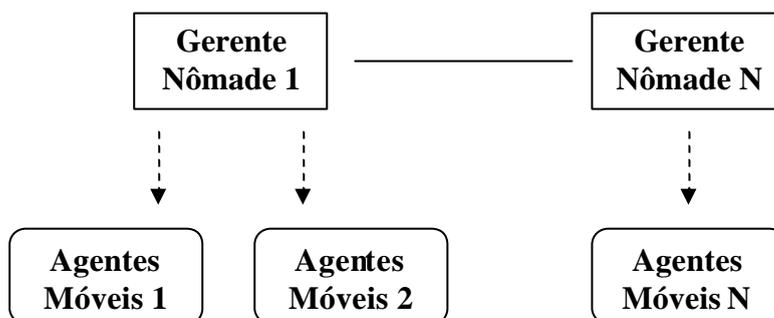


Diagrama 4. Estrutura Sistema Agente.

Este Sistema Agente é bastante heterogêneo, sendo composto por diferentes níveis de agentes: Agente Nível 1, Agente Nível 2 e Agente Nível 3. A classificação dos agentes dá-se de acordo com seu poder de processamento e nível de energia (por tratar-se de redes *wireless*).

- **Agente Nível 1:**

São nodos que desempenham um papel de menor capacidade de gerenciamento, executando apenas um agente SNMP, para facilitar o acesso remoto às informações de gerenciamento local.

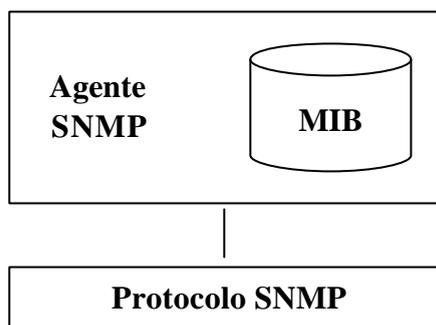


Diagrama 5. Agente Nível 1 [CHI03].

- **Agente Nível 2:**

São nodos que possuem além do agente SNMP, um módulo de processamento *probe*. Este módulo é um ambiente de execução, capaz de executar *active-probes*, as quais possibilitam que as *probes* não só examinem informações nos agentes SNMP locais (MIB), mas também em agentes SNMP remotos.

Active-probes são *scripts* programáveis bastante compactos. Elas encapsulam de maneira “leve” o gerenciamento inteligente, nomeando tarefas localmente ou coletando informações locais para seus gerentes.

Existem dois tipos de *probes*: a de Monitoração e a de Especificação de Tarefas. A primeira obtém informações a respeito da rede, enviando *probes* para monitoração dos nodos vizinhos. Esta *probe* pode ser criada para cobrir a área especificada pelo GN e coletar e propagar informações da rede local para o seu gerente. O segundo tipo de *probe*, coleta informações específicas das aplicações ou executa operações específicas, como QoS.

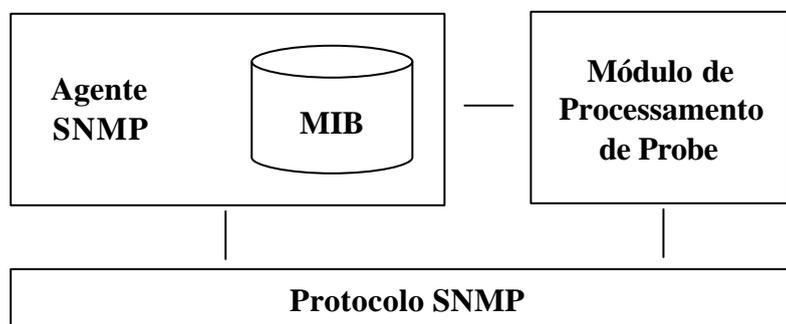


Diagrama 6. Agente Nível 2 [CHI03].

- **Agente Nível 3:**

São nodos com altos níveis de energia e poder de processamento. Estes são os Gerentes Nômades, os quais executam o módulo adicional de gerenciamento nômade.

Os GNs mantêm administração inteligente, colaborando com outros GNs e repassando as informações ao Supervisor. Possuem uma GMIB, a qual contém informações das MIBs dos agentes ou de outros GNs em seu domínio, as repassando ao Supervisor.

Eles também são capazes de disseminar *active-probes* a outros nodos e migrar ou gerar outros GNs em seu domínio, de acordo com a dinâmica da rede.

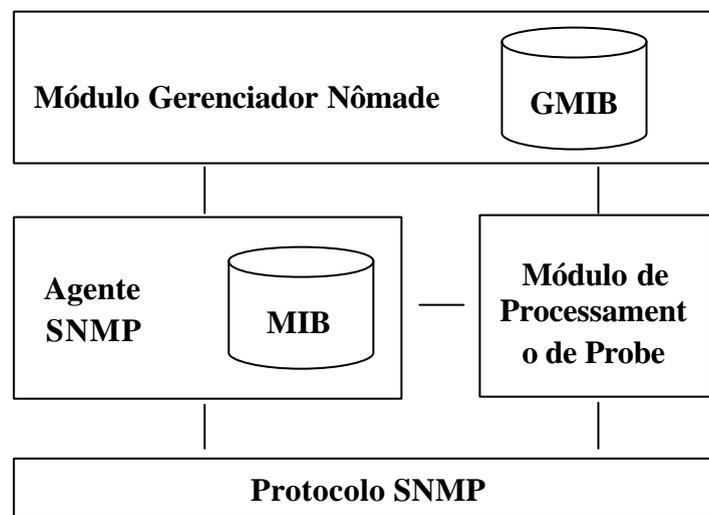


Diagrama 7. Agente Nível 3 [CHI03].

O Diagrama abaixo demonstra um exemplo de reorganização da rede. Na etapa 2, o Gerente Nômade ao detectar o crescimento da rede, a sub-divide em três segmentos, etapa 3, elegendo novos GNs.

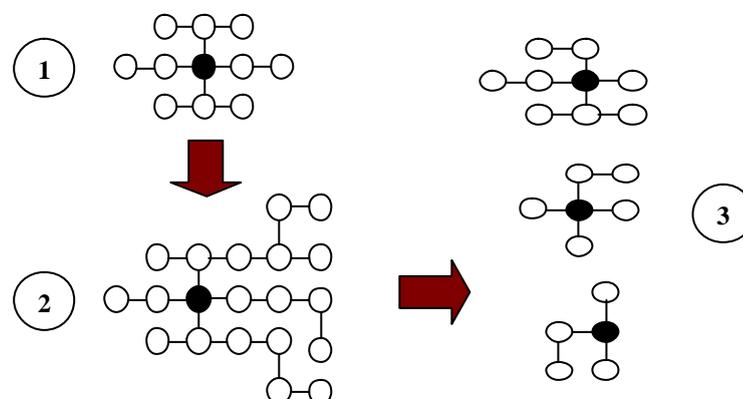


Diagrama 8. Reorganização da Rede [CHI03].

6.3.1.2. Sistema Gerente

Esta parte da arquitetura baseou-se basicamente nos trabalhos desenvolvidos por [FOS99 e RAS03]. Em [FOS99], é proposto um *framework* para QoS usando *Grids*, o qual possibilita a reserva e alocação de recursos. [RAS03] propõe uma adaptação ao trabalho desenvolvido por [FOS99].

Além de ser o responsável pela eleição dos Gerentes Nômades e coordenação do Sistema Agente, o Sistema Gerente/Supervisor trata do armazenamento de informações e da disponibilização de dados para a missão de relatórios referentes ao gerenciamento. As informações são recebidas do Sistema Agente e assim o operador ou administrador, pode “interagir” com o sistema. Além disso, ele ainda é o responsável pela Renegociação do SLA. Esta renegociação do acordo dá-se com um servidor de SLAs, o qual possibilite fornecer o contrato requerido.

Convém salientar que a ação de renegociação do SLA só deverá ser tomada, caso a ação de Reorganização da Rede, não obtenha resultado, ou em casos excepcionais em que o nível de serviço exigido em um determinado momento for além do contratado, como por exemplo, uma vídeo conferência.

O Supervisor utiliza para a Renegociação do SLA, um algoritmo de adaptação de QoS, proposto por [RAS03]. Este algoritmo permite o ajuste dinâmico de comportamento de uma aplicação baseado em mudanças em um SLA pré-definido.

Isto é particularmente útil se a carga de trabalho ou tráfego na rede apresentar uma variação de comportamento acentuada (vídeo conferência). Com isso o esquema de adaptação de QoS proposto é usado para compensar a degradação de QoS e otimizar a utilização dos recursos, fazendo uso de um servidor de SLAs, para a renegociação de contratos.

Caso a rede apresente degradação em uma de suas métricas de QoS, os Gerentes Nômades, notificam o Supervisor o qual realizará a renegociação do acordo considerando outra configuração em uma “lista de ofertas” em um ou mais servidores, como mostrado no Diagrama abaixo.

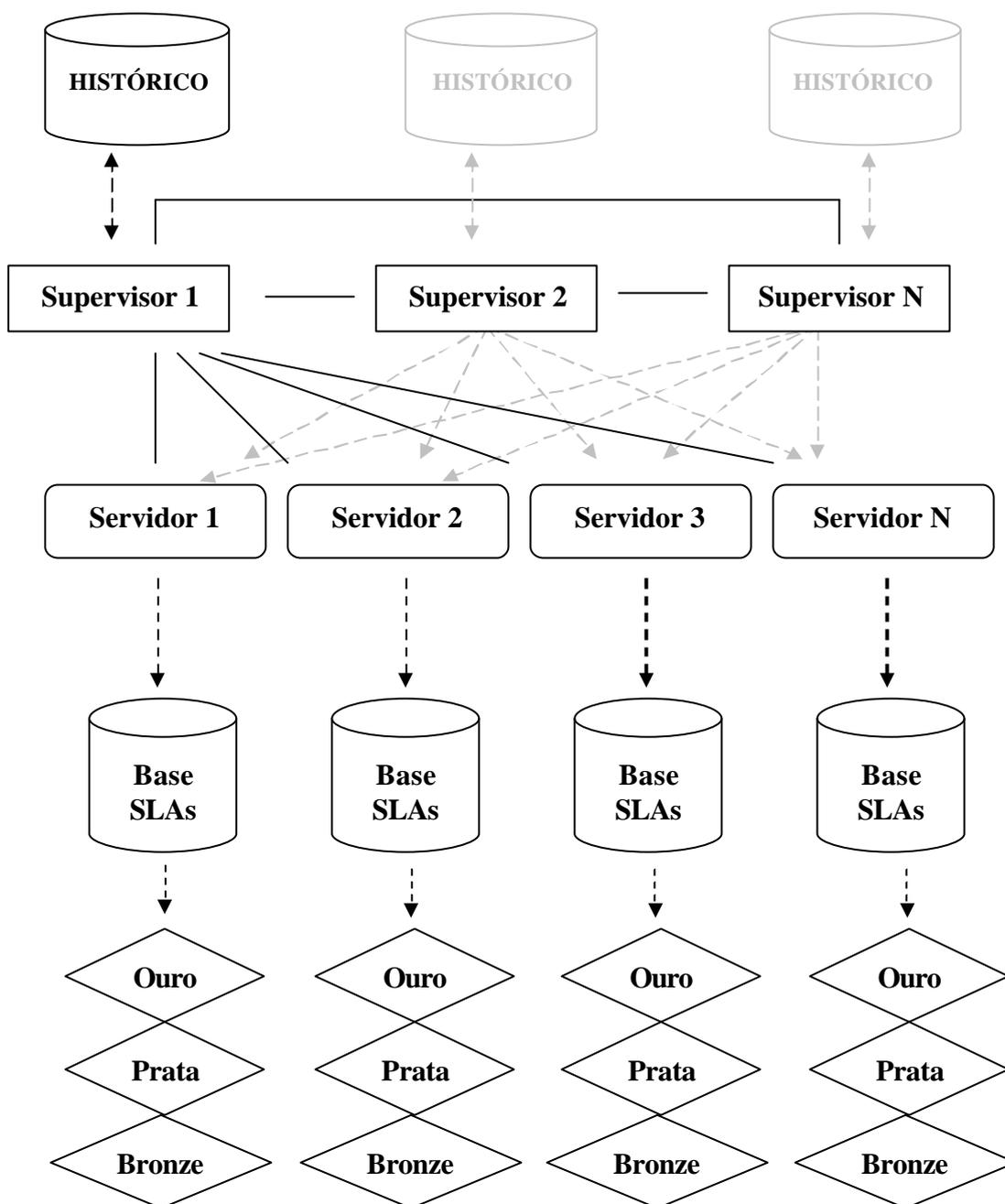


Diagrama 9. Estrutura Sistema Gerência.

Os agentes realizam a coleta, análise e cálculo dos dados e as repassam ao Gerente Nômade. Este realiza a monitoração e comparação dos parâmetros. A monitoração consiste na obtenção periódica dos valores de momento dos parâmetros que foram determinados para que o seu desempenho seja gerenciado. Os parâmetros de controle que

são monitorados têm seus valores obtidos através do acesso as MIBs diretamente via SNMP.

O módulo de comparação é responsável pela comparação dos valores dos dados anteriormente obtidos e calculados com aqueles previamente estipulados no SLA. Ou seja, realiza análises e extrapolações, a partir de informações sobre tendências de comportamento do desempenho obtidas pelo módulo anterior. Posteriormente, analisa-as e realiza um cálculo de extrapolação com o objetivo de determinar quando a variação em questão poderá causar uma falha de QoS, ou seja, quando um limite máximo ou mínimo para aquele parâmetro, definido no contrato em questão será ultrapassado. Em fim, decidir de acordo com a análise e as extrapolações realizadas, se é necessário gerar um alarme de tendência para o administrador e realizar o envio de agentes e para quais elementos gerenciados os mesmos devem ser enviados.

Por fim, o Gerente Nômade, em caso de uma possível degradação de serviço, repassa a notificação ao Supervisor, que vai determinar que ação deve ser tomada.

Caso haja uma possibilidade de degradação do serviço contratado, o Sistema Gerente, além de realizar uma notificação ao administrador (alerta, como por exemplo, uma *trap* SNMP), renegociará o acordo atualmente contratado com algum servidor de SLA, a fim de manter os níveis contratados, Diagrama 10.

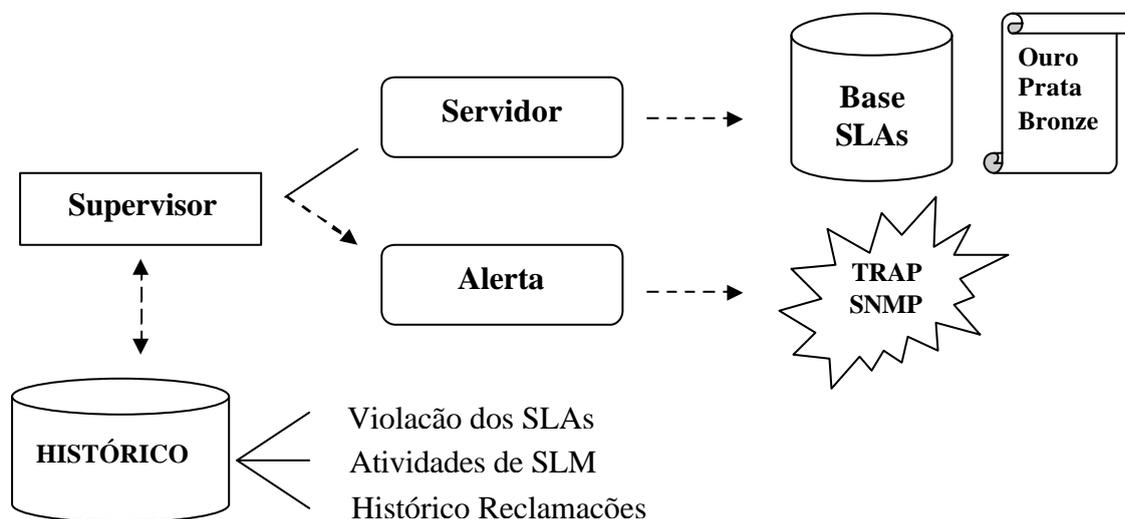


Diagrama 10 . Estrutura Supervisor.

A ação a ser realizada pode exigir que o Especialista (agente responsável por desempenhar uma ação) seja um agente móvel, com mobilidade fraca ou forte, ou ainda que seja simplesmente enviado e executado, deixando de existir após o envio de relatório sobre a ação, sem as características de um agente móvel.

Os objetivos do Especialista são:

- Desencadear as ações comandadas pelo Gerente: O Especialista é enviado a um elemento gerenciado via infra-estrutura de mobilidade e deve ser imediatamente instanciado para executar a ação para a qual foi projetado.
- Enviar relatório das ações realizadas ao Gerente: Toda ação realizada por um Especialista gera o envio de uma comunicação ao Gerente relatando o resultado da mesma. No caso do Especialista ser um agente móvel, a comunicação pode se dar apenas ao final do caminho percorrido pelo mesmo, caso a ação assim o exija, ou, em caso contrário, ao final de cada ação realizada. Após envio do relatório, ao Gerente, o Especialista pode migrar ou encerrar-se.

A arquitetura ainda adota um modelo de serviço que classifica a entrega dos SLAs (presentes nas bases dos Servidores) em três classes distintas: (1) Ouro, (2) Prata e (3) Bronze. O primeiro provê QoS baseado em parâmetros previamente definidos e acordados. Neste tipo de serviço, parâmetros de QoS são obrigados a serem cumpridos pelo provedor de serviço de acordo com o SLA. No segundo, os usuários declaram as exigências de QoS baseado em uma variedade de parâmetros; o provedor de serviço deve agora ser capaz de oferecer QoS dentro da variação especificada. No terceiro, não há nenhum SLA associado com o pedido de serviço; assim qualquer nível devolvido ao cliente/aplicação é considerado satisfatório.

Pode-se observar, que o Supervisor, além de ter acesso as bases de dados dos Servidores, as quais contém “ofertas” de SLAs, possui acesso também a uma outra base de informações, sendo esta diretamente a ele associada. Nesta base o supervisor possui diversas informações, referentes aos SLAs por ele adotado, como por exemplo, Violações dos SLAs, Atividades de SLM e Histórico de “Reclamações”.

O Sistema de Gerência, além dos Supervisores, dos Servidores e das bases de dados, ainda é composto por três outros componentes [RAS03]: Uma aplicação Gerente

de QoS (AQoS) para cada aplicação, um Gerente de Recursos *Middleware* (RM), e um Gerente de Recursos de Rede (NRM).

O AQoS é responsável pela interação entre RM, NRM e outros AQoS vizinhos. Fazem também parte de sua função a negociação de SLAs com clientes e comunicar os parâmetros associados com um SLA ao correspondente gerente de recurso. O AQoS é responsável por assegurar a conformidade do SLA e recursos alocados, e provê apoio a adaptação de parâmetro quando uma violação de SLA é detectada. O RM existe dentro de um determinado domínio administrativo, o qual contém um conjunto de serviços em cima dos quais o RM tem administração e controle de configuração. Por fim, o NRM é um *Bandwidth Broker* (BB), e administra parâmetros de QoS dentro de um determinado domínio baseado nos SLAs especificados para aquele domínio. O NRM também é responsável por administrar comunicação entre domínios, com NRMs vizinhos. O NRM pode comunicar-se com ferramentas de monitoração para determinar o estado da rede e sua configuração atual.

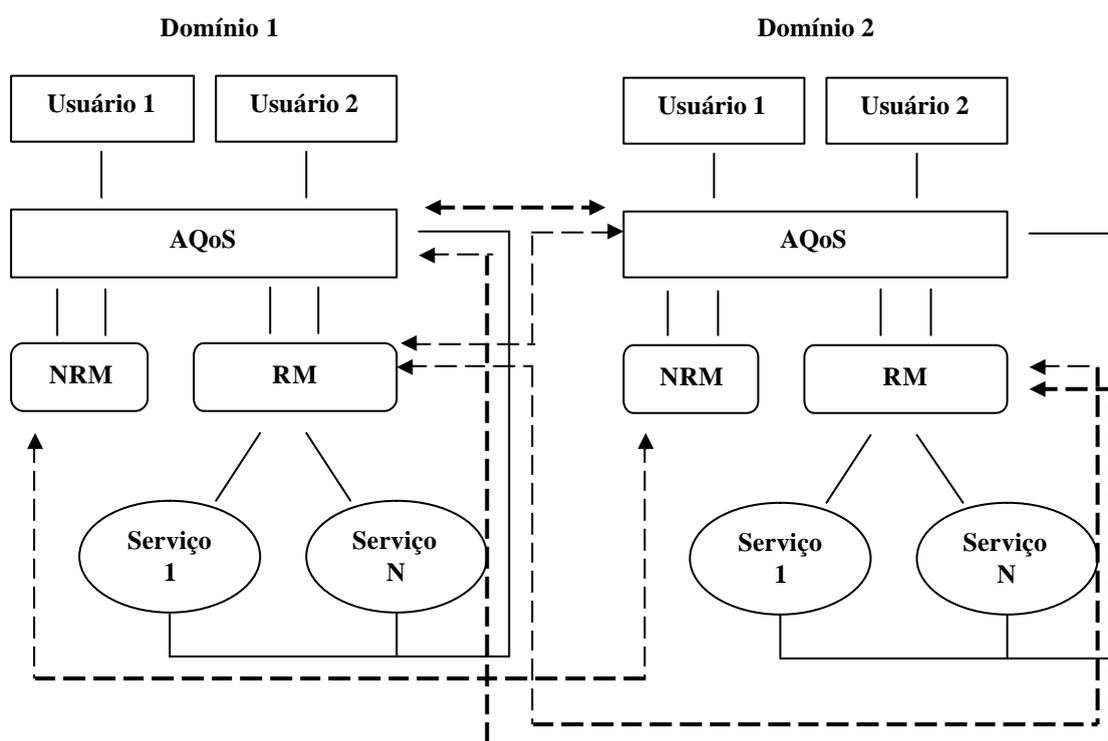


Diagrama 11. Estrutura de Negociação do Sistema de Gerência [RAS03].

A interação entre os vários componentes do sistema é codificada através de mensagens XML. Um cliente contacta o AQoS com suas informações de serviços e exigências de QoS.

As requisições de QoS em questão são analisadas pelo AQoS, o qual contacta o NRM correspondente ao domínio, que verifica a disponibilidade de recursos, com os níveis de QoS exigidos.

Caso seja possível fornecer a QoS requerida, o AQoS e o cliente entram subsequentemente em uma fase de negociação a fim de estabelecer o SLA.

Caso não seja possível fornecer os níveis de QoS requeridos, o NRM contacta outros NRMs de domínios vizinhos a fim de localizar algum Gerente de Recursos de Rede que possa fornecer a QoS. Localizando este NRM, o AQoS é notificado, partindo para a fase de estabelecimento de contato entre os AQoS.

Uma vez alocados os recursos, inicia-se a fase de gerenciamento de QoS. Nesta fase, o AQoS requer e monitora as informações de estado sobre os recursos alocados para assegurar a conformidade do SLA, e se necessário, utiliza técnicas de adaptação para uma possível violação de SLA.

6.3.1.2.1. Gerenciamento do SLA

Esta fase consiste em três fases principais: o Estabelecimento, a Realização e a Liberação. Durante a fase de Estabelecimento, um cliente declara a especificação de QoS e o AQoS descobre/mapeia se possui recursos suficientes. Se possuir estabelece a negociação, reserva de recursos e contabilização. A fase Realização realiza atividades como monitorar, adaptar e possivelmente re-negociar o QoS. A última fase, Liberação, é quando a sessão de QoS é terminada, devido a fatores como vencimento de reserva de recurso, violação de SLA ou a correção/renegociação do acordo.

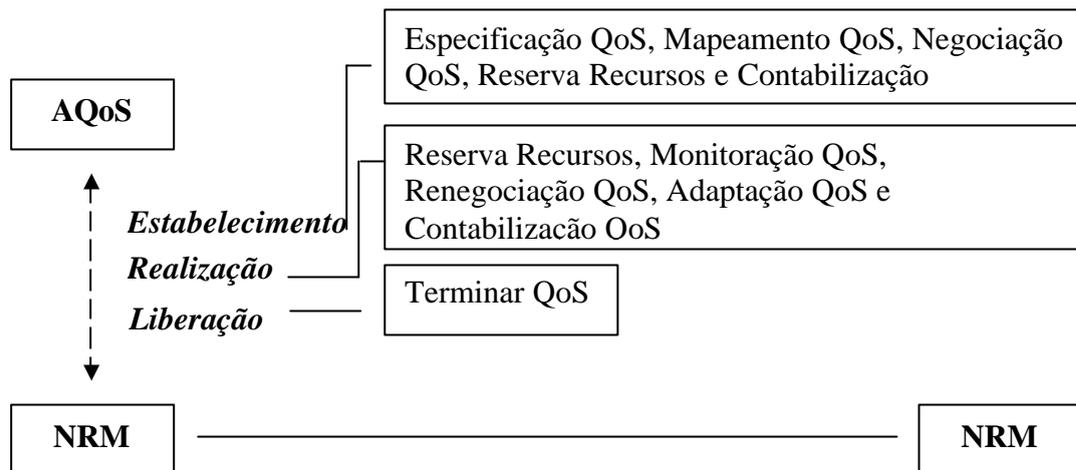


Diagrama 12 . Fases do Gerenciamento do SLA.

Durante a fase de Estabelecimento do SLA, mais especificamente na descrição do SLA, pode-se fazer uso da linguagem Gira, definida em [DAV03], a qual é baseada na linguagem XML. É nesta fase que define-se o tipo de SLA a ser contratado, de acordo com a classificação: Ouro, Prata e Bronze.

Os recursos estão temporariamente reservados durante a fase de Mapeamento, até o cliente e o AQoS concluírem um SLA. Uma vez que o SLA proposto é aprovado pelo cliente/aplicação, o AQoS estabelece um SLA final, documentando e salvando isto no repositório de SLAs para subsequente referência.

A monitoração do QoS provê informação sobre recursos, tal como, disponibilidade de recurso e utilização, sendo usado para propósitos de adaptação, uma exigência essencial para conformidade e verificação do SLA.

6.4. Elaboração do SLA

Como visto no Capítulo 3, um SLA inclui vários itens, como a descrição e a abrangência do acordo, as responsabilidades durante a prestação do serviço e o detalhamento dos seus indicadores de qualidade. Para o detalhamento dos indicadores de qualidade, o SLA faz referência a um outro documento denominado caderno de métricas, o qual é a parte técnica do acordo, onde os indicadores são relacionados, descritos e

definidos quantitativamente. No caderno de métricas definem-se também as metas de qualidades, especificando-se limiares para os indicadores.

Para o provedor do serviço também é importante registrar no caderno de métricas as regras relacionadas aos indicadores. Estas regras podem ser definidas como ações que devem ser tomadas a fim de evitar a degradação do serviço, ou seja, possibilitar a atuação pró-ativa.

6.4.1. Intervalo de QoS

Tendo em vista a grande flutuação verificada na disponibilidade de recursos nos enlaces sem fio, pode-se empregar o conceito de intervalos de QoS [QoSmin, QoSmed].

O valor **QoSmed** corresponderia a qualidade desejada, ou seja, aquela contratada pelo usuário, enquanto **QoSmin** corresponderia a qualidade mínima tolerada, calculada através do intervalo de confiança, utilizada para detectar a possibilidade de uma tendência de violação/degradação do serviço contratado. Esta ao ser detectada deverá desencadear as ações descritas na seção 6.3.

6.5. Conclusões do Capítulo

Este Capítulo realizou a elaboração de um acordo pró-ativo de níveis de serviços. Foram descritos ao longo do Capítulo a gerência de desempenho e a gerência pró-ativa. Na seqüência propôs-se um SLA pró-ativo, a fim de evitar a degradação de um serviço.

Para esta pró-atividade, foram propostas duas ações, as quais seriam disparadas ao atingir-se o QoSmin. A primeira seria o disparo de uma ação, responsável pela reorganização da rede. Caso esta ação não permitisse solucionar a possível degradação da rede, uma segunda ação seria tomada, onde ocorreria a renegociação do acordo com um servidor de SLAs. Observe que a segunda ação só deveria ser tomada, caso a ação de Reorganização da Rede, não obtivesse resultado, ou em casos excepcionais em que o nível de serviço exigido em um determinado momento fosse além do contratado, como por exemplo, uma vídeo conferência.

Na seqüência, o Capítulo 7 realiza uma discussão do trabalho realizado, bem como são apresentadas as conclusões, dificuldades encontradas para o desenvolvimento do trabalho e perspectivas futuras.

7. CONCLUSÕES

As redes sem fio *ad-hoc* são a principal tendência dentro da computação móvel e tem diversas aplicações, fundamentalmente em situações onde não existe uma infra-estrutura de rede fixa ou a sua implementação não é viável.

A inserção de redes sem fio junto ao mercado reside basicamente em três fatores: segurança, pois o meio de transmissão, por ser de domínio público, não é considerado confiável; custo, ainda bastante elevado; e vazão, considerada baixa para as atuais aplicações multimídia sensíveis a tempo.

Em um mercado competitivo como a área de telecomunicações, os provedores de serviço precisam cada vez mais satisfazer seus clientes, oferecendo serviços com alta qualidade, sem interrupções, com preços competitivos e com diferenciais que sejam capazes de manter seus clientes atuais satisfeitos, além de conquistar novos clientes. Um destes diferenciais tem sido justamente a gerência de nível de serviço onde o cliente é capaz de verificar a infra-estrutura de comunicação fornecida verificando possíveis violações no contrato com o provedor de serviços.

Com a evolução das tecnologias apareceram determinados tipos de negócios para os quais estes SLAs são fundamentais, como por exemplo, todos aqueles negócios baseados na “Internet” que correm graves riscos de viabilidade caso não seja assegurado determinado nível de serviço (disponibilidade, largura de banda, atraso, etc.)

Quando claramente definidos e compreendidos, os *SLAs* serão ferramentas de gerência poderosas para seus usuários. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo obter informações de desempenho nas redes sem fio *ad-hoc* e analisar estas informações a fim de moldar as métricas de qualidade de serviço, que compõem os SLAs, providos sobre estas redes, garantindo assim o seu melhor funcionamento.

Através de simulações de uma rede *ad-hoc*, utilizando-se o *NS 2*, coletaram-se os valores correspondentes a diferentes métricas de QoS, para analisar como está se comportando o tráfego, assim como os possíveis erros e problemas que podem estar acontecendo no ambiente. Foram simuladas as quatro métricas básicas de QoS: Latência, *Jitter*, Vazão e Perda de Pacotes. Para cada uma destas métricas, variaram-se parâmetros com tipo de fila (FIFO, SFQ, DRR e RED), protocolo de roteamento (DSR e DSDV), número de nodos (5, 10 e 20) e tamanho de pacotes (64 e 250 *bytes*).

7.1. Filas

7.1.1. Vazão

O comportamento dos diversos algoritmos, com exceção a FIFO, frente à variação dos parâmetros tamanho do pacote e número de nodos foram muito semelhantes.

Houveram poucos casos em que ocorrem desvios muito acentuados de comportamento. No caso da métrica vazão com tamanho de pacotes de 64 *bytes* e 250 *bytes*, o algoritmo FIFO, apresentou o pior comportamento, seguido por RED, SFQ e DRR.

Para pacotes de 64 *bytes*, teve-se um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não foi tão acentuada assim.

Os pacotes de 250 *bytes*, também apresentaram um crescimento da linha do desempenho, no mesmo momento dos pacotes de 64 *bytes*, porém de maneira menos acentuada.

7.1.2. Atraso/Latência

Para analisar o atraso, a consideração dos parâmetros de entrada é essencial, pois os algoritmos comportam-se muito em função destes parâmetros.

Em termos gerais, para um enlace não carregado, os algoritmos comportaram-se semelhantemente. Na medida em que o tráfego aumentou, as diferenças mostraram-se mais acentuadas.

O pior desempenho foi o da disciplina DRR, seguido pela FIFO, RED e SFQ. Para pacotes de tamanho igual a 64 *bytes* todas as disciplinas apresentaram um desempenho semelhante. Porém ao aumentar-se o tamanho dos pacotes para 250 *bytes*, apenas as disciplinas RED e SFQ permaneceram com um desempenho semelhante.

Notou-se que o DRR degradou-se acentuadamente com o aumento no tamanho do pacote, agregado à vazão de entrada. Este aumento do tamanho do pacote afetou diretamente o atraso, ou seja, quanto maior a taxa de chegada de pacotes grandes, maior passou a ser a latência.

Seguindo a tendência da vazão, os pacotes de 64 *bytes*, tiveram um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao

variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não foi tão acentuada assim. Os pacotes de 250 *bytes* seguiram a mesma tendência dos de 64 *bytes*, diferindo-se do ocorrido com a vazão.

7.1.3. Jitter

De modo geral, quando o enlace caminha para o estrangulamento, variando apenas um dos parâmetros (tamanho pacote e/ou número nodos), os algoritmos ainda conseguem manter certa estabilidade. Porém, aumentando-se os dois, os algoritmos tendem a modificar seu comportamento para os casos em que degradam, cada um a sua maneira.

Para pacotes de tamanho igual a 64 *bytes*, o algoritmo FIFO, ficou com os melhores resultados, seguido do RED, SFQ e DRR. Já pra pacotes de tamanho igual a 250 *bytes*, o algoritmo FIFO, continuou com o melhor desempenho, porém com uma troca de posição, em relação ao desempenho, entre o RED e SFQ, apresentando este último um melhor desempenho. Por fim o DRR continuou com o pior desempenho entre os algoritmos.

Analisando os dados, verificou-se que a variação do tamanho do pacote, seguindo a tendência do atraso, afetou diretamente o *jitter*. Sendo assim, observou-se que o *jitter* é uma condição totalmente dependente da situação da fila em cada momento, não somente em termos de pacotes enfileirados, mas também dos perfis destes pacotes, ou seja, se maiores ou menores. No esquema FIFO, o processo de descarte de pacotes não influenciou diretamente no *jitter*, pois os pacotes não chegam a entrar na fila [HOR02].

A linha do desempenho na métrica *jitter* apresentou um crescimento uniforme, ou seja, o mesmo crescimento ao variar-se o número de nodos, diferindo-se assim das métricas vazão e atraso.

7.1.4. Perda de Pacotes

Devido à movimentação constante e principalmente devido ao fato da possibilidade de um grande afastamento entre os nós, é comum que os pacotes comecem a ser perdidos.

O algoritmo DRR apresentou o melhor desempenho, seguido por SFQ, RED e FIFO. Seguindo a tendência da vazão e do atraso, os pacotes de 64 *bytes*, tiveram um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não foi

tão acentuada assim. Os pacotes de 250 *bytes*, também apresentaram um crescimento da linha do desempenho, no mesmo momento dos pacotes de 64 *bytes*, porém de maneira menos acentuada, seguindo a tendência da vazão.

7.2. Protocolos de Roteamento

7.2.1. Vazão

Observou-se que os dois protocolos analisados apresentaram um comportamento semelhante para pacotes de 64 *bytes* e um comportamento completamente diferente para pacotes de 250 *bytes*. O DSR obteve um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes. No entanto, na medida que aumentaram-se o número de nodos, o protocolo DSDV, diminuiu a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade, principalmente ao aumentar-se o tamanho dos pacotes.

Para pacotes de 64 *bytes*, teve-se um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não foi tão acentuada assim.

Os pacotes de 250 *bytes*, também apresentaram um crescimento da linha do desempenho, no mesmo momento dos pacotes de 64 *bytes*, porém de maneira menos acentuada.

7.2.2. Atraso/Latência

Observou-se que os dois protocolos apresentaram um comportamento semelhante para pacotes de 64 e 250 *bytes*. Novamente, o protocolo DSR apresentou um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes, e o DSDV diminuiu a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade, ao aumentar-se o tamanho dos pacotes.

Seguindo a tendência da vazão, os pacotes de 64 *bytes*, obtiveram um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos de 5 para 10. Ao variar-se de 10 para 20 nodos, esta variação de desempenho das filas não foi tão acentuada assim. Os pacotes de 250 *bytes* seguiram a mesma tendência dos de 64 *bytes*, diferindo-se do ocorrido com a vazão.

7.2.3. Jitter

Para pacotes de 64 *bytes*, na variação de 5 a 10 nodos os dois protocolos apresentaram um comportamento completamente diferente. Quando a variação dos nodos passou de 10 para 20, esta diferença diminuiu.

Já para pacotes de 250 *bytes*, a diferença entre os protocolos manteve-se semelhante independentemente da variação do número de nodos.

Novamente, o protocolo DSR apresentou um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes, e o DSDV diminuiu a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade com o aumento do número de nodos e principalmente com pacotes menores.

O protocolo DSR com pacotes de 64 *bytes* teve um crescimento da linha do desempenho mais acentuado ao variar-se o número de nodos. Já o protocolo DSDV com pacotes de 64 *bytes* não apresentou um crescimento significativo da linha de desempenho ao variar-se o número de nodos.

Para os pacotes de 250 *bytes*, ambos os protocolos não apresentaram crescimento significativo da linha de desempenho em função do número de nodos.

7.2.4. Perda de Pacotes

Tanto para pacotes de 64 quanto para de 250 *bytes*, os dois protocolos apresentaram um comportamento completamente diferente, tendo uma maior variação no aumento de 10 para 20 nodos com tamanhos de pacotes de 64 *bytes* e uma menor variação no aumento de 5 para 10 nodos com tamanhos de pacotes de 250 *bytes*.

Novamente, o protocolo DSR apresentou um melhor desempenho em relação ao seu concorrente independente do tamanho dos pacotes. O DSDV diminuiu a diferença em relação ao DSR, apresentando uma maior uniformidade, para pacotes de maior tamanho, enquanto para pacotes menores o DSR apresentou uma melhor uniformidade.

Para ambos os protocolos a taxa de perda acentuou-se quando o número de nodos variou de 10 para 20 nodos. No entanto a linha de desempenho apresentou um aumento maior durante a variação de 10 para 20 nodos com pacotes de 250 *bytes*.

A taxa de Perda de pacotes foi mais acentuada no protocolo DSDV. Isso deu-se ao fato de que o DSR, por ser um protocolo reativo, identificou mais rapidamente as

mudanças e, portanto conseguiu convergir para um descobrimento de rota até o destino em menor tempo, evitando uma perda muito grande dos pacotes. Por outro lado, o DSDV, por se tratar de um protocolo pró-ativo, possui um maior atraso para manter as informações das tabelas de rotas atualizadas.

Após estas simulações chegou-se a conclusão que para todas as métricas de QoS aqui propostas, o protocolo DSR, apresentou um melhor desempenho. Porém ao aumentarmos o número de nodos o DSDV obteve um comportamento mais uniforme, principalmente no aumento de 10 para 20 nodos.

7.3. Outras Simulações

7.3.1. Perda de Pacotes x Mobilidade

Observou-se que devido à movimentação constante e principalmente devido ao fato da possibilidade de um grande afastamento entre os nós, é comum que os pacotes comecem a ser perdidos.

Os dois protocolos simulados apresentaram uma baixa taxa de perda de pacotes e conseqüentemente uma grande porcentagem de pacotes entregues, quando a mobilidade do terminal móvel foi pequena, convergindo para 0% de perda de pacotes (100% de pacotes entregues) quando não ocorreu movimentação dos nós (tempo de pausa igual a 400). Porém é visível que o protocolo de roteamento DSR obteve um desempenho muito melhor do que o DSDV quando ocorreu uma movimentação mais intensa dos nós (tempo de pausa igual a 0).

O DSR apresentou taxa de perda de pacotes de aproximadamente 5%, entregando mais do que 95% dos pacotes, com mobilidade constante dos nós, enquanto que o DSDV, obteve uma taxa de perda de pacotes de aproximadamente 25%, entregando um pouco mais do que 75% dos pacotes no mesmo ambiente. Isso deu-se devido ao fato de que o DSR, por ser um protocolo reativo, identificou mais rapidamente as mudanças e, portanto conseguiu convergir para um descobrimento de rota até o destino em menor tempo, evitando uma perda muito grande dos pacotes. Por outro lado, o DSDV, por tratar-se de um protocolo pró-ativo, observou-se um maior atraso para manter as informações das tabelas de rotas atualizadas. Isso refletiu-se em envios de pacotes sobre enlaces rompidos, o que acaba ocasionando perdas de pacotes.

Através desta comparação pode-se concluir que o protocolo DSR possui uma taxa de entrega de pacotes superior a 95% em todos os tempos de pausa. Esta taxa se deve à capacidade de reação às mudanças da topologia. Já o protocolo DSDV entregou somente 75% dos pacotes nos cenários de maior movimentação e convergiu para 100% nos cenários sem movimentação. Observou-se que protocolo DSDV apresenta uma deficiência em manter as tabelas de roteamento atualizadas, já que um certo retardo na troca dessas tabelas acaba prejudicando o rendimento do protocolo.

7.4. SLA Pró-Ativo

Com base nos resultados das simulações, traçou-se o perfil de um ambiente *ad-hoc*, com as características aqui estipuladas, propondo-se um SLA pró-ativo, onde as rotinas prevêm uma possível quebra do acordo e com isso alguma decisão é tomada, a fim de, não permitir que o acordo seja quebrado de fato.

Para esta pró-atividade, foram propostas duas ações, as quais seriam disparadas ao atingir-se o QoSmin. A primeira seria o disparo de uma ação, responsável pela reorganização da rede. Caso esta ação não permitisse solucionar a possível degradação da rede, uma segunda ação seria tomada, onde ocorreria a renegociação do acordo com um servidor de SLAs. Salientou-se que segunda ação só deveria ser tomada, caso a ação de Reorganização da Rede, não obtivesse resultado, ou em casos excepcionais em que o nível de serviço exigido em um determinado momento fosse além do contratado, como por exemplo, uma vídeo conferência.

Por fim, realizou-se a elaboração do SLA, mais especificamente a sua parte técnica, denominada Caderno de Métricas, onde com base no desvio padrão, calculado como sendo 2% para mais ou para menos dos valores médios, obteve-se o valor do parâmetro ([QoSmin]) para disparo das ações de pró-atividade.

7.5. Aproveitamento dos Resultados

Os resultados podem ser aproveitados por diversas organizações públicas e privadas, auxiliando no desenvolvimento, na aquisição e no uso de um sistema de gerenciamento que contemple o estado da arte atual.

Na área referente a *Empresas Tecnológicas*, por exemplo, as empresas podem agregar valor aos seus produtos mediante a inserção de funcionalidades de SLM, em conformidade com as recomendações de fóruns e organismos de padronização internacionais, igualando-se ou superando as iniciativas de outros concorrentes de forma a garantir vantagem competitiva, tanto no mercado nacional, como no internacional.

As empresas também podem manter seus produtos alinhados às tendências de mercado, tornando-os cada vez mais competitivos, uma vez que a Gerência de SLAs no Brasil deverá ser um item chave na escolha de fornecedores para telecomunicações e para qualquer tipo de rede.

Além disso, as instituições de pesquisa também poderão aproveitar os resultados diretamente nas suas redes, proporcionando crescimento destes grupos de pesquisa tanto em quantidade como em qualidade. Estes resultados deverão ser submetidos a publicações em periódicos e anais de conferências nacionais e internacionais.

7.6. Trabalhos Futuros

Após a realização deste trabalho, surgiram algumas idéias de continuação e aprimoração do trabalho aqui desenvolvido. Estes trabalhos futuros são enumerados na seqüência.

7.6.1. Avaliação de Outras Métricas de QoS

Além das quatro métricas básicas de QoS abordados neste trabalho, outros fatores de QoS que advem da mobilidade e da imprevisibilidade tornam-se importantes.

Em [SEA96], os autores identificam outro parâmetro de QoS para ambientes móveis denominado *loss profile*. Este parâmetro pode ser usado por aplicações que toleram perda. O *loss profile* é definido como uma descrição, provida pela aplicação, da maneira aceitável na qual dados podem ser descartados no caso de redução de largura de banda na parte correspondente ao enlace sem fio. Este parâmetro especifica a taxa de perda aceitável e o comportamento da perda. Por exemplo, para uma aplicação de vídeo, o *loss profile* poderia descrever a percentagem de dados que podem ser perdidos e as porções do quadro de vídeo que podem ser descartadas.

Em [PAT02], a probabilidade de comunicação transparente (*probability of seamless communication*) é introduzida. Este parâmetro reflete os níveis aceitáveis de interrupção em um serviço devido ao movimento entre células. Aplicações que não podem tolerar qualquer interrupção no serviço devem requisitar uma alta probabilidade enquanto outras aplicações podem requisitar uma probabilidade mais baixa.

Além dos parâmetros mencionados acima *loss profile* e probabilidade de comunicação transparente, destacam-se ainda:

- **Conectividade**

Para algumas aplicações, o fato de estar continuamente conectado pode ser mais importante do que a ausência total de perdas, ou até mesmo do que a presença de uma alta vazão.

A mobilidade representa uma das maiores vantagens das redes sem fio, ao mesmo tempo em que exige uma atenção especial. Manter as transmissões quando os nós estão se movimentando é difícil, pior ainda resulta manter boa qualidade na transmissão. O fato do *hand-off* é um aspecto muito importante a considerar na QoS. Em [LIM02], são descritos vários mecanismos com o intuito de garantir este parâmetro.

- **Nível de Ruído (Qualidade do Sinal)**

Os equipamentos podem sofrer ruídos, e estes quando muito altos podem interferir na taxa de transmissão de dados, prejudicando o desempenho da rede. Se o nível de ruído presente for muito significativo o administrador pode tomar as medidas devidas para melhorar a transmissão de dados, de forma a reduzir as taxas de ruídos, que podem estar sendo geradas pelos elementos físicos da rede, como placas, cabos e outros por interferência externa.

Segundo [RIB02], o cálculo do nível de potência do sinal recebido e o cálculo da potência transmitida pela antena podem ser calculados através das seguintes equações:

$$S_i = EIRP - PL + G_r - C_r$$

$$EIRP = P_{out} - C_t + G_t$$

Onde:

EIRP: Nível de potência transmitida pela antena (ganho menos perdas).

Pout: Potência transmitida em dBm.

Ct: Atenuação em cabo em dB.

Gt: Ganho transmitido da antena em dBi.

Gr: Ganho recebido da antena em dBi.

Pl: Caminhos perdidos em dB.

Cr: Atenuação do cabo de recepção em dB.

Os: Sensibilidade de recebimento em dBm.

Si: Nível de potência do sinal recebido em dBm.

- **Perda ou Ganho do Sinal**

Os equipamentos *wireless* apresentam perda ou ganho. Ganho é quando o sinal de saída é maior que o sinal de entrada. Perda é se o sinal de saída é menor que o sinal de entrada. Quando houve perda diz-se que houve atenuação (*fading*).

A atenuação é expressa em dB, representada pela expressão:

$$PdB = 10 \log (Pout / Pin)$$

Onde:

Pout: Potência de saída do atenuador.

Pin: Potência de entrada do atenuador.

7.6.2. Políticas para Gerenciamento de Redes Wireless

Políticas de serviços servem para permitir a implementação, monitoração e modificação dos diversos perfis associados aos usuários ou classes de usuários que contratam serviços da rede.

Elas servem para disciplinar e otimizar a utilização dos recursos de uma rede e para garantir os requisitos de QoS relativos a cada classe de serviço, em situações onde o tráfego que atravessa a rede seja superior à largura de banda disponível.

Parâmetros usuais para a definição de políticas incluem informações sobre endereço IP, porta e/ou sub-rede de origem ou de destino, tempo de vida e horários de aplicação da política, etc.

Atualmente, a IETF tem trabalhado na definição de uma linguagem para especificação da sintaxe e semântica de políticas de serviços de redes. Na definição da

linguagem estão sendo considerados dois aspectos: uma política constitui-se de uma ou mais regras que descrevem a ação ou ações que devem ser tomadas quando da ocorrência de uma condição específica [QoS99]; políticas mais complexas podem ser construídas a partir de políticas mais simples, o que simplifica consideravelmente o seu gerenciamento [LEW98]. Atualmente, há vários estudos para definir que mecanismos serão utilizados para armazenamento e distribuição de políticas. Essas soluções baseiam-se no emprego do COPS (*Common Open Policy Service*), SNMP (*Simple Network Management Protocol*), LDAP (*Lightweight Directory Access Protocol*) e HTTP (*HyperText Transfer Protocol*).

Em [GIB00], foi desenvolvido um trabalho onde os contratos são criados em uma notação de baixo nível, baseada em parâmetros do *DiffServ* (tamanhos de filas dos roteadores, *jitter*, PHBs, etc.). Porém em momento algum são associados a serviços que possam ser comercializados ou gerenciados sob uma perspectiva de usuários. Sendo assim este apresenta-se como um possível trabalho futuro a ser desenvolvido.

7.6.3. Análise de Desempenho

Avaliar e analisar o desempenho dos protocolos de roteamento DSR, DSDV, Tora, etc. e comparar duas ou mais técnicas de Diferenciação de Serviços e analisar o desempenho dos protocolos, quando estes são submetidos às técnicas de Diferenciação de Serviços. Após definir quais técnicas de diferenciação são melhores em quais formas de construção de rotas.

As técnicas de Diferenciação de Serviços a serem analisadas podem ser: Diferenciação de Serviço por Variação da Função de *Backoff*, como o próprio nome sugere, usa como fator de diferenciação, a variação do parâmetro de *backoff*. *Backoff* é um tempo aleatório utilizado pela Função de Coordenação Distribuída (DCF) para controlar o tempo que um terminal deverá esperar quando tentar enviar um pacote. Este tempo é uniformemente distribuído entre 0 e o tamanho da janela de contenção e é decrementado sempre que o meio estiver livre. Se o terminal detectar uma transmissão no canal, o tempo é congelado. A diferenciação é alcançada fazendo com que diferentes terminais ou diferentes fluxos de comunicação tenham distintos tempos de *backoff*, por exemplo, os fluxos de pacotes que tiverem a maior prioridade têm uma probabilidade

maior de escolherem um tempo de *backoff* menor possibilitando que esses pacotes acessem o canal primeiro.

A segunda técnica é a Diferenciação de Serviços por Variação do DIFS. Esta técnica sugere que diferentes parâmetros DIFS sejam atribuídos a diferentes terminais ou fluxos. Sempre que um terminal quiser enviar um pacote, este deve esperar um tempo (DIFS) antes de enviar os pacotes RTS (*Request to Send*) e Dados. Este tempo é pré-definido pela DCF e de certa forma já insere uma prioridade sobre os pacotes citados.

7.6.4. Análise das Métricas Relativas ao Handoff

Diversas métricas podem ser atribuídas para qualificar o sistema, e conseqüentemente desenvolver um SLA, tendo em vista a avaliação do mecanismo de *handoff*. Dentre elas podemos destacar as seguintes:

- Probabilidade de bloqueio de chamada: A probabilidade de uma nova tentativa de chamada ser bloqueada.
- Probabilidade de bloqueio de *handoff*: A probabilidade de uma tentativa de *handoff* ser bloqueada.
- Probabilidade de *handoff*: A probabilidade de, durante comunicação com determinada célula, uma chamada em andamento necessite de um *handoff* antes da chamada terminar. Esta métrica traduz o número médio de *handoffs* por chamada.
- Probabilidade de interrupção de chamada: A probabilidade de uma chamada terminar devido à falha no processo de *handoff*. Esta métrica pode ser derivada diretamente da probabilidade de bloqueio de *handoff* e a probabilidade de *handoff*.
- Probabilidade de *handoff* desnecessário: A probabilidade de um *handoff* estimulado por um algoritmo particular de *handoff* quando o enlace de rádio existente ainda é adequado.
- Taxa de *handoff*: O número de *handoffs* por unidade de tempo. Combinado com a duração média das chamadas é possível determinar o número médio de *handoffs* por chamada, e assim a probabilidade de *handoff*.

- Duração da interrupção: A duração de tempo em que o terminal móvel não está comunicando com nenhuma das bases envolvidas. Esta métrica é altamente dependente da topologia da rede e do tipo de *handoff*.
- Atraso: É o tempo que leva a partir do ponto em que o *handoff* deveria ocorrer até o ponto em que ele realmente ocorre.

8. BIBLIOGRAFIA

- [AMO02] AMORIM, G. F. **Análise de Desempenho de Protocolos de Roteamento com Diferenciação de Serviços em Redes de Comunicação Móvel Ad Hoc**. Instituto Militar de Engenharia. 2002.
- [AZA01] AZAMBUJA, N.; PEREIRA, F.; LIMA, A.; OLIVEIRA, S.; WESTPHALL, C. **Gerência de uma Rede Metropolitana Sem Fio**. CBComp 2001.
- [BAE02] BAE KO, Y.; VAIDYA, H. **Flooding-Based Geocasting Protocols for Mobile Ad Hoc Networks**. *Mobile Networks and Applications* 7, 471–480. 2002.
- [BAL95] BALAKRISHNAN, H.; SESHAN, S.; AMIR, E.; KATZ, R.H. **Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks**. Computer Science Division. University of California at Berkeley. 1995.
- [BAS03] BASTOS, F.; NOGUEIRA, J. **Um modelo de contabilização e negociação de preços para serviços com QoS**. SBRC 2003.
- [BEC02] BECKER, M.; KÖPPEL, A.; MEHL, O.; PAUZE, B.; ABECK, S. **SLA-Oriented Service Description Based on the Common Information Model**. Institute of Telematics, University of Karlsruhe, Zirkel 2, D-76128 Karlsruhe, Germany. 2002.
- [BER00] BERIM, A. L. **Wireless ATM**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2000.
- [BON03] BONATTI, I.S.; BRITO, J.M.C. **A Simple Hybrid ARQ-FEC Scheme to Control Errors in the Wireless Link in Wireless ATM Networks**. Unicamp e Inatel. 2003.
- [CAM00] CAMARA, D. **Um Novo Algoritmo de Roteamento para Redes Móveis Ad hoc**. 2000.

- [CAM03] CAMPOS, Carlos; MORAES, Luís. **Modelos Markovianos de Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad Hoc**. SBRC 2003.
- [CAV02] CAVIN, D.; SASSON, Y.; SCHIPER, A. **On the Accuracy of MANET Simulators**. Distributed Systems Laboratory. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). 2002.
- [CAV03] CAVALCANTI, D.; DIAS, K.; SADOK, D. **Estudo dos Aspectos de QoS e Mobilidade no Planejamento de uma Rede Móvel Celular**. UFPE. 2003
- [CHI03] CHIEN, S.; SRISATHATPORNPHAT, C.; JAIKAE0, C. An Adaptive Management Architecture for Ad Hoc Networks. IEEE - February 2003.
- [CHO99] CHOI, S. Qos Guarantees in Wireless/Mobile Networks. Dissertação para o grau de Doctor of Philosophy. University of Michigan, 1999.
- [CIS98] Service Level Management with Netsys: A Model-Based Approach. http://www.cisco.com/warp/public/734/nslms/slm_wp.htm. 1998.
- [COR01] CORDEIRO, C.; SADOK, D. **Avaliação de Desempenho de Redes Bluetooth Usando o Modelo de Captura**. SBRC 2001.
- [COS03] COSTA, L.; AMORIM, M.; FDIDA, S. **Reduzindo a Frequência de Inundações em Protocolos de Roteamento Ad Hoc Sob Demanda**. SBRC 2003.
- [COU01] COURTIAT, J. **Qualidade de Serviço no Mundo IP**. Minicurso SBRC 2001.
- [CUN03] CUNHA, D.; COSTA, L.; DUARTE, O. **Um Mecanismo de Roteamento para o Consumo Balanceado de Energia em Redes Móveis Ad Hoc**. SBRC 2003.
- [DAV03] DAVIDE, L.; SKENE, J.; EMMERICH, W. **SLang: A Language for Defining Service Level Agreements**. Department of Computer Science University College London. 2003.

[DEG96] DEGERMARK, M.; ENGAN, M.; NORDGREN, B.; PINK, S. **Low-loss TCP/IP Header Compression for Wireless Networks**. Lulea University. MOBICOM. 1996.

[DIA01] DIAS, K; SADOK, D. **Internet Móvel: Tecnologias, Aplicações e QoS**. SBRC 2001.

[DIA03] DIAS, K.; KELMER, J.; SADOK, D. Um Novo Esquema para Controle de Admissão de Chamadas em Redes Móveis sem Fio baseadas no Protocolo IP. SBRC 2003.

[DMO00] **Definitions of Managed Objects for Service Level Agreement Performance Monitoring**. RFC 2758. Fevereiro de 2000.

[DMT02] **DMTF**, The Distributed Management Task Force. <http://www.dmtf.org>. Acesso em Setembro de 2002.

[FIL03] FILHO, J.; REZENDE, J.; PERMEZ, L. **Seleção Dinâmica de Parâmetros de Controle de Qualidade de Serviço em Redes IEEE 802.11 Infra-Estruturadas**. SBRC 2003.

[FRE03] FREITAS, P.J. **Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2003.

[FOK97] FOK, K. **A simulator for wireless local area networks**. Master's thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada, September 1997.

[FOS99] FOSTER, I., KESSELMAN, C. **A distributed resource management architecture that supports advance reservation and collocation**. In Proceedings of the International Workshop on Quality of Service. 1999.

[GIB00] GIBBENS, R. J., et al. **An Approach to Service Level Agreements for IP Networks with Differentiated Services**. Royal Society. 2000.

- [GOL98] GOLDSZMIDT, G.; YEMINI, Y. **Distributed Management by Delegation**. Conference Distributed of Computation. Canada. 1995
- [HAI99] HAIGH, P. L. **Methodology For Simulating Computer Systems**. Annual Simulation Symposium. 1999.
- [HAF96a] HAFID, A.; BOCHMANN, G. **Quality of service adaptation in distributed multimedia applications**. ACM Springer-Verlag Multimedia Systems Journal.1998.
- [HAF96b] HAFID, A.; BOCHMANN, G.; KERHERVE, B. **A quality of service negotiation procedure for distributed multimedia presentational applications**. In HPDC. 1996.
- [HOL00] HOLLAND, G.; VAIDYA, N. **Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks**. Texas A&M University. 2000.
- [HON99] HONG, G; GERLA, M.; CHIANG, C. **A GroupMobility Model for Ad hocWireless Networks**. ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), 1999.
- [HOO98] HOOD, C.; JI, C. **Inteligent Agents for Proactive Fault Detection**. IEEE Internet Communications. 1998
- [HOR02] HORSTMANN, G. **Avaliação de Esquemas de Fila para o Host Controller Interface do Bluetooth**. UFSC, Dissertação de Mestrado, 2002.
- [HOS01] HOSSAIN, E.; BHARGAVA, V. **A Centralized TDMA-Based Scheme for Fair Bandwidth Allocation in Wireless IP Networks**. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 19, NO. 11, NOVEMBER 2001.
- [IBC02] **IBCBrasil - SLA em Telecom**. Disponível em: <http://www.ibcbrasil.com.br/slatelecom>. Acesso em Agosto de 2002.
- [IEEE02] **IEEE - Institution of Electrical and Electronic Engineers**. <http://www.ieee.org> Acesso em Setembro de 2002.

- [IETF02] **IETF - Internet Engineering Task Force.** <http://www.ietf.org> Acesso em Julho de 2002.
- [ISO02] **ISO - International Organization for Standardization** <http://www.iso.org> Acesso em Setembro de 2002.
- [ITU02] **ITU-T - Study Group.** <http://www.itu.int/ITU-T>. Acesso em Novembro de 2002.
- [IWA00] IWATA, A.; FUJITA, N. **A Hierarchical Multilayer QoS Routing System with Dynamic SLA Management.** IEEE Journal On Selected Areas In Communication, Vol. 18, No. 12, December 2000.
- [JIN02] JINYANG, L.; BLAKE, C.; COUTO, D.; LEE, H.; MORRIS, R. **Capacity of Ad Hoc Wireless Networks.** M.I.T. Laboratory for Computer Science. 2002.
- [JIS02] **JISC Monitoring Unit.** Disponível em: <http://www.jisc-tau.ac.uk>. Acesso em Setembro de 2002.
- [KAL97] KALYANASUNDARAM, P. **A Spreadsheet-Based Scripting Environment for SNMP.** Integrated Network Management. London. 1997.
- [KIN93] KINGMAN, J. **Poisson Processes.** Oxford. Clarendon Press, 1993.
- [KIT01] KITTEL, A.; BHATNAGAR, R.; HUM, K.; WEINTRAUB, M. **Service Creation and Service Management for Advanced IP Networks and Services - An Experience Paper.** Im 2001.
- [LAR99] LARSEN, R. P.; MANO, M. **Modeling and Simulation of Digital Networks.** Communications of the ACM. 1999.
- [LEE02] LEE, H.; KIM, M.; Hong, J. **Mapping Between QoS Parameters and Network Performance Metrics for SLA Monitoring.** APNOMS 2002.
- [LEW98] LEWIS, L. **Spectrum Service Level Management - Definition, Offerings, and Strategy.** <http://www.cabletron.com/white-papers/spectrum/slm.pdf>. 1998.

[LIM02] LIMA, A.; WESTPAHLL, C. **A Bandwidth Management Adaptive Mechanism for Ad Hoc Wireless Network**. SBRC 2002.

[LIM03] LIMA, L.; GOMES, A.; COLCHER, S.; SOARES, L. **Um Framework para Provisão de QoS em Redes Móveis Sem Fio**. SBRC 2003.

[LIN01] LINDIH, T. **Embedded Monitoring of QoS Parameters in IP-Based Virtual Private Networks**. Im 2001.

[LUC02] **Lucent Mobility Solutions**. Disponível em: http://www.lucent.com/solutions/mobility_solutions.html. Acesso em Setembro de 2002.

[MAC03] MACFAS, J.A.G.; ROUSSEAU, F.; SABBATEL, G.B.; TOUMI, L.; DUDA, A. **Quality of Service and Mobility for the Wireless Internet**. LSR-IMAG Laboratory CNRS and Grenoble Institute of Technology Grenoble, France. 2003.

[MAH00] MAHADEVAN, I.; SIVALINGAM, K. **Architecture and Experimental Framework for Supporting QoS in Wireless Networks Using Differentiated Services**. ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications Journal, May 2000.

[MAR03] MARTUCCI, L.; CARVALHO, T.; RUGGIERO, W. **Domínios Virtuais para Redes Móveis Ad Hoc**. SBRC 2003.

[MEN01] MENEZES, E.; SADOK, D.; KELNER, J.; PEREIRA, P.; PINTO, P. **Service Management for Differentiated Services Networks**. Universidade Federal de Pernambuco. 2001.

[MIR00] MIRANDA, S.; NOGUEIRA, J.; MACHADO, C. **Um Sistema de Suporte ao Gerenciamento do Nível de Serviço – SGSWeb**. SBRC 2000.

[MUL99] MULLER, N. J. **Managing Service Level Agreements**. International Journal Of Network Management. 1999.

[MUN01] MUNG, C.; ONEILL, D.; JULIAN, D.; BOYD, S. **Resource Allocation for QoS Provisioning in Wireless Ad Hoc Networks**. IEEE 2001.

[NET02a] **Network Computing: Pacto mais que perfeito.** Disponível em: <http://www.networkcomputing.com.br/noticias/artigo.asp?id=24473>. Acesso em Abril de 2002.

[NET02b] **Network Computing: Wireless Networks: O padrão IEEE 802.11b para redes sem fio.** Disponível em: <http://www.networkdesigners.com.br/Artigos/wireless/wireless.html>. Acesso em Agosto de 2002.

[NEX01] **NextSLM.** Disponível em: <http://www.nextslm.org/>. Acesso em Agosto de 2001.

[NEW02] **Building SLAs.** <http://www.newf.com/BuildingSLAs.htm>. Acesso em Agosto 2002.

[NS203] **Network Simulator- NS2.** <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>. Acesso em Março de 2003.

[OGU98] OGUZ, A. **The mobiware toolkit: Programmable support for adaptive mobile networking.** IEEE Personal Communications Magazine.1998.

[OMG02] **OMG - Object Management Group.** <http://www.omg.org>. Acesso em Setembro de 2002.

[PAL03] PALMINHA, C.; ALVES, F.; DUARTE, L.; ROCHA, R.; GERALD, J. **Redes de Comunicação ATM sem Fios sobre 802.11.** INESC, Lisboa. 2003.

[PAT02] PATI, H.; MALL, R.; SENGUPTA, I. **An efficient Bandwidth reservation and call admission control scheme for wireless mobile networks.** Elsevier, Computer Communications 2002.

[PER02] PEREIRA, M. **Desenvolvimento de uma MIB e de um Agente Móvel para o Gerenciamento de Níveis de Serviços.** FESURV/SENAC. 2002.

- [PIO02] **Pionner Consulting.** <http://www.pioneerconsulting.com>. Acesso em Setembro de 2002.
- [PIS01] **PISHING, M. Uma Aplicação Java-SNMP para Monitoração de Redes Sem Fio.** UFSC. Dissertação de Mestrado, 2001.
- [PUK00] **PUKA, D.; PENNA, M.; PRODOCIMO, V. Service Level Management in ATM Networks.** The International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'00). IEEE. Las Vegas, Nevada. March 2000.
- [QoS99] **Introduction to QoS Policies.** <http://www.qosforum.com>. 1999.
- [QoS02] **QoS Forum, Technology Working Group.** <http://www.qosforum.com>. Acesso em Setembro de 2002.
- [RAN00] **RANDHAWA, T.; MOIR, K.; HARDY, R. Traffic Measurement Based Bandwidth Dimensioning of Broadband Networks.** NOMS 2000.
- [RAN02] **RANDHAWA, T.; HARDY, R. SNMP based Over-the-Air Management of Multi-Mode Mobile Hosts.** 2002.
- [RAS03] **RASHID, A.; HAFID, A.; RANA, O.; WALKER, D. QoS Adaptation in Service-Oriented Grids.** Department of Computer Science Cardiff University, UK. 2003.
- [RAY02] **RAYES, A. Common Management Architecture For Third Generation Wireless Networks.** IEEE 2002.
- [RIB02] **RIBAS, J. Perfil de Link Sem Fio em Ambientes Aberto: Avaliação Através de Medições.** UFSC. Dissertação de Mestrado, 2002.
- [ROC99] **ROCHA, M.; MATEUS, G.; SILVA, S. Traffic simulation and the location of mobile units in wireless communication systems.** SBRC 1999.
- [ROC01] **ROCHA, R. Uma Arquitetura para Simulação Flexível de Protocolos para Computação Móvel.** USP. Dissertação de Mestrado, 2001.

- [RUB01] RUBINSTEIN, M.; REZENDE, J. **Qualidade de Serviço em Redes 802.11**. SBRC 2001.
- [SAD02] SADEGHI, B.; KANODIA, V.; SABHARWAL, A.; KNIGHTLY, E. **Opportunistic Media Access for Multirate Ad Hoc Networks**. Department of Electrical and Computer Engineering Rice University. MOBICOM. 2002.
- [SAN99] SANTOS, V. **Qualidade de Serviço em Redes Móveis Sem Fio**. UFMG. Dissertação Mestrado, 1999.
- [SCH99] SCHWEITZER, C. **SLA para Redes de Transporte PDH e SDH**. UFSC, Dissertação de mestrado, 1999.
- [SEA96] SEAL, K.; SINGH, S. **Loss profiles: A Quality of Service Measure in Mobile Computing**. Wireless Networks 1996.
- [SEN98] SEN, S.; ARUNACHALAM, A.; BASU, K.; WERNIK, M. **A QoS Management Framework for 3G wireless networks**. IEEE 1998.
- [SHO01] SHORT, J.; BAGRODIA, R.; KLEINROCK, L. **Mobile Wireless Network System Simulation**. Computer Science Department. University of California, Los Angeles. 2001.
- [SMH00] **SLA Management Handbook**. TMForum. Novembro 2000.
- [STU00] STURN, R.; MORRIS, W.; JANDER, M. **Foundations of Service Level Management**. Editora Campus, 2001.
- [SUK02] SUK-UN, Y.; LEE, J.; LEE, K.; KANG, C. **QoS Support in Mobile/Wireless IP Networks using Differentiated Services and Fast Handoff Method**. IEEE 2001.
- [TAN97] TANENBAUM, A. **Redes de Computadores**. Editora Campus, 1997.
- [TIA98] TIAN, X.; JI, C. **QoS Provisioning with Distributed Call Admission Control Wireless Networks**. In 1998.

- [TMF02] **TMFórum**. <http://www.tmforum.org>. Acesso em Setembro de 2002.
- [TOR01] TORGAN, M. <http://www.inf.ufrgs.br>. Setembro de 2001.
- [TSE00] TSE-AU, E; MORREALE, P. **End-to-End QoS Measurement: Analytic Methodology of Application Response Time vs. Tunable Latency in IP Networks**. NOMS 2000.
- [TUR01] TURCK, F.; VANHASTEL, S.; VANDERMEULEN, F.; DEMMESTER, P. **Design and Implementation of a Generic Connection Management and Service Level Agreement Monitoring Platform Supporting the Virtual Private Network Service**. Im 2001.
- [VAS01] VASCONCELLOS, S.; REZENDE, J. **Mobilidade num ambiente de serviços diferenciados**. SBRC 2001.
- [VEL03] VELEZ F. J. **Multi-service Traffic Analysis in Mobile Broadband Systems**. University of Beira Interior, Technical University of Lisbon. European Commission project ACTS 204-SAMBA. 2003.
- [VER02] VERISSIMO, F. **Segurança em redes sem fio**. Dissertação de Mestrado. UFRJ. 2002.
- [VIS02a] **Visionnaire – Acordos de Níveis de Serviço**. Disponível em: <http://www.visionnaire.com.br> . Acesso em Abril de 2002.
- [VIS02b] **Visionnaire - Gestão de Qualidade de Serviço**. Disponível em: <http://www.visionnaire.com.br/downloads/Gest%20da%20Qualidade%20de%20Servi%20co.pdf>. Agosto de 2002.
- [YAN02] **YanKee Group**. <http://www.yankeegroup.com>. Acesso em Setembro de 2002.
- [WES01] WESTPHALL, C. **Projeto Hop Topics em Gerência de Redes**. Março 2001.

[WLA02] **WLANA - Wireless Lan Association**. Disponível em: <http://www.wlana.com>. Acesso em Julho de 2002.

[ZHE02] ZHENG, P.; LIONEL, M. **EMWIN: Emulating a Mobile Wireless Network using a Wired Network**. Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University. *WOWMOM '02*, September 28, 2002, Atlanta, Georgia.

[3CO98] **InfoVista(TM) - Service level Management Solution: Building a Service Management Environment**. <http://www.3com.com/products/dsheets/400365a.html>. 1998.