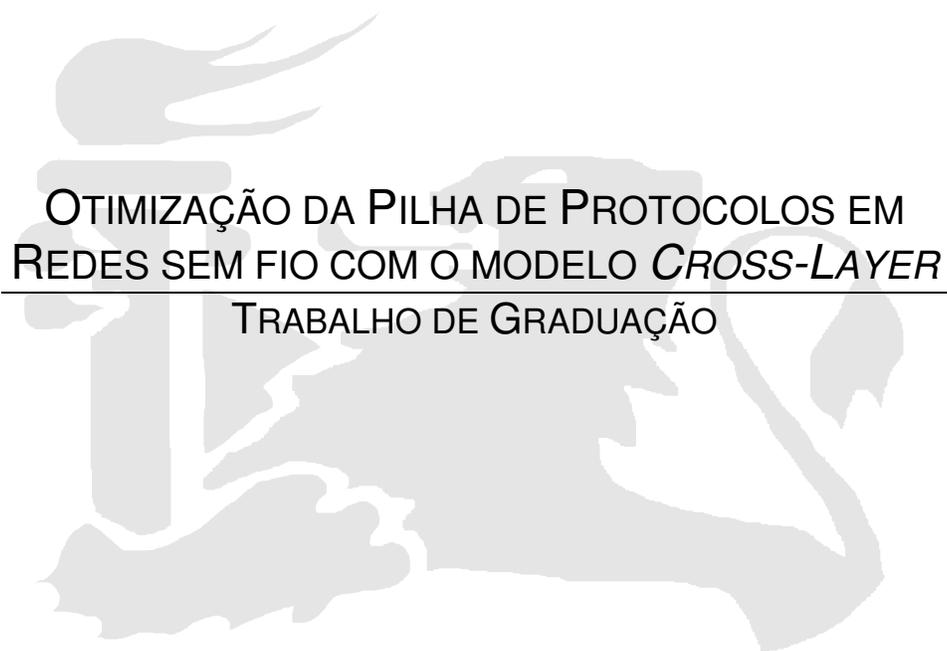




UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CENTRO DE INFORMÁTICA



OTIMIZAÇÃO DA PILHA DE PROTOCOLOS EM
REDES SEM FIO COM O MODELO *CROSS-LAYER*

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aluno: Leonardo Arcanjo da Fonseca Pereira
Orientador: Judith Kelner
Co-Orientador: Eduardo Souto

Agosto de 2005

Resumo

O mundo informatizado tem adquirido cada vez mais adeptos. A necessidade de satisfazer esses usuários cada vez mais exigentes fez com muitos estudos fossem dedicados a melhoria da qualidade de serviço. O modelo de comunicação atualmente utilizado, porém, apresenta dificuldade quando integrado ao mundo sem fio. A tendência da dinâmica fez com que fosse necessários estudos para melhoria desta tecnologia e uma das soluções factíveis é o modelo de otimização *Cross-Layer*, cujas características serão apresentadas neste trabalho.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, Arcanjo e Vera, por me apoiar sempre em todo decorrer de minha caminhada. Agradeço-os por guiar meus passos e pela confiança que sempre depositaram em mim. Meu pai sempre foi pra mim um exemplo de serenidade, calma e inteligência, características que moldaram a pessoa que sou. Minha mãe, companheira de todas as horas, que sempre esteve disposta a escutar e discutir meus problemas e que sempre mostra serenidade e paciência nas horas que mais preciso. Agradeço ainda por custearem os meus estudos e por uma infinidade de outros motivos que poderia citar.

Agradeço a minha namorada Tati, por estar comigo em todo momento que preciso, partilhando de meus problemas e me ajudando a resolvê-los. Agradeço por tê-la encontrado e por hoje poder conviver com ela.

Agradeço aos meus avós, tios e primos por estarem sempre comigo, acompanhando e vibrando com cada passo dado nesta caminhada. Agradeço aos meus irmãos, por sempre estarem ao meu lado nos momentos de necessidade.

Agradeço aos meus grandes amigos da AVCIn, companheiros em toda caminhada da faculdade. Agradeço-os por terem tornado meu tempo na universidade muito agradável e por estarem comigo principalmente nos momentos de descontração.

Agradeço aos professores Djamel e Judith, por hoje fazer parte do GPRT e pela oportunidade de aprendizagem e engrandecimento profissional que me foi dada.

Agradeço a Eduardo Souto, pela orientação e contribuição em todo este trabalho. Agradeço também aqueles que de uma forma ou de outra também contribuíram neste estudo.

Agradeço aos amigos da faculdade, velhos amigos do colégio, amigos da NetBox e aos novos amigos feitos no GPRT.

Agradeço principalmente a Deus, por me rodear de pessoas especiais, me dar saúde e todo aparato emocional necessário ao termino desta etapa de minha vida.

Índice

Índice de Figuras	5
Índice de Quadros	6
1. Introdução	7
2. Redes <i>Ad Hoc</i>	9
2.1. Modelo OSI	10
2.2 Arquitetura em Camadas	11
2.2.1 Camada Física	12
2.2.2 Camada de Enlace	12
2.2.3 Camada de Rede	15
2.2.4 Camada de Transporte	17
2.2.5 Camada de Aplicação	18
2.2.6 Comentários Adicionais	19
3. Modelo Cross-Layer	20
3.1 Interação de parâmetros	21
3.1.1 Exemplos de Interações	21
3.2 Comentários Adicionais	23
4. Estudo de caso: aplicação VOIP	24
4.1 Métricas	25
4.2 Lista de parâmetros e suas relações	26
5. Simulação e Resultados	29
5.1 O Simulador	29
5.2 O Ambiente	29
5.3 Cenários e Resultados	30
5.3.1 Cenário 1 – Base	31
5.3.2 Cenário 2	34
5.3.3 Cenário 3	34
5.3.4 Cenário 4	36
5.3.5 Cenário 5	38
5.3.6 Cenário 6	39
5.3.7 Cenário 7	41
5.3.8 Cenário 8	42
5.3.9 Cenário 9	42
5.3.10 Cenário 10	43
5.3.11 Cenário 11	44
5.3.12 Cenário 12	44
5.3.13 Cenário 13	45
5.4 Comentários Adicionais	47
6. Conclusões e Trabalhos Futuros	48
7. Referências	49
8. Datas e Assinaturas	51

Índice de Figuras

Figura 1. Modelo de referência OSI.....	10
Figura 2. Transmissão de um pacote do ponto A ao ponto B.....	11
Figura 3. Modelo Híbrido.....	12
Figura 4. Subníveis da camada de enlace.....	13
Figura 5. Ambiente de Simulação.....	30
Figura 6. Variação do Atraso.....	33
Figura 7. Latência.....	33
Figura 8. Vazão.....	33
Figura 9 – Variação do Atraso com a mudança dos <i>codecs</i>	35
Figura 10 – Latência com a mudança dos <i>codecs</i>	36
Figura 11 – Vazão com a mudança dos <i>codecs</i>	36
Figura 12 – Variação do Atraso com mudanças nos valores do SRL e LRL.....	37
Figura 13 – Latência com mudanças nos valores do SRL e LRL.....	37
Figura 14 – Vazão com mudanças nos valores do SRL e LRL.....	37
Figura 15 – Variação do atraso com mudanças no RTO e RTT.....	39
Figura 16 – Latência com mudanças no RTO e RTT.....	39
Figura 17 – Vazão com mudanças no RTO e RTT.....	39
Figura 18 – Variação do atraso com (cenário 1) e sem (cenário 6) algoritmo de fast retransmit do TCP.....	40
Figura 19 – Latência com (cenário 1) e sem (cenário 6) algoritmo de fast retransmit do TCP.....	40
Figura 20 – Vazão com (cenário 1) e sem (cenário 6) algoritmo de fast retransmit do TCP.....	41
Figura 21 – Variação do Atraso para o cenário 1 e cenários 7 a 13.....	46
Figura 22 – Latência para o cenário 1 e cenários 7 a 13.....	46
Figura 23 – Vazão para o cenário 1 e cenários 7 a 13.....	46

Índice de Quadros

Quadro 1. Pilha de Protocolos do Caso de Estudo	24
Quadro 2. Parâmetros e suas relações	26
Quadro 3. Parâmetros e protocolos usados no processo de otimização	31
Quadro 4. Uso de <i>codec</i> de voz G.711	34
Quadro 5. Uso de <i>codec</i> de voz G.729	35
Quadro 6. Parâmetros mudados na camada de rede	36
Quadro 7. Parâmetros de intervalo de retransmissão mudados	38
Quadro 8. Processo de otimização com as camadas de enlace, rede e transporte.	41
Quadro 9. Otimização através de mudanças no <i>codec</i> e camada de transporte.....	42
Quadro 10. Codec G.729 mais otimizações na camada de transporte.....	43
Quadro 11. Mudanças em relação ao quadro 11 para identificar resultados.....	43
Quadro 12. Novas mudanças em relação ao quadro 11 para identificar resultados	44
Quadro 13. Codec G.711 com o algoritmo de Nagle e retransmissão rápida.....	44
Quadro 14. Codec G.711 mais algoritmo de Nagle.....	45

1. Introdução

Os três últimos séculos foram marcados pelas grandes evoluções tecnológicas. O século XVIII foi marcado pelos sistemas mecânicos que acompanharam a revolução industrial, o século XIX foi a era das máquinas a vapor e no século vinte a tecnologia chave girou em torno da obtenção, processamento e distribuição da informação.

Obter, analisar e reagir às mudanças num cenário extremamente dinâmico, onde o conjunto de informações muda a cada instante faz parte do cotidiano de grande parte da população e é, hoje um diferencial para o acerto ou erro em uma tomada de decisão.

Para atingir essa dinâmica nos pontos de trabalho, as redes sem fio evoluíram, e hoje fazem parte de uma boa parcela das empresas em grandes centros urbanos. Estar conectado, em qualquer lugar, a qualquer momento, sem perder, no entanto, o desempenho da rede é uma barreira a ser vencida, visto que com o modelo atualmente utilizado para comunicações sem fio [1], herdado do modelo usado em comunicações cabeadas, não se adapta de forma consistente a um ambiente sujeito a mudanças constantes e incertezas.

O meio de comunicação sem fio continua utilizando o modelo OSI (modificado), apropriado para comunicações feitas através de cabos com o intuito de manter a compatibilidade com nós intermediários (pontos de acesso e estações base). A pilha de protocolos do modelo OSI é útil em vários sentidos. O fato de ser baseada em camadas facilita na construção de aplicações, além de estar de acordo com os princípios relacionados à engenharia de software. Entretanto, as redes sem fio não funcionam eficientemente com o modelo OSI. Isso se deve ao fato de existir uma variedade na natureza dos enlaces sem fio e uma escassez de recursos das estações móveis. A evolução da computação nos dias de hoje visa satisfazer o usuário, atendendo os requisitos de qualidade de serviço, além de garantir a conectividade e a agilidade inerente aos pontos de trabalhos.

Várias alternativas têm sido estudadas e visam superar algumas dessas dificuldades como a interoperabilidade entre redes sem fio e cabeadas, o problema da falta de certezas e qualidade de serviço do meio sem fio. Uma das

alternativas, demonstrada nesse trabalho, mostra que a pilha de protocolos pode continuar sendo utilizada, com a simples adição da troca de informações e dinâmica no ajuste de parâmetros, este processo é conhecido como “Otimização *Cross-layer*” [2].

A otimização da pilha de protocolos visa melhorar a utilização e aumentar o desempenho da rede sem fio. A abordagem de otimização de camadas *cross-layer* busca melhorar o funcionamento desta pilha, agregando certa “inteligência” a mesma [2], [3], [4], [5]. Com este modelo, as camadas da pilha interagem entre si para otimizar a utilização dos recursos e melhorar o desempenho da rede. Por exemplo, através dessa abordagem, o TCP poderia disponibilizar para a aplicação detalhes como perda de pacotes e vazão para que a mesma pudesse ajustar esses parâmetros e obter um melhor resultado.

O ganho na qualidade de serviço aliado ao maior tempo de vida dos nós de uma rede sem fio é uma situação ideal. O modelo *cross-layer* visa atingir esse contexto, fornecendo cada vez mais qualidade de serviço ao usuário, que a cada dia torna-se menos avesso ao mundo informatizado e, conseqüentemente, cada vez mais exigente com a tecnologia.

Neste trabalho será realizado um estudo dos aspectos relativos a otimização da pilha de protocolos através do modelo *cross-layer*, avaliando os *trade-offs* gerados com os ajustes de parâmetros para demonstrar a viabilidade desse modelo de otimização. Serão feitas simulações usando o ambiente Opnet IT Guru [6], para mostrar o resultado obtido com o ajuste dos parâmetros em diferentes camadas da pilha, inicialmente ajuste de parâmetros em uma camada e posteriormente entre camadas. Além disso, esse trabalho une propostas de utilização de novas tecnologias, novos protocolos e conceitos para que seja possível otimizar o funcionamento das redes sem fio, aliando o aumento do desempenho com um maior tempo de vida para a rede.

2. Redes *Ad Hoc*

A evolução das tecnologias fez da rede de computadores um grande meio para o tráfego de informações, rápida e eficaz, e como se vive hoje a era da informação, as telecomunicações tornaram-se área de grande interesse e estudos.

A miniaturização dos componentes de hardware e a contínua evolução das tecnologias de comunicação sem fio serviram de estímulo para a criação de redes instantaneamente, denominadas de redes *ad hoc*. Estas redes são formadas dinamicamente por um conjunto de elementos de rede (tais como, PDAs, Notebooks e Celulares) conectados através de tecnologias de transmissão sem fio. Os elementos de rede se organizam de maneira arbitrária e são livres para se moverem aleatoriamente. Deste modo, a topologia da rede sem fio pode mudar de forma rápida e imprevisível.

Diferentemente das redes de telefonia, as redes *ad hoc* não requerem nenhuma infra-estrutura fixa, como uma estação base, para sua operação. Cada elemento na rede poderá comunicar-se diretamente com outro que esteja dentro do seu limite de transmissão (comunicação *single hop*) ou através de outros elementos de rede que sejam capazes de atingir o destino da comunicação (comunicação *multi-hop*). A flexibilidade e a conveniência da eliminação de cabos tornam as redes *ad hoc* bastante atrativas para sua utilização no mercado. Entretanto, estas redes herdam os problemas das redes sem fio, como destacado abaixo:

- O meio sem fio não tem nem certezas, nem observações imediatas dos limites exteriores de estações conhecidas, por não poderem receber transmissões da rede;
- O canal é desprotegido dos sinais exteriores, o que torna a transmissão de dados significativamente menos segura que a realizada através de cabos;
- O canal de rede tem tempos variados e propriedades de propagação assimétricas;
- Podem ocorrer fenômenos como terminais escondidos e expostos;

- Modelo OSI, construído para a comunicação de meios cabeados não é propicio ao meio sem fio.

Ao conjunto de dificuldades acima apresentadas, juntam-se problemas característicos de um meio não cabeado, como o problema dos múltiplos saltos, fato esse que só aumenta os constrangimentos no uso da tecnologia sem fio.

2.1. Modelo OSI

O modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*) descreve como a informação de uma aplicação em um computador viaja através da rede para a aplicação par em um outro computador. O OSI é um modelo conceitual composto de sete camadas, cada uma com finalidade específica. Este modelo de referência foi desenvolvido pela *International Organization for Standardization* (ISO) em 1984 e é considerado como a principal arquitetura para comunicação entre computadores. As tarefas de transporte da informação entre computadores são divididas em sete camadas menores como mostrado na figura 1. Uma tarefa ou grupo de tarefas é designada a cada um dos sete níveis que compõem o modelo. Os níveis são autocontidos de modo que as tarefas atribuídas a cada um podem ser implementadas independentemente.

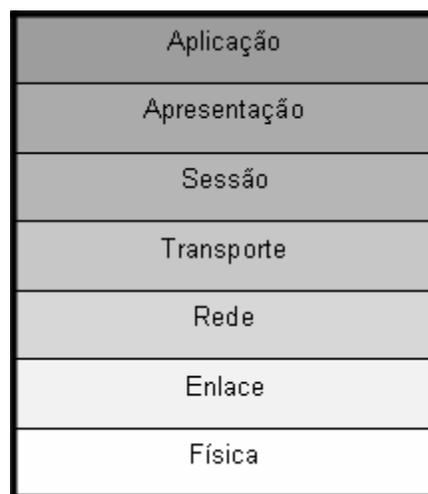


Figura 1. Modelo de referência OSI

O modelo de referência OSI provê um esqueleto conceitual da comunicação entre dois computadores, mas, o esqueleto em si não é modelo implementado na prática para comunicação. Alguns dos níveis contidos nele são meramente conceituais, sendo deixados de lado nas implementações.

As camadas do modelo OSI interagem para viabilizar a comunicação entre dois computadores. A comunicação entre um ponto A e um ponto B funciona da seguinte forma (simplificadamente): A camada de aplicação no ponto A tem informação para transmitir e manda essa informação para o nível inferior. A informação vai sendo passada sucessivamente aos níveis mais baixos e sendo encapsulada de forma adequada em cada nível até atingir o nível físico. Neste nível a informação é colocada no meio físico da rede e viaja até o ponto de destino. Ao chegar no destino a informação é retirada da rede e é repassada aos níveis acima (camadas superiores) até chegar o nível de aplicação onde é mostrada ao usuário final, conforme ilustrado na figura 2.

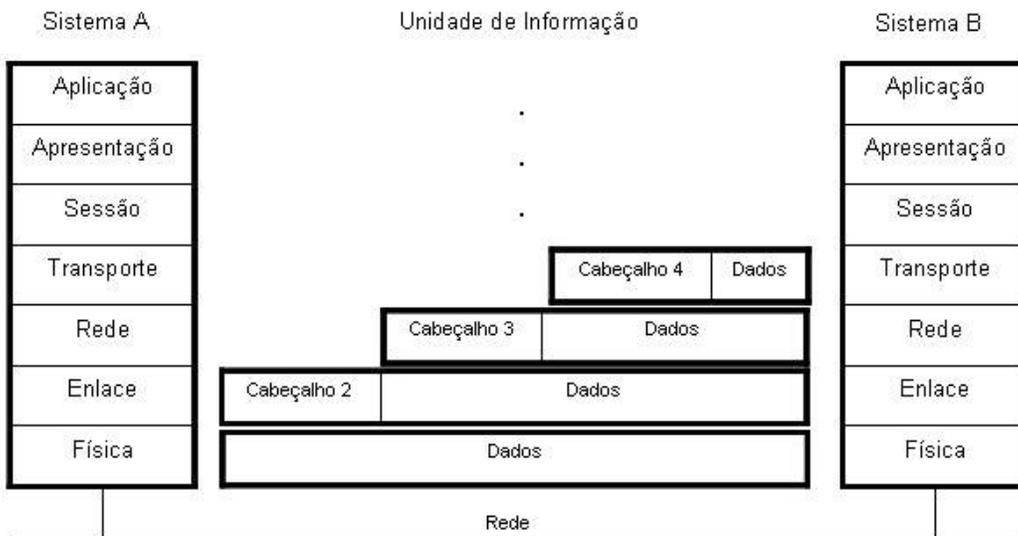


Figura 2. Transmissão de um pacote do ponto A ao ponto B

2.2 Arquitetura em Camadas

Este trabalho será baseado em um modelo híbrido (Figura 3) formado pelas camadas: física, enlace, rede, transporte e aplicação, como mostra a figura

3. As funcionalidades das camadas suprimidas (sessão e apresentação) foram absorvidas pelas camadas de transporte e aplicação, caracterizando um modelo de 5 camadas. Serão apresentados a seguir as principais características, objetivos e protocolos de cada camada.



Figura 3. Modelo Híbrido

2.2.1 Camada Física

A camada física define as especificações elétricas, mecânicas, processuais e funcionais para a ativação, manutenção e desativação do link físico entre dois sistemas em comunicação. Define características como detalhes sobre a voltagem utilizada para a comunicação, velocidade de dados físicos, distâncias máximas de transmissão e meios de transmissão. Esta camada especifica, portanto, a maneira com que os 0s e 1s dos quadros serão enviados para a rede (ou recebidos).

2.2.2 Camada de Enlace

A camada de enlace provê um meio confiável para a transmissão de dados através do meio físico. Características diferentes nas especificações da camada de enlace definem redes e protocolos diferentes, que incluem desde

mudanças no endereçamento físico, topologia da rede, notificações de erro a seqüência de frames e controle de fluxo. O endereçamento físico define a forma como os dispositivos são endereçados na camada de enlace. A topologia de rede consiste nas especificações da camada de enlace que definem como os dispositivos da rede estão ligados entre si. As notificações de erro, a ordenação da seqüência de frames e controle de fluxo ajudam a manter a integridade dos dados que estão sendo transmitidos durante a comunicação.

O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) definiu que a camada de enlace seria dividida em 2 subníveis: O LLC (*Logical Link Control*) e o MAC (*Media Access Control*), conforme figura 4.

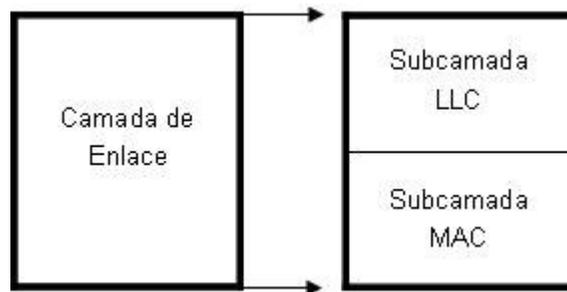


Figura 4. Subníveis da camada de enlace

O LLC controla a comunicação entre dispositivos que se comunicam sobre um único meio de rede. Este subnível define tanto conexões sem fio quanto conexões cabeadas e o modo como os protocolos de camadas mais altas acessam um único meio de dados. O MAC gerencia o protocolo de acesso a meio físico de rede. É este subnível que é responsável por fazer diversos dispositivos se identificarem de forma única na camada de enlace.

Protocolos como PPP, SLIP, HDLC estão situados nesta camada, bem como protocolos de acesso ao meio, por exemplo: CSMA/CA [7], *bluetooth* [8] e 801.11 [9] os quais serão introduzidos a seguir:

O termo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*) representa um conjunto de regras que mostram como um elemento da rede reage uma vez que é detectado na mesma uma colisão entre partes da rede. CSMA/CD

é usado em redes Ethernet (ou seja, cabeadas), que tem esse conjunto de regras usado por padrão.

Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) é um protocolo de contenção que observa a rede com o intuito de evitar colisões, ao contrário do CSMA/CD que trata as transmissões dentro de uma rede, somente uma vez que detectou uma colisão. CSMA/CA contribui no tráfego da rede porque, antes de qualquer dado ser enviado, há primeiro um envio de sinal em broadcast para detectar cenários de colisões e avisar aos outros cenários para não fazerem um broadcast naquele momento, que seria o momento de envio de dados, evitando assim as colisões.

CSMA/CA é usado em redes *Apple* do tipo LocalTalk e principalmente em redes sem fio(WLAN). É importante lembrar que o CSMA/CA diminui o número de colisões numa rede, no entanto, não elimina o mesmo.

Bluetooth é uma tecnologia para comunicação sem fio de baixo custo e alcance pequeno, cuja transmissão de dados se dá através de sinais de rádio de alta frequência, e através do qual os usuários poderão conectar-se a uma variedade de dispositivos, desde aparelhos de computação e telecomunicações até eletrodomésticos, de maneira bastante simples, sem a necessidade de adquirir, carregar ou conectar-se a cabos. A idéia é proporcionar interligação automática dos dispositivos, ou seja, tornar transparente a interconexão entre os pontos conectados. Por isto, o seu objetivo é facilitar transmissões em tempo real de dados e voz, permitindo a comunicação a quaisquer dispositivos eletrônicos (fixos ou móveis) que estejam de acordo com a tecnologia.

O IEEE desenvolveu uma série de padrões para redes de transmissão sem fio denominados 802.11. Estes *padrões* definem a camada física e a camada de controle de acesso ao meio. Apesar de pertencer à família *Ethernet*, há na sua definição grandes diferenças na arquitetura e na camada de enlace. Inicialmente foi desenvolvido para permitir taxas de transmissão de 1 até 2 Mbit/s. Mais tarde surgiram novas versões do padrão, com diferentes taxas, e bandas de frequência. Para isso, foram designados vários grupos de trabalho, cada um representado por uma letra (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11d entre outros).

2.2.3 Camada de Rede

A camada de rede é responsável por controlar a operação da subrede. Um ponto importante é determinar a forma como os pacotes são roteados a partir de um ponto até seu destino. Rotas podem ser baseadas em tabelas estáticas que são introduzidas na rede de forma quase permanente, no entanto, elas também podem ser determinadas no começo de cada comunicação, ou podem ser montadas dinamicamente de acordo com a necessidade da rede.

A tarefa de controle de congestionamento também cabe a camada de rede. Características de tarifação, como controle da quantidade de pacotes, caracteres ou bits que são mandados pela rede também podem ser controlados por esta camada. Muitos outros problemas como diferenças no endereçamento das rede e conflito no tamanho dos pacotes também são resolvidos pela camada de rede, o que torna possível a comunicação entre redes heterogêneas.

Algumas implementações da camada de rede, como o IP [10](*Internet Protocol*), determinam endereços de rede de modo que o roteamento pode ser determinado sistematicamente através da comparação entre o endereço da rede fonte e o destino e aplicando sobre eles a máscara de rede.

É devido a essas características que grande parte do design e configurações das comunicações de internet ocorrem nessa camada. Protocolos de roteamento como o DSR, DSDV, AODV e RIP [11] funcionam nessa camada do modelo OSI.

O protocolo de roteamento DSR (*Dynamic Source Routing*) é um meio simples e eficiente para rotear, especialmente redes *ad-hoc* sem fio e nós móveis. DSR permite que a rede seja completamente autoconfigurada e auto-organizada, sem a necessidade da existência de nenhuma infra-estrutura ou administração.

Ele é composto por dois mecanismos principais, o de descobrimento de rotas e o de manutenção, que trabalham em conjunto para manter a consistência

da rede. O protocolo reage às mudanças se necessário permitindo adaptar as rotas caso a rede tenha mudado.

O DSR permite o uso de múltiplas rotas para um destino qualquer e permite ao transmissor que escolha e controle a rota usada no envio do pacote. Outra vantagem do DSR é a garantia da não existência de *loops*, suporte a redes unidirecionais e um restabelecimento rápido perante as mudanças da rede.

O modelo de roteamento AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*) é utilizado em redes sem fio dinâmicas, onde os nós podem entrar e sair da rede a qualquer momento. Para encontrar uma rota para um nó em particular, o nó fonte tem que executar um broadcast na rede para seus vizinhos imediatos. Se um dos vizinhos tiver uma rota pra o destino desejado, ele retorna a resposta para o nó fonte, do contrário, os vizinhos também mandarão um broadcast até que seja encontrada a rota para o nó desejado. Este modelo assegura para que não existam *loops* na tabela de roteamento e tenta sempre achar o menos caminho para atingir o destino. Ele também aceita mudanças na rede, já que é destinado ao roteamento de redes *ad-hoc*.

O RIP (*Routing Information Protocol*) é um dos mais consistentes protocolos de roteamento. Existe uma enorme variedade de protocolos baseados no RIP, alguns dele até usam o mesmo nome, o que às vezes causa confusão em relação ao RIP original. Esse protocolo utiliza algoritmos de vetores de distância e comparações matemáticas para identificar a melhor rota de um ponto a outro.

O RIP manda atualizações de rotas através de mensagens em intervalos de tempo regulares e quando a topologia da rede muda. Quando um roteador recebe uma atualização que inclui uma mudança de uma entrada, ele atualiza sua tabela de roteamento a fim de refletir a nova topologia. Os roteadores RIP só mantêm a melhor rota (com o menor gasto) para um destino. Depois de atualizar a tabela de roteamento o roteador informa aos nós as mudanças. Essas mensagens são transmitidas independente das mensagens programadas pelo protocolo

2.2.4 Camada de Transporte

A camada de transporte é responsável pelo controle de comunicação fim a fim entre 2 pontos finais que estão se comunicando. Neste nível existe o controle da integridade das mensagens trocadas através da rede, independentemente dos controles nos níveis anteriores. O nível 4 se aplica entre as pontas finais de comunicação e não nos segmentos de rede como os níveis anteriores.

É nesta camada que funcionam vários tipos de controle como os que seguem: O controle de fluxo gerencia a transmissão de dados entre dois dispositivos de modo que o transmissor não mande mais dados do que o receptor pode tratar. Multiplexação permite que os dados de muitas aplicações sejam transmitidos em um único meio físico. Circuitos virtuais são estabelecidos, utilizados e finalizados pela camada de transporte. Verificação de erro envolve a criação de muitos mecanismos para detecção de transmissão de erros, enquanto a recuperação de erro envolve agir para que sejam consertados quaisquer erros que ocorram na transmissão de dados.

Protocolos com o TCP e o UDP [12] estão alocados nesta camada, protocolos esse que junto com o IP fazem a base da internet como é conhecida.

Aplicações que requerem a entrega confiável de dados usam o TCP (*Transmission Control Protocol*) porque este verifica se os dados são enviados de forma correta, na seqüência apropriada e sem erros, pela rede. O TCP é um protocolo de transporte orientado por conexão diferente do UDP, que não o é; e é um protocolo de *stream* de bytes.

TCP é um dos protocolos mais usados porque resolve problemas de protocolos que necessitam de orientação a conexão. O TCP é responsável por: Gerenciar a perda de segmentos, podendo fazer o re-envio de segmentos depois de um determinado tempo sem confirmação (*acknowledgement* ou *ACK*) da parte receptora; evitar duplicação e a chegada de segmentos fora de ordem fazendo uso de um número de seqüência negociado no *handshake* (processo no qual conexões são formadas); e fazer a verificação de erros utilizando o *checksum*.

Em redes *ad hoc* sem fio ocorre um processo de degradação ao desempenho do TCP. A mobilidade dos nós pode ter um impacto severo sobre o desempenho do mesmo, bem como pode causar falhas de rota, perdas de pacotes e aumento dos atrasos. O TCP interpreta estas perdas como congestionamento e invoca o mecanismo de controle o que leva a transmissões desnecessárias e degradação do desempenho da rede. Para tentar resolver estes problemas, várias adaptações do TCP são propostas ao modelo sem fio, adequando a arquitetura existente aos novos problemas desta tecnologia.

O UDP (*User Datagram Protocol*) oferece um conjunto limitado de serviços quando mensagens são trocadas entre dois nós através de uma rede que utiliza o IP. UDP é uma alternativa ao uso do TCP e, junto com o IP, é às vezes referenciado como UDP/IP. Assim como o TCP, esse protocolo utiliza o IP para receber as unidades de dados (*datagram*) de um computador para o outro. . No entanto, ao contrário do TCP, o UDP não provê o serviço de divisão de mensagens em pacotes e a reordenação desses no destino. Isso significa que programas que utilizam UDP tem que ter a capacidade de garantir que a mensagem chegou por completo e na ordem correta. Aplicações de rede que desejam economizar processamento por utilizarem pequenas unidades de dados devem utilizar UDP ao invés de TCP. Neste protocolo é implementada a numeração de portas, que é usada para diferenciar usuários e opcionalmente a capacidade de checagem dos bits para descoberta de erros (*checksum*).

2.2.5 Camada de Aplicação

A camada de aplicação é a mais alta do modelo OSI, em outras palavras, é a camada onde os usuários interagem com aplicações que criam os dados que serão mandados através da rede.

Essa camada interage com aplicações que implementam um componente de comunicação. A camada de aplicação identifica os pontos de comunicação, determina recursos disponíveis e sincroniza a comunicação. Ao identificar parceiros para comunicação a camada de aplicação determina a identidade e

disponibilidade dos parceiros. Quando a disponibilidade é descoberta essa camada decide se existe capacidade de comunicação suficiente para a transmissão dos dados. Na comunicação síncrona, toda comunicação entre aplicações requer cooperação que é gerenciada pela camada de aplicação.

Exemplos de programas da camada de aplicação incluem clientes de *email*, navegadores para internet, clientes FTP, VoIP, entre outros.

Para o caso de estudo deste trabalho, foi escolhida como aplicação a ser utilizada a VoIP (*Voice Over IP*) [13]. Os motivos desta escolha devem-se ao caráter não habitual do uso de voz em redes sem fio, o que motiva este caso de estudo a atingir os requisitos desse tipo de aplicação em um ambiente que a priori é avesso a ela.

Uma aplicação VoIP corresponde a “colocação da voz” em pacotes IP, para que desta forma possam ser enviados através da internet. O padrão de envio da voz digital através da internet tem se tornado cada vez mais comum, uma vez que ao invés de utilizar o circuito fechado de uma empresa de telefonia comum, o padrão usa os meios já existentes da internet para o tráfego de uma chamada de voz, o que torna o custo das ligações menor que os cobrados pelas empresas telefônicas.

Motivos como esses fizeram do VoIP um padrão de grande interesse na área de comunicações e a melhoria na qualidade de serviço fornecida a aplicação é um interesse de primeira instância.

2.2.6 Comentários Adicionais

Como pôde ser observado neste capítulo, existe uma infinidade de soluções existentes em cada camada, cada uma delas adequada a um certo cenário. As camadas do modelo OSI, no entanto, são autocontidas, ou seja, são implementadas para terem abrangência dentro das próprias camadas, sem interações com outros níveis. O modelo que será apresentado a seguir, mostra que é possível otimizar o modelo OSI com a simples interação entre as diversas as camadas e as inúmeras soluções que nelas existem.

3. Modelo Cross-Layer

A tendência a um mundo sem fio é notável. Cada vez mais redes funcionam sem que seja preciso o uso de cabos para conectar seu nó. A dinâmica dos dias de hoje, ajudou a fazer com que cada vez mais os pontos de uma rede tivessem que ser móveis. A mobilidade, porém, traz alguns problemas. O consumo de energia de nós móveis, agora, tem de ser avaliado, uma vez que o funcionamento desses se dá através do uso de baterias para garantir que possam se mover livremente. No entanto, a energia armazenada por uma bateria não é eterna, por isso, prover maior tempo de vida tem sido o objetivo de grande parte dos estudos na área de tecnologia de redes sem fio.

Boa parte da energia em um nó é consumida através da interface de rede. Prover menor gasto de energia significa limitar os recursos utilizados na comunicação, que por sua vez, diminui a qualidade de serviço da rede. O modelo *cross-layer* visa, através da otimização da pilha de protocolos, prover qualidade de serviço e atingir uma maior duração da bateria para garantir que exista total satisfação do usuário, tanto no serviço prestado, quanto no tempo útil de vida..

O modelo *cross-layer* de otimização funciona através da interação entre as camadas da pilha de protocolos, que de acordo com a necessidade da aplicação, adaptam seus parâmetros para prover maior desempenho a rede. O objetivo dessa abordagem é conseguir prover uma boa qualidade de serviço através da adaptação dinâmica de parâmetros que, de acordo com as necessidades da aplicação, se ajustam para obter o melhor resultado possível. Por exemplo, visto que uma aplicação necessita de uma determinada taxa de perda de pacotes para funcionar de forma aceitável, os parâmetros de correção de erros na camada de enlace são ajustados e é dada prioridade a esta aplicação na camada TCP para que se possa aumentar o tamanho da janela de recepção a fim de garantir ao usuário uma boa resposta à sua necessidade.

3.1 Interação de parâmetros

Através do modelo *cross-layer* uma camada pode interagir com camadas acima ou abaixo dela, ou mesmo com parâmetros dentro da própria camada de modo que melhor convier, por isso a abordagem *cross-layer* pode ser categorizada das seguintes formas:

- **Ajuste Local:** A informação de uma camada é utilizada para ajustar seus próprios parâmetros, sem que seja necessária troca de informação com outras camadas. Por exemplo a taxa de bit erro na camada física poderia ser utilizada por ela mesma para aumentar a potência de transmissão.
- **De cima para baixo:** Nesta abordagem de otimização as informações fluem das camadas superiores para as inferiores, um exemplo seria o nível aceitável de erro para uma aplicação. Essa informação poderia ser passada para as camadas mais abaixo, como transporte e enlace, para que essas ajustassem parâmetros como correção de erros para atender a requisição da aplicação.
- **De baixo para cima:** A informação flui das camadas mais baixas para as mais altas nesta abordagem. Um exemplo dela seria o fluxo da informação da camada de transporte (ex. taxa de pacotes perdidos) para a camada de aplicação, que ajustaria a taxa de envio a fim de melhorar a taxa erros apresentada.

3.1.1 Exemplos de Interações

O ajuste de parâmetros numa mesma camada é, em geral, mais fácil de ser executado já que as camadas do modelo OSI têm, por padrão, características de funcionarem individualmente. Alguns exemplos de interações entre as camadas podem ser listados a seguir.

- Física: Informações sobre o estado do canal de comunicação, por exemplo, a taxa de erro nos bits da camada física, pode ser usado para que a camada de enlace adapte seu taxa de correção de erro, ou mesmo a potência do sinal de transmissão pode ser ajustada pela camada de enlace para aumentar a qualidade do sinal.
- Enlace: O número de retransmissões poderia servir como parâmetro para mensurar a qualidade do canal de transmissão. Baseado neste dado o TCP, na camada de transporte, poderia reajustar os temporizadores de retransmissões. Parâmetros na própria camada de enlace, ex. correção de erro, poderiam ser ajustados de acordo com as necessidades passadas pela camada de aplicação.
- Rede: Dados da camada de enlace poderiam ser utilizados para ajuste de parâmetros e conseqüente redução na latência da comunicação.
- Transporte: Dados sobre a perda de pacotes podem ajudar a camada de aplicação a adaptar a taxa de envio de dados. A camada de enlace pode mudar o mecanismo de correção de erros baseada no número de retransmissões fornecido pelo TCP.
- Aplicação: Uma aplicação pode utilizar dados como condição do canal para adaptar seu próprios parâmetros de envio de dados, ou pode indicar ao usuário a vazão necessária e vazão disponível para que ele tome decisões através da informação.

Neste ponto se faz necessária uma observação. A estrutura de otimização *cross-layer* não interage somente com as camadas do modelo OSI, mas faz também do usuário uma camada de otimização.

- Usuário: Um usuário pode dar ao sistema informações que passam despercebidas pelas camadas do modelo OSI, para que parâmetros delas não fossem alterados erroneamente.

3.2 Comentários Adicionais

Como apresentado, o modelo de otimização *cross-layer* pode ser uma boa alternativa para que seja aumentado o desempenho de redes sem fio, sem que sejam necessárias grandes mudanças no que se refere à parte estrutural da comunicação (modelo de protocolos).

No entanto, é preciso observar que as mudanças neste modelo de otimização não são feitas ao acaso, e sim baseadas nas métricas da rede, requisitos da aplicação e responsabilidades dos protocolos. Uma mudança sem sentido pode trazer efeitos negativos em outra camada o que causaria uma degradação ao desempenho da rede, ou ainda, uma série de ajustes descoordenados por várias interações *cross-layer* poderia gerar um conjunto de protocolos bagunçados, ao ponto de tornarem-se inutilizáveis.

Portanto, o modelo de otimização *cross-layer* é uma boa saída ao conjunto de dificuldades apresentadas ao uso do modelo OSI e redes sem fio. Contudo, é necessário que as mudanças sejam estudadas e baseadas num conjunto de “regras” bem definidas.

4. Estudo de caso: aplicação VOIP

Para o caso de estudo relacionado a este trabalho foi utilizada a pilha de protocolos descrita no quadro 1.

Quadro 1. Pilha de Protocolos do Caso de Estudo

Aplicação	VoIP
Transporte	TCP
Rede	IP
Enlace	802.11
Física	802.11

A escolha de voz sobre IP como aplicação no ambiente de simulação foi feita devido ao caráter pouco funcional de aplicações VoIP em um ambiente sem fio. O protocolo TCP e o IP (TCP/IP) foram utilizados por serem o padrão da rede mundial de computadores, a internet. O padrão de comunicação 802.11 foi a escolha deste projeto por se tratar de uma tecnologia em evolução, cujos problemas podem ter uma boa saída através da solução aqui apresentada.

O meio de comunicação sem fio é ideal para a aplicação do modelo de otimização *cross-layer*, já que a escassez de alguns recursos nesse meio de comunicação (bateria esgotável, banda de comunicação pequena) visa ser superada através da interação entre as camadas para o melhor ajuste dos parâmetros a fim de suprir a necessidade da aplicação.

O conjunto de protocolos utilizado foi escolhido devido a tendência e expansão dessas tecnologias, tanto de voz sobre IP como das redes sem fio. No entanto, o desafio da interoperabilidade entre essas duas tecnologias foi o que motivou este estudo de caso.

4.1 Métricas

Para aplicações que utilizam voz sobre IP são necessários alguns requisitos para que a comunicação de um ponto a outro tem uma qualidade aceitável ao ouvido humano.

Para que uma chamada “telefônica” realizada através da internet tenha “sucesso”, parâmetros como *jitter*, latência, largura da banda, perda de pacotes e codificação são extremamente importantes.

- *Delay* - O tempo que o som leva para ser digitalizado por um emissor até o momento em que o usuário ouve no ponto de destino é denominado *delay*. Quando a voz viaja através de pacotes VoIP, ela é dividida e agrupada em pacotes que viajam através do meio de comunicação, são “reagrupados” no destino para que o usuário possa ouvir a conversação. Pacotes que viajam grandes distâncias ou mesmo passam por redes lentas podem ter taxas de *delay* altas.

O *delay* ou latência afeta uma conversa tornando difícil ao usuário saber quando falar ou saber que o outro parou de falar. A dinâmica de redes que mudam muito e *delays* podem tornar a conversa impraticável uma vez que os pacotes podem se perder ou demorar muito para chegarem aos seus destinos.

O ouvido humano pode tolerar pequenas falhas no som da voz, ou seja, é possível compreender as palavras mesmo que pequenos pedaços dela tenham se perdido na comunicação. Para suprir a perda de pacotes o VoIP implementa um algoritmo para encobrir as perdas. Este algoritmo repete o último *frame* num nível mais baixo o que engana o ouvido humano e torna a conversa contínua. No entanto, se as perdas são muito grandes essa técnica não é viável e a conversa torna-se incompreensível.

- *Jitter* - Um conceito um pouco mais complicado é o *jitter*. O *jitter* é a variação do atraso de pacotes, ou seja, ao invés dos dados chegarem ao seu destino sempre no mesmo intervalo, por exemplo 50ms, eles iriam variar, às vezes 10ms, outras 100ms. VoIP implementa um buffer

para tentar solucionar este problema, o que no entanto, resulta em um *delay* adicional. Portanto o *jitter* é outro fator importante para a boa qualidade da conversação através de voz sobre IP.

- Vazão – Este conceito representa a quantidade de dados que flui de um ponto a outro da rede numa certa quantidade de tempo. Este parâmetro é importante numa rede com voz sobre ip pelo simples fato de que se os dados são mandados lentamente para o outro ponto a qualidade da voz é afetada tornando a comunicação inaceitável.

4.2 Lista de parâmetros e suas relações

A lista de parâmetros descrita no quadro 2 mostra como podem ser feitos ajustes nas camadas do modelo híbrido de forma a obter o resultado esperado segundo os requisitos da aplicação. As mudanças indicam que parâmetros podem ser observados para alteração de outros parâmetros na mesma ou em outras camadas.

Quadro 2. Parâmetros e suas relações

Camada	Parâmetro	Camadas Interessadas
Física	Potência de Transmissão	Usada pela camada de enlace para adaptar mecanismos de correção de erro
	Taxa de Bit-Erro	Usada pela camada de enlace para adaptar mecanismos de correção de erro
		Usada pela camada física para adaptar a potência de transmissão (adaptação local)
	Codificação/Modulação	Usada pela camada de aplicação para atender os requisitos de QoS
Usada pela camada de enlace segundo as condições do canal		
Enlace	Mecanismos de controle de erro (FEC, ARQ)	Usada pela camada de aplicação segundo perda e atrasos aceitáveis

		Usada pela camada física para ajustar potência de transmissão, Taxa BER
	N° de retransmissões	Usada pela camada de transporte para adaptar os temporizadores RTO, RTT
	Tamanho do quadro	Usada pela camada de aplicação segundo os requisitos de QoS
	Eventos que indicam início/fim de <i>handoff</i>	Usada pela camada de rede para reduzir o atraso no <i>handoff</i> e melhorar a vazão.
Rede	Início e fim de <i>handoff</i>	Usada pela camada de aplicação para diminuir a taxa de envio de dados
		Usada pela camada de transporte para ajustar (ou congelar) os temporizadores RTO, RTT
		Utilizada pela camada de rede para identificar falhas nas rotas
	Interfaces de rede	Usada pela camada de aplicação para atender requisitos de QoS
		Usada pela camada de enlace para ajustar taxa de bit erro
Transporte	N° de pacotes perdidos	Usada pela de aplicação para adaptar a taxa de envio
	Vazão	Usada pela de aplicação para adaptar a taxa de envio
	Janela de recepção	Usada pela camada de aplicação segundo prioridade da aplicação
	RTO	Ajustada pela camada de enlace segundo n° de retransmissões e mecanismos de controle de erro
	RTT	Ajustada pela camada de enlace segundo n° de retransmissões e mecanismos de controle de erro
		Usada pela camada de rede para determinar início/fim <i>handoff</i>

	Janela de congestionamento	Ajustada pela camada de enlace segundo n° de retransmissões e mecanismos de controle de erro
		Ajustada pela camada de transporte para melhorar a vazão (adaptação local)
Aplicação	Atraso aceitável	Ajuste na camada de enlace segundo n° de retransmissões e mecanismos de controle de erro
	Perda aceitável	Ajuste na camada de enlace segundo n° de retransmissões e mecanismos de controle de erro
	Taxa de envio (vazão)	Ajuste na camada de enlace segundo n° de retransmissões e mecanismos de controle de erro
		Ajuste na camada de transporte para adaptar vazão
	Requisitos de QoS	Ajuste na camada de enlace para priorização de quadros
		Ajuste de interfaces na camada de rede
		Ajuste da janela de recepção na camada de transporte

5. Simulação e Resultados

5.1 O Simulador

O simulador IT Guru da OPNET [14], contempla conhecimentos específicos sobre como aplicações em rede, roteadores e servidores trabalham, tornando possível aos usuários simular o ambiente de trabalho, isolar fontes de problemas e até mesmo prever possíveis pontos falhos da rede ou o impacto causado por modificações. Nesta suíte de aplicações estão implementados pontos como captura de aplicações, visualização da rede, diagnóstico automático de problemas de aplicação, desempenho de redes, entre outros.

Através do simulador é possível realizar simulações de ambientes de redes sem fio como as apresentadas nesse trabalho, customizando-se desde a pilha de protocolos TCP/IP até algoritmos e protocolos específicos, como algoritmos de roteamento, protocolos de acesso ao meio e *codecs* para codificação da voz.

Para a configuração dos cenários de simulação é necessário configurar o Perfil de Aplicações e o Perfil de usuários. O primeiro habilita no ambiente o conjunto de aplicações disponíveis que serão configuradas em perfis de usuários. As estações utilizam os perfis de usuários e fazendo uso do conjunto de aplicações disponíveis no perfil para simular o cotidiano de um usuário comum. Com a simulação do cenário em diferentes configurações e o recolhimento de informações relativas ao desempenho, tráfego, atrasos dos pacotes na rede, foi possível medir o impacto das mudanças e verificar como um parâmetro de uma camada pode influenciar no desempenho da rede.

5.2 O Ambiente

O ambiente de simulação foi composto por 10 estações sem fio, distribuídas de forma aleatória em um espaço plano, sem barreiras, com área de

aproximadamente 600 m², conforme figura 5. O ambiente conta ainda com um *access point* que serve como concentrador de sinal e ponte para possíveis comunicações com outras redes sem fio ou cabeadas.

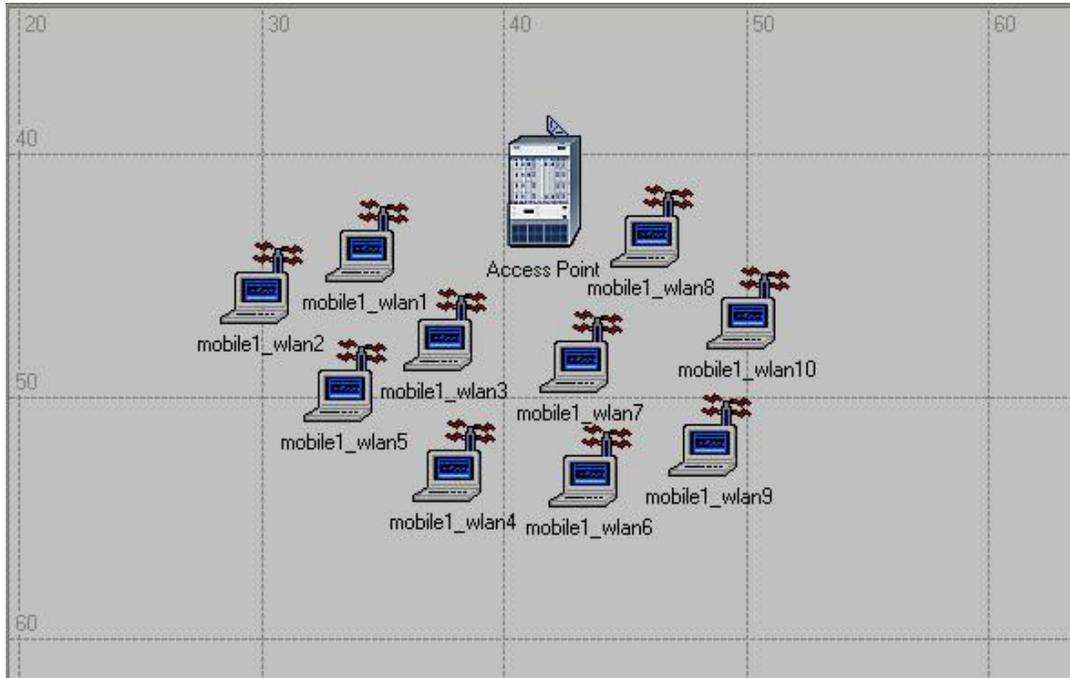


Figura 5. Ambiente de Simulação.

O perfil de aplicações foi configurado para disponibilizar o uso de voz sobre ip, com a possibilidade de opção de dois *codecs* diferentes de voz, G.711 e G.729. A partir desses, ficaram disponíveis dois perfis diferentes de usuários, estação base e estação remota. A estação base é responsável pela geração da conversa, ou seja, transmissão de dados, e as estações remotas são as estações destino das chamadas.

5.3 Cenários e Resultados

Foram simulados nesse estudo vários cenários a fim de descobrir a configuração que melhor atendia aos requisitos específicos da aplicação utilizada neste trabalho. Para garantir a confiabilidade dos resultados, a simulação de cada cenário foi repetida cinco 5 vezes utilizando sementes diferentes. Este número de repetições foi determinado através do método da estatística descritiva de

determinação do tamanho de amostras [15]. Foram realizados o cálculo da média, desvio padrão e intervalo de confiança dos dados obtidos. Para manter um número padrão de simulações, o número de repetições foi baseado nos dados do cenário que mais precisou de replicações. Os gráficos foram plotados somente com a média, pois, com o número de repetições calculado pôde-se garantir que todos os pontos do gráfico têm variação de no máximo 0.5 com confiança de 95% de que a variação tem este nível de precisão. Como mencionado em 4.1, as métricas coletadas para cada cenário foram: variação do atraso (*jitter*), latência (atraso) e vazão.

5.3.1 Cenário 1 – Base

O primeiro cenário corresponde à base, ou seja, o cenário com o qual serão comparados os resultados obtidos em outros cenários. O quadro 3 resume os parâmetros utilizados neste cenário.

Quadro 3. Parâmetros e protocolos usados no processo de otimização

Parâmetros do Transporte		
Tamanho Máximo do Segmento	Tamanho máximo que o segmento de dados pode assumir.	2272 bytes
Retransmissão rápida	Algoritmo para retransmissão rápida de pacotes.	Habilitada
Algoritmo de Nagle	Utilizado para evitar ACKS desnecessários quando a rede transmite pacotes de tamanho pequeno	Desabilitado
Algoritmo de Karn	Utilizado para calcular o RTO.	Habilitado
RTO inicial	Tempo inicial do Intervalo de retransmissão	3 s
RTO min.	Limite inferior do RTO	1 s
RTO max.	Limite superior do RTO	64 s
Ganho de tempo do RTT	Ganho de tempo do RTT (<i>Round Trip Time</i>), tempo que o pacote leva para ir até o destino e retornar	0.125 s
Parâmetros do Enlace		

MTU	Tamanho máximo do pacote.	2304 bytes (Wlan)
Endereçamento	Forma de Endereçamento	IPv4
Parâmetros da Rede		
Taxa de dados	Taxa com a qual os dados são enviados	1 mbs
<i>Short Retry Limit</i>	Tempo para retransmitir quadros pequenos.	7s
<i>Long Retry Limit</i>	Tempo para retransmissão de quadros grandes.	4s
Área de Freqüência	Banda de transmissão utilizada pela camada física para transmissão.	1.000 Khz
Codecs De voz		
G.711	Codec utilizado para compressão voz através do PCM (<i>Pulse Code Modulation</i>). Muito utilizado na internet.	Transmissão
G.711 com supressão de silêncio		Recepção
G.729	Codec para compressão de voz que divide os dados em blocos de 10 milisegundos.	Transmissão
G.729 com supressão de silêncio		Recepção

Como pôde ser observado no quadro 3 foram utilizados parâmetros e valores correspondente a de uma rede sem fio 802.11. O objetivo é avaliar o desempenho de uma aplicação num cenário mais próximo do real possível.

Os resultados obtidos nessa simulação mostram que uma aplicação de voz em um ambiente sem fio não traz um desempenho satisfatório. A média da variação de atraso e da latência, parâmetros extremamente importantes a aceitabilidade de uma aplicação VoIP assume valores que implicam numa má qualidade de comunicação. A variação de atraso médio foi de aproximadamente 8,19 segundos (conforme figura 6), a latência média de 8,44 segundos (conforme figura 7) e com vazão média de 88.406 bits/s (conforme figura 8). O desvio padrão obtido com as amostras foi de 0,56 calculado sobre a média das simulações efetuadas.

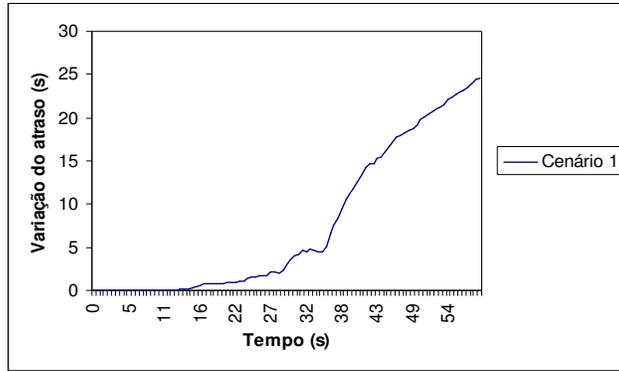


Figura 6. Variação do Atraso

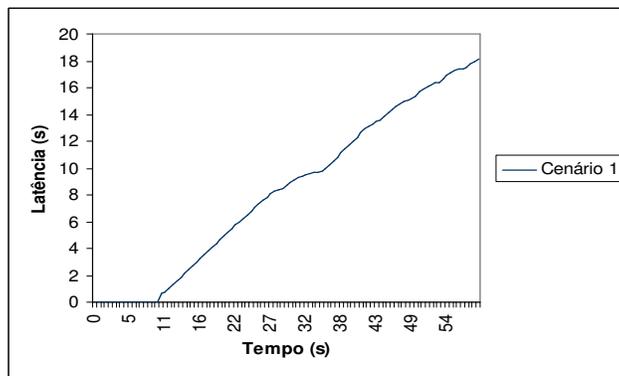


Figura 7. Latência

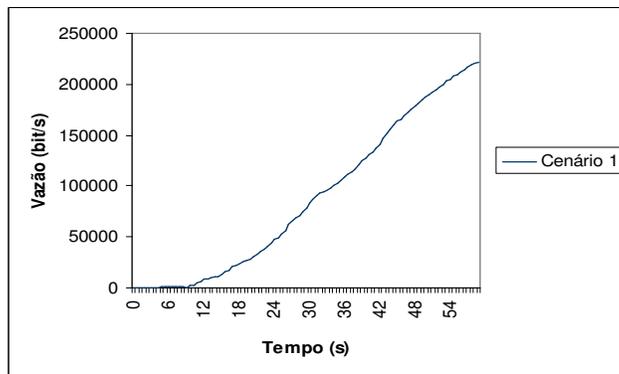


Figura 8. Vazão

Nos cenários seguintes os parâmetros foram ajustados, com base nas métricas recolhidas no primeiro cenário e nos requisitos da aplicação.

5.3.2 Cenário 2

No segundo cenário foram simulados os impactos na aplicação caso, ao invés de utilizar um misto de *codecs* (G.711 e G.729, que são de modo a manter melhor comunicação entre base e destino), fosse somente utilizado um único *codec*. Neste cenário foi utilizado o G.711, conforme mostrado no quadro 4, *codec* de voz que representa um padrão de 8 bit de dados comprimidos através de PCM (*Pulse Code Modulation*), algoritmo utilizado para compressão de sinais de voz a uma taxa de 8000 amostras por segundo. Esse padrão tem uma taxa de codificação de dados de 64 kbits/s.

Quadro 4. Uso de *codec* de voz G.711

Parâmetros Otimizados		
Codecs	G.711	Transmissão
	G.711 com supressão de silêncio	Recepção

O impacto no desempenho do cenário com o uso exclusivo desse *codec* foi negativo. A variação do atraso passou de 8,19s para 18,04s, conforme figura 9, ou seja, houve um aumento de mais de 100% e a latência obteve um aumento de 18%, vide figura 10. Uma discrepância tão grande nesta métrica deve-se ao fato do *codec* G.711 ser indicado para redes com maior lastro de banda. Comunicações com recursos limitados como o meio sem fio são afetados pelo alta taxa de envio de pacotes e conseqüente grande número de envio de ACKs (pacotes de confirmação). A vazão em contraponto diminuiu, vide figura 11, o que, no entanto, só agrava o quadro formado devido a taxa menor de envio de dados, tornando inviável a utilização deste *codec* em exclusividade.

5.3.3 Cenário 3

O terceiro cenário utilizou como *codec* de voz o G.729, conforme quadro 5. Este é um algoritmo compressor para dados de aplicações de áudio que comprime a voz em blocos de 10 milisegundos. A necessidade de pouca banda de

comunicação deste *codec* opera a uma taxa de 8 kbits/s, o torna mais adequado ao caso de estudo, dado que comunicação sem fio tem uma banda de comunicação escassa.

Quadro 5. Uso de *codec* de voz G.729

Parâmetros Otimizados		
Codecs	G.729	Transmissão
	G.729 com supressão de silêncio	Recepção

Os resultados foram positivos com o uso exclusivo do G.729. As médias de variação do atraso e latência mantiveram valores muito semelhantes (8,21s e 8,43s respectivamente) ao do primeiro cenário durante o tempo simulado (Conforme figuras 9 e 10), no entanto, nota-se que a curva deste cenário sobe de forma mais suave à medida que o tempo do uso da aplicação aumenta. A vazão, mostrada na figura 11, teve comportamento similar ao cenário 1, ficando, porém, um pouco aquém da média obtida no mesmo.

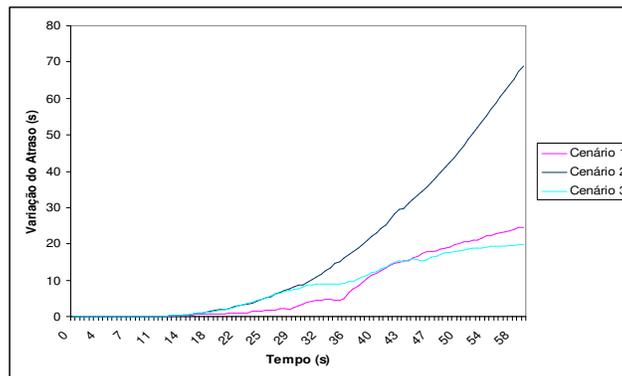


Figura 9 – Variação do Atraso com a mudança dos *codecs*

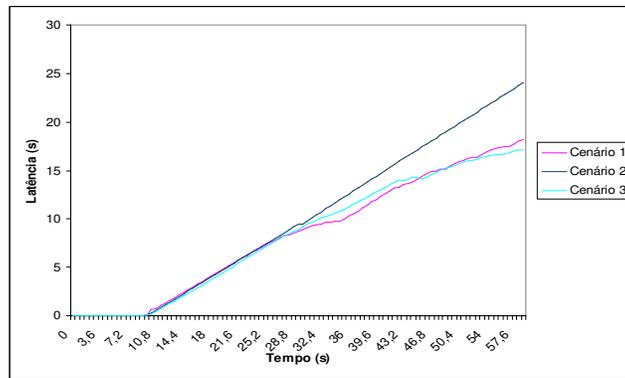


Figura 10 – Latência com a mudança dos *codecs*

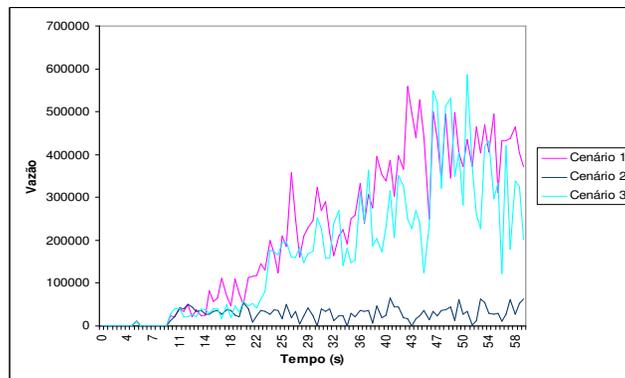


Figura 11 – Vazão com a mudança dos *codecs*

5.3.4 Cenário 4

No cenário 4 foram mudados parâmetros da camada de rede, conforme mostrado no quadro 6. As mudanças neste cenário tiveram o intuito de testar se o aumento no tempo de retransmissão dos pacotes surtiria efeito positivo na rede. O *short retry limit* é usado para medir o tempo de retransmissão de pequenos quadros de dados e o *long retry limit* o de quadros maiores.

Quadro 6. Parâmetros mudados na camada de rede

Parâmetros Otimizados		
Camada de Rede	Short Retry Limit (SRL)	11s
	Long Retry Limit (LRL)	21s

A tentativa de aumentar o limite para a retransmissão desses quadros foi uma tentativa de evitar retransmissões desnecessárias visto que os tempo de atraso em redes cabeadas e sem fio são diferentes, no entanto, não surtiu efeito notável (conforme mostrado nas figuras 12, 13, 14) nas métricas coletadas neste caso de estudo. As médias tiveram alteração muito pequena, o que indica o quadro inalterado em relação ao cenário base.

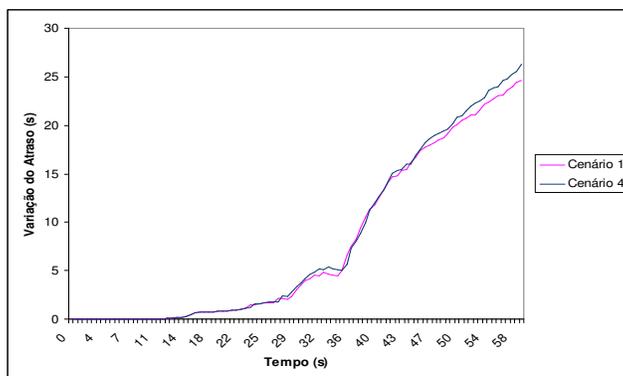


Figura 12 – Variação do Atraso com mudanças nos valores do SRL e LRL

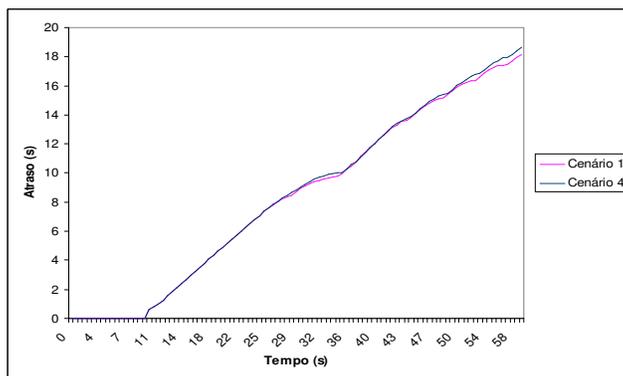


Figura 13 – Latência com mudanças nos valores do SRL e LRL

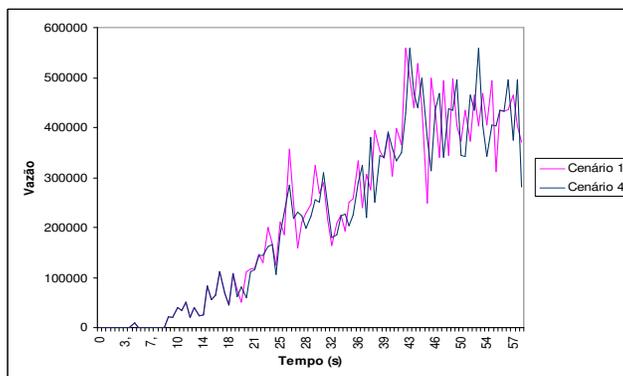


Figura 14 – Vazão com mudanças nos valores do SRL e LRL

5.3.5 Cenário 5

Muitas vezes em comunicações sem fio ocorre grande número de retransmissões devido aos problemas ocasionados pelo meio sem fio e a uso de protocolos advindos da comunicação cabeada. Esse número de retransmissões, porém, não implicava na perda dos pacotes e sim no alto tempo que eles levavam para atingir o seu destino. Este tempo faz com que a rede tenha atrasos grandes, o que por conseqüência gera muitas retransmissões devido ao fato dos temporizadores estarem ajustados para pequenos atrasos. Um grande número de retransmissões causa maior tráfego de pacotes e isso faz com que a rede perca em desempenho. Para tentar solucionar este problema, na camada de transporte foram ajustados parâmetros relativos aos temporizadores de retransmissão para que essas possam ser evitadas. No cenário 5 o intervalo de retransmissões (RTO - tempo que o TCP aguarda pelo pacote ser confirmado como recebido) e o tempo de viagem dos pacotes (RTT – *Round Trip Time*) foi aumentado, o RTO inicial passou de 3s para 4s, o RTO min de 1s para 2s e o ganho de tempo do RTT de 0.125s para 0.2, conforme quadro 7, para fazer com que a rede não tenha pacotes redundantes em decorrência de retransmissões indevidas.

Quadro 7. Parâmetros de intervalo de retransmissão mudados

Parâmetros Otimizados		
Camada de Transporte	RTO inicial	4 s
	RTO min.	2 s
	Ganho de tempo do RTT	0.2 s

As figuras 15, 16 e 17 mostram que essas alterações não obtiveram êxito relevante quando comparadas com o cenário 1.

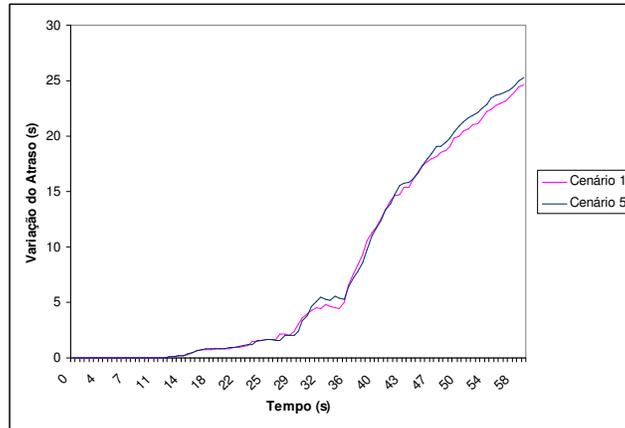


Figura 15 – Variação do atraso com mudanças no RTO e RTT

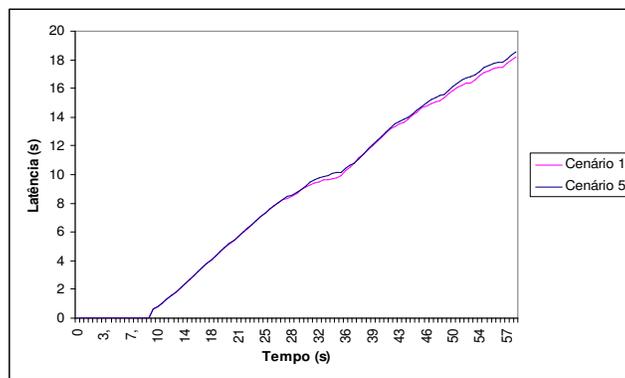


Figura 16 – Latência com mudanças no RTO e RTT

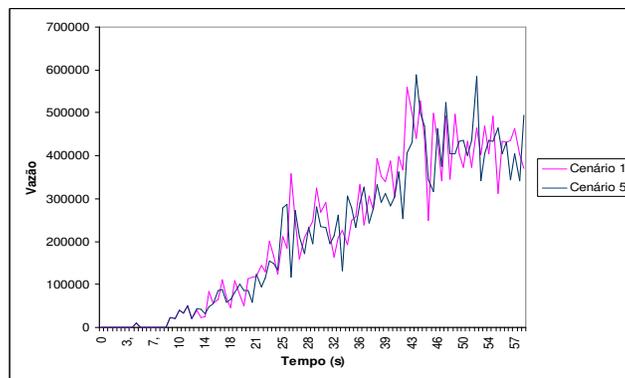


Figura 17 – Vazão com mudanças no RTO e RTT

5.3.6 Cenário 6

O cenário 6 teve o intuito de testar o impacto do uso do algoritmo de retransmissão rápida (fast retransmit) do TCP. Este algoritmo é utilizado para

retransmissão pacotes perdidos, indicados pelo receptor, sem que seja necessária a espera da contagem do RTO.

Este cenário obteve melhores resultados através da não utilização do algoritmo de retransmissão rápida. Este algoritmo é utilizado para retransmissão pacotes perdidos, indicados pelo receptor, sem que seja necessária a espera da contagem do RTO.

Houve melhoria na variação do atraso de aproximadamente 20% com a utilização do *fast retransmit*, ver figura 16, com esta mudança, no entanto, a latência ficou 10% pior que a obtida no cenário base, porém, a curva tende a aproximar-se da do primeiro cenário com a passagem do tempo conforme mostrado na figura 17. A vazão foi menor em relação a obtida no primeiro cenário, vide figura 18.

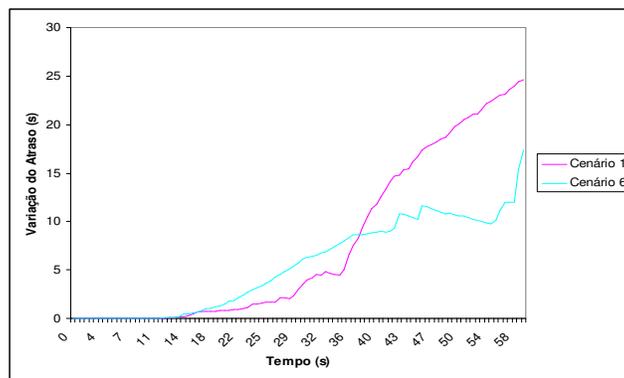


Figura 18 – Variação do atraso com (cenário 1) e sem (cenário 6) algoritmo de fast retransmit do TCP.

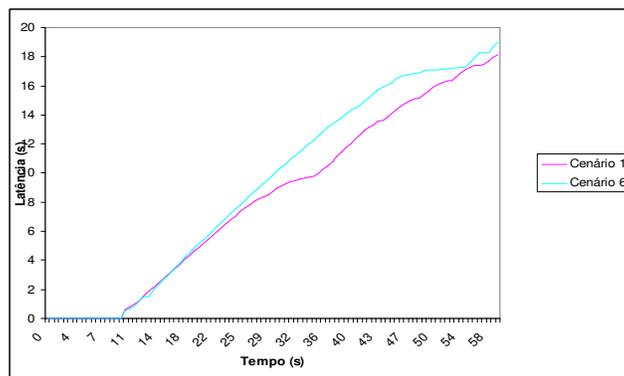


Figura 19 – Latência com (cenário 1) e sem (cenário 6) algoritmo de fast retransmit do TCP.

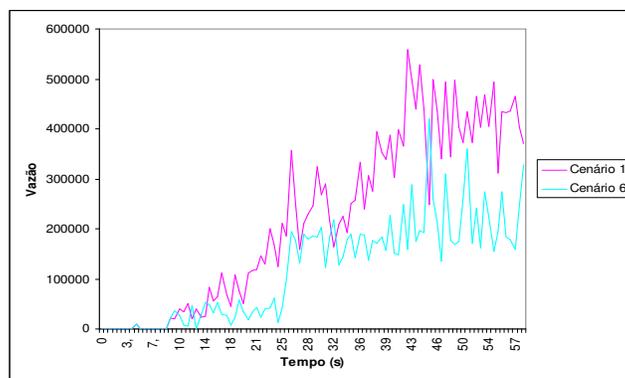


Figura 20 – Vazão com (cenário 1) e sem (cenário 6) algoritmo de fast retransmit do TCP.

5.3.7 Cenário 7

A partir deste cenário as mudanças deixam de ser feitas em apenas uma camada do modelo de protocolos e passam a interagir entre elas para tentar obter a otimização dos resultados obtidos nas mudanças de parâmetros das camadas de forma individual.

Quadro 8. Processo de otimização com as camadas de enlace, rede e transporte.

Parâmetros Otimizados		
Camada de Enlace	Short Retry Limit	11
	Long Retry Limit	255
Camada de Transporte	Retransmissão rápida	Desabilitado
	Algoritmo de Nagle	Habilitado
	RTO max.	120 s
	RTO min.	1.5 s
	Ganho de tempo do RTT	0.2 s

Este cenário agrupa uma série de modificações e conceitos utilizados para tentar melhorar a qualidade da comunicação em cenários anteriores. As mudanças executadas neste cenário, conforme quadro 8, tentam evitar o grande número de repetições aliando as alterações o algoritmo de Nagle que é utilizado para concatenar automaticamente pequenas mensagens, processo que aumenta a eficiência de uma aplicação em rede cuja banda é pequena devido ao decréscimo do número de pacotes que é enviado em uma comunicação.

Os resultados tiveram melhoria notável, conforme figuras 21 e 22 que mostram a diminuição tanto da variação de atraso, aproximadamente 18% (6,353), como na latência, 35% (5,29 s) dos pacotes. A vazão aumentou cerca de 64% como ilustrado na figura 23.

5.3.8 Cenário 8

No oitavo cenário foram utilizadas as mudanças feitas no terceiro e sexto cenários, conforme quadro 9, com o intuito de aliar o *codec* G.729 a parâmetros da camada de transporte.

Quadro 9. Otimização através de mudanças no *codec* e camada de transporte

Parâmetros Otimizados		
Camada de Transporte	Retransmissão Rápida	Desabilitado
Codec	G.729	Transmissão
	G.729 com supressão de silêncio	Recepção

Ambos, terceiro e sexto, obtiveram melhorias em relação ao cenário base, quando efetuaram mudanças isoladas no *codec* e algoritmo de fast retransmit, respectivamente. No entanto, a junção dessas mudanças trouxe resultados negativos ao ambiente, havendo acréscimo médio de 48% na variação do atraso e 10% na latência, conforme mostrado nas figuras 21 e 22. A vazão também ficou abaixo de cenário básico, como mostrado na figura 23. É importante ressaltar que uma mudança em uma camada afeta parâmetros da outra, o que aconteceu neste caso.

5.3.9 Cenário 9

No nono cenário foi colocado em teste o efeito que o algoritmo de Nagle, que é utilizado para concatenar automaticamente pequenas mensagens para aumentar a eficiência de uma aplicação em rede cuja banda é pequena, teria sobre um cenário com configuração idêntica ao oitavo, conforme quadro 10.

Este cenário mostrou que a utilização do algoritmo de Nagle aliado ao *codec* G.729 e a não utilização da retransmissão rápida traz resultados positivos à rede.

Quadro 10. Codec G.729 mais otimizações na camada de transporte.

Parâmetros da Camada de Transporte		
Camada de Transporte	Retransmissão Rápida	Desabilitado
	Algoritmo de Nagle	Habilitado
Codecs	G.729	Transmissão
	G.729 com supressão de silêncio	Recepção

Houve uma melhoria significativa na variação do atraso e latência, com melhoria percentual média de 99%, conforme figuras 21 e 22, em ambas as métricas. O tempo médio de atraso foi de 0,0123 seg. e da variação 0,00033 seg. A vazão neste cenário teve aumento de cerca de 10%, vide 23, mostrando a eficiência das mudanças aqui efetivadas.

5.3.10 Cenário 10

Com o intuito de descobrir os fatores da melhoria obtida no cenário 9, foi simulada neste cenário uma situação idêntica a anterior, mas, desta vez, com o algoritmo de *Nagle* desabilitado, vide quadro 11.

Quadro 11. Mudanças em relação ao quadro 11 para identificar resultados.

Parâmetros Otimizados		
Camada de Transporte	Retransmissão Rápida	Desabilitado
	Algoritmo de Nagle	Desabilitado
Codecs	G.729	Transmissão
	G.729 com supressão de silêncio	Recepção

A perda de desempenho pode ser vista nas figuras 21, 22 e 23. Houve acréscimo na variação do atraso de 7% em relação ao primeiro cenário. Não houve alterações significativas na latência e na vazão.

5.3.11 Cenário 11

Os resultados negativos obtidos no cenário anterior identificaram a importância do algoritmo de Nagle para o caso de estudo. No entanto, ainda era preciso a identificação de cada ponto de otimização, por este motivo, neste cenário o Nagle estava ativo assim como a retransmissão rápida, conforme mostrado no quadro 12.

Quadro 12. Novas mudanças em relação ao quadro 11 para identificar resultados

Parâmetros Otimizados		
Camada de Transporte	Retransmissão Rápida	Habilitado
	Algoritmo de Nagle	Habilitado
Codecs	G.729	Transmissão
	G.729 com supressão de silêncio	Recepção

As figuras 21, 22 e 23, mostram que os resultados com essas mudanças não foram notáveis, o que foi evidenciado através da média da variação de atraso, latência e vazão que permaneceram praticamente inalteradas em relação ao nono cenário.

5.3.12 Cenário 12

Os dois últimos cenários mostraram a eficiência do algoritmo de Nagle para o caso de estudo. No entanto, para verificar se ele se aplica a qualquer caso, neste cenário o *codec* de voz foi mudado novamente para o G.711, vide quadro 13. Por se tratar de *codecs* com diferenças grandes, na parte de compressão, tamanho dos pacotes e taxa de envio de dados foi visto neste cenário que a performance que o algoritmo havia demonstrado anteriormente não se aplica a este caso.

Quadro 13. Codec G.711 com o algoritmo de Nagle e retransmissão rápida

Parâmetros Otimizados		
Camada de Transporte	Algoritmo de Nagle	Habilitado
Codecs	G.711	Transmissão
	G.711 com supressão de silêncio	Recepção

Os resultados, como mostrados pelas figuras 21, 22 e 23, mostram que as variações do atraso e da latência aumentaram notavelmente enquanto a vazão diminuiu. Houve aumento da média de variação do atraso de mais de 100% e de 18% na latência, métricas semelhantes as obtidas no cenário 2. A vazão diminuiu igualmente de forma gritante (90% a menos do coletado no cenário básico).

5.3.13 Cenário 13

O cenário 13 solidificou idéia de que o *codec* G.711 não se adapta ao modelo de comunicação sem fio , pois mesmo na situação semelhante ao melhor resultado, vide quadro 14, os resultado não foram satisfatórios.

Quadro 14. Codec G.711 mais algoritmo de Nagle

Parâmetros Otimizados		
Camada de Transporte	Retransmissão Rápida	Desabilitado
	Algoritmo de Nagle	Habilitado
Codecs	G.711	Transmissão
	G.711 com supressão de silêncio	Recepção

Com configuração semelhante ao definido no cenário anterior, acrescentando-se, no entanto, o algoritmo de retransmissão rápida desabilitada, este cenário trouxe também resultados negativos, adquirindo valores para a variação do atraso, latência e vazão iguais aos obtidos segundo cenário, conforme mostrado nas figuras 21, 22 e 23.

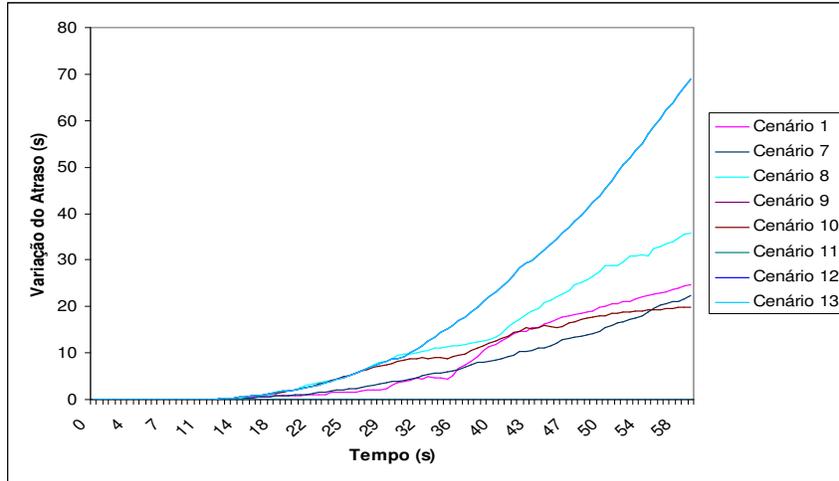


Figura 21 – Variação do Atraso para o cenário 1 e cenários 7 a 13

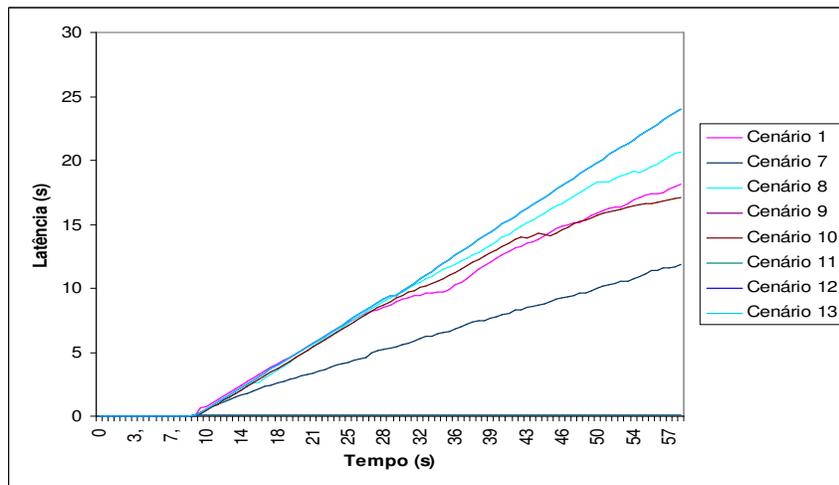


Figura 22 – Latência para o cenário 1 e cenários 7 a 13

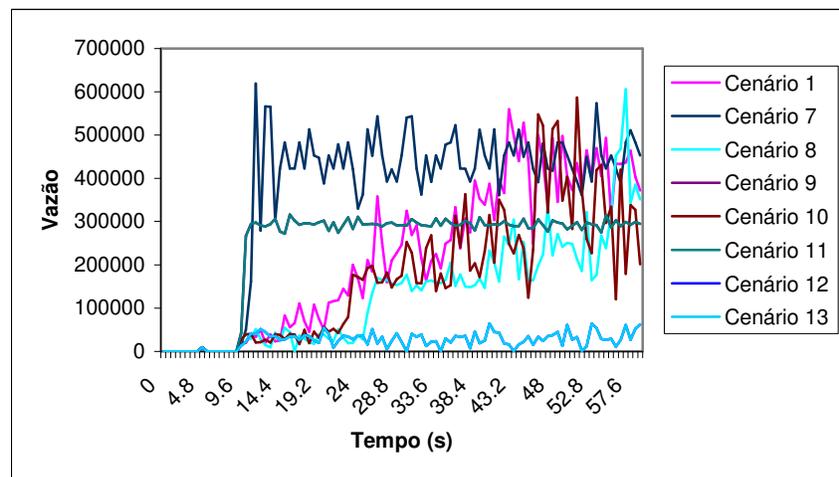


Figura 23 – Vazão para o cenário 1 e cenários 7 a 13

É importante notar que algumas curvas das figuras 21, 22 e 23 estão sobrepostas, pois as mudanças surtiram efeitos semelhantes, como é o caso das curvas dos cenários 9 e 11 ou mesmo as dos cenários 12 e 13.

5.4 Comentários Adicionais

Os resultados apresentados neste capítulo mostram a adaptabilidade do modelo *cross-layer* as mais diversas situações. O cenário que melhor obteve um resultado no âmbito geral deste caso de estudo foi o cenário 9. O *codec* G.729, mais indicado a redes com escassez de recursos, aliado aos benefícios trazidos pelo algoritmo de Nagle, que otimiza o envio de pacotes pequenos, para evitar ACKs desnecessários, mudaram o comportamento da rede e obtiveram melhoria de aproximadamente 99% na variação de atraso e latência. Essas métricas são muito importantes ao tipo de aplicação objeto deste caso de estudo, pois através delas é possível determinar a qualidade de uma chamada de voz através da internet.

Entretanto, é importante notar que a melhor solução para este caso de estudo não é uma solução ótima para qualquer caso. Enquanto o ganho na vazão do cenário 9 foi de apenas 10% em relação ao cenário base, o cenário 7 obteve melhoria de 65%. Apesar de ter obtido vazão menor, o cenário 9 ainda sim é o indicado ao VoIP devido ao fato das prioridades neste caso serem variação do atraso e latência. Outros cenários que acabaram não sendo considerados importantes neste estudo poderiam, portanto, serem indicados a outros casos, cujos requisitos de qualidade de serviço fossem outros.

É importante notar que modelo *cross-layer* visa adaptar-se aos mais diversos requisitos de aplicação, podendo interagir de diferentes formas para necessidades diferentes. O trabalho mostrado neste capítulo serviu para que fossem mapeados os parâmetros que afetam aplicações cujos requisitos sejam semelhantes ao de voz sobre IP. Este mapeamento deve ser feito de acordo com cada caso, existindo, portanto, soluções diferentes pra problemas diferentes.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma abordagem para que fossem solucionados grandes problemas encontrados na comunicação sem fio com a tecnologia atual. Através do modelo *cross-layer* foi mostrado de que é possível utilizar o modelo existente de comunicação, com a necessidade, apenas, de agregar a ele interação entre as camadas, com o intuito de suprir as necessidades da aplicação e do usuário, que é o grande foco da tecnologia no século XXI.

Através do ambiente de simulação Opnet IT Guru, foi demonstrada uma alternativa para fazer funcionar voz sobre IP em um ambiente sem fio, aplicação esta que normalmente é incompatível, leia-se, cujo desempenho é insatisfatório, com este tipo de tecnologia. Com a interação entre as camadas, o modelo de protocolos pôde ser ajustado a fim de suprir as métricas requeridas pela aplicação e prover a melhor qualidade de aplicação ao usuário.

Com melhoria de até 99% na variação do atraso e latência o modelo *cross-layer* mostrou ser muito eficiente em um ambiente de aplicação real, mostrando que realmente pode ser utilizado como alternativa a integração do mundo sem fio ao ambiente cabeado.

Novas ações futuras foram geradas com base nas simulações e resultados obtidos, dentre as quais se destacam:

- A necessidade de se desenvolver uma arquitetura *cross-layer* que possibilite a definição de regras de sinalização e ações para ajustar os parâmetros da pilha de protocolo de rede de acordo com as necessidades das classes de aplicação;
- O projeto e desenvolvimento de algoritmos de otimização, tais algoritmos servirão de base para a automatização do processo de otimização dos parâmetros da rede. Algumas soluções podem ser empregadas como programação linear e algoritmos genéticos.

7. Referências

- [1] A. Jamalipour, S. Tekinay (Eds.), Fourth Generation Wireless Networks and Interconnecting Standards, Vol. 8 of IEEE Personal Communications, 2001.
- [2] Vijay T. Raisinghani, "Cross-Layer design optimizations in wireless protocol stacks", web-site acessado em 05/2005, <http://citeseer.ist.psu.edu/658477.html>.
- [3] A. J. Goldsmith and S. B. Wicker, (2002) "Design challenges for energy-constrained ad hoc wireless networks", in IEEE Wireless Commun., vol. 9, pp. 8- 27.
- [4] Y. Fang and A. B. McDonald, (2002) "Cross-layer performance effects of path-coupling in wireless ad hoc networks: Implications for throughput, power and scalability", in Proc. IEEE IPCCC, vol. 1, Apr. 3-5, pp. 281-290.
- [5] S. Toumpis and A. Goldsmith, (2003) "Performance, optimization and cross-layer design of media access protocols for wireless ad hoc networks", in Proc. IEEE ICC, vol. 1, May, pp. 2234-2240.
- [6] OPNET Technologies, "IT GURU – Making Enterprise Networks and Applications Perform", web-site acessado em 05/2005, <http://www.opnet.com/products/brochures/ITGuru.pdf>.
- [7] A. Zdarsky, Frank, Martinovic, Ivan and B. Schimitt, Jens, "On Lower Bounds For MAC Layer Contention in CSMA/CA-Based wireless Networks", web-site acessado em 07/2005, <http://gridnet.nec-labs.com/dialm/pdf/p8-zdarsky.pdf>
- [8] C. Bisdikian, An overview of the Bluetooth wireless technology. IEEE Communication Magazine, Dezembro 2001
- [9] IEEE 802.11, 1999 ed. (ISO/IEC 8802-11: 1999), "IEEE Standards for Information Technology — Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Network — Specific Requirements — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications."

- [10] Demichelis, C., et al, "IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)", RFC 3393, Novembro de 2002.
- [11] M. Royer, Elizabeth, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", web-site acessado em 08/2005, <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/course/cs263/fa04/papers/royer--eeepc99.pdf>
- [12] Iren, Sami. D. Amer, Paul; "The transporte Layer: Tutorial and Survey", web-site acessado em 07/2005, http://www.sop.inria.fr/mistral/personnel/Ahmad.Ai_Hanbali/PUBLICATIONS/survey_tcp_a_dhoc_2005.pdf
- [13] COLE, Robert G. & ROSENBLUTH, J. H. *Voice over IP performance monitoring*. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol.31, issue 2. abril. 2001.
- [14] "Making Networks and Applications Perform", web-site, acessado em 08/2005, <http://www.opnet.com/>
- [15] Jain, R.; "The art of computer systems performance analysis", Wiley & Sons, Inc., John; Vol. 1, 1991, Páginas: 204 - 220.

8. Datas e Assinaturas

Recife, 19 de Agosto de 2005.

Judith Kelner (Orientadora)

Leonardo Arcanjo (Proponente)