

Análise de desempenho do TCP sobre redes Wimax

Daniel Iser Amorim¹, Gaspare Giuliano Elias Bruno¹

¹Curso de Ciência da Computação - Centro Universitário La Salle (UNILASALLE)
Av. Victor Barreto, 2288, Centro, Canoas - RS – Brasil

daniel.iser@gmail.com, gaspare@inf.ufrgs.br

Resumo. O padrão IEEE 802.16, também conhecido como Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), é visto como tecnologia potencial para prover de forma massiva o acesso à banda larga sem fio, com abrangência metropolitana. Em face do sucesso dos protocolos da internet e ainda que a maioria das aplicações existentes hoje os utilizem, espera-se que a maior parte do tráfego que transitará nessa nova tecnologia seja TCP/IP (Transfer control protocol/Internet Protocol). Este trabalho apresenta um estudo da interação destas tecnologias, objetivando analisar o comportamento e o desempenho das principais implementações do protocolo TCP sobre a camada MAC do IEEE 802.16 em um ambiente real, buscando ainda a otimização dos parâmetros do protocolo de transporte visando um melhor desempenho em links com elevada perda de dados.

1. Introdução

Atualmente o protocolo TCP/IP é a tecnologia dominante nas redes de computadores, por boas razões. O TCP é um protocolo de transporte confiável que foi projetado para apresentar grande desempenho em redes com características diversas. O TCP é o protocolo de transporte mais utilizado hoje em redes de pacotes, como a Internet.

O problema é que o TCP foi desenvolvido para trabalhar sobre redes cabeadas com suas características de alto desempenho e baixas taxas de erros, onde as perdas de dados ocorrem principalmente por congestionamento nos roteadores ao longo do caminho [JACOBSON 88]. Já nas redes sem fio, acontece grande degradação e perda de dados na interface aérea por má qualidade do link ou interferências de rádio, intrínsecas à essa tecnologia. Desta forma, frente a um evento de perda de dados, o TCP interpreta que houve congestionamento na rede e reduz sua velocidade para dar vazão aos *buffers* dos roteadores, reduzindo o seu desempenho de forma considerável neste tipo de rede.

Assumindo a alta penetração da recente tecnologia WiMAX nos próximos anos como um padrão de conexão à internet banda larga sem fio em nível mundial e a massiva utilização da pilha de protocolos TCP/IP por diversas aplicações, torna-se necessário conhecer a interação destas tecnologias e investigar as possibilidades de melhorias e otimização de desempenho.

A literatura sobre o modelo TCP é vasta [KUMAR 1998] e está se voltando para redes sem fio [ABOUZEID;ROY;AZIZOGLU 2003]. A maior parte das pesquisas foram realizadas em redes WiFi IEEE-802.11, ou em links de rádio-satélite.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento do protocolo TCP e suas implementações sobre redes WiMAX em condições diversas de qualidade de link

(relação sinal/ruído), alterando os parâmetros desse protocolo a fim de avaliar a possibilidade de obter melhor desempenho neste tipo de rede.

Os objetivos específicos são: a realização de estudos para o entendimento da tecnologia IEEE-802.16 em sua camada física e camada de enlace; estudo do funcionamento do protocolo TCP e suas implementações. Análise do comportamento do TCP em enlaces OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) sem visada direta; realização de testes em ambiente real em diferentes situações de transmissão.

Na próxima sessão são descritas as características do problema em questão. Na sessão três uma breve descrição da arquitetura IEEE 802.16 e sua interface aérea e nas sessões quatro, cinco e seis são apresentados o modelo proposto e a metodologia, as conclusões dos testes realizados até o momento e os trabalhos relacionados, respectivamente.

2. Caracterização do problema

O AIMD (*additive increase/multiplicative decrease*) ou aumento aditivo e redução multiplicativa é o paradigma utilizado pelo *core* do controle de congestionamento do TCP [Mascolo; Grieco; Dell'Aera 2001]. O TCP inicia a conexão aumentando gradativamente a banda de transmissão até alcançar a banda disponível na rede. Para descobrir a banda disponível, o TCP incrementa a janela de congestionamento até ocorrer uma perda de segmento, detectada através de três sinais de reconhecimento ACK (*Acknowledge*) para um mesmo segmento por parte do receptor, ou o estouro do temporizador (*timeout*). A partir deste momento, a janela de transmissão é reduzida pela metade (redução multiplicativa), pois o TCP interpreta essa ocorrência como uma indicação de perda do segmento, por congestionamento na rede, e, com essa providência, tenta corrigir o problema, reduzindo o fluxo de dados para descongestionar a rede. Na Figura 1 é representado o crescimento da janela e o momento em que ela é reduzida pela metade.

Desta forma, o TCP não distingue quando uma perda é originada por um congestionamento ou por um erro no meio de transmissão, pois o segmento será perdido da mesma forma. Em enlaces de rádio as perdas por interferência no meio de transmissão são muito comuns, ao contrário das redes cabeadas em que estatisticamente são inferiores a um por cento, além do tempo de latência elevado, levando a um baixo desempenho deste protocolo em links de rádio.

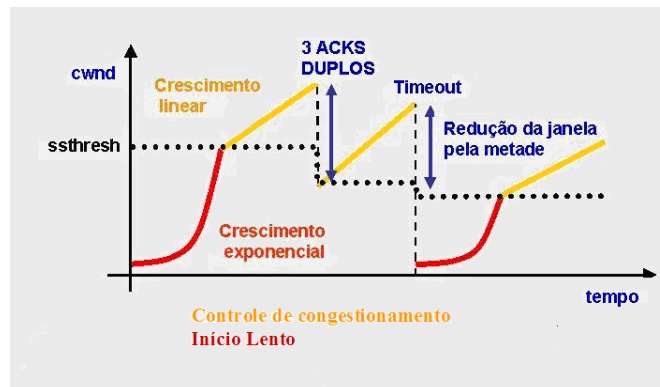


Figura 1. Comportamento típico da janela de congestionamento [MASCOLO, 2003]

3. Apresentação da arquitetura IEEE 802.16

Em 1999 foi criado um grupo de trabalho pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), formado por universidades e fabricantes para desenvolver um novo padrão para acesso sem fio BWA (*Broadband Wireless Access*) [Both; Kunst; Rochol 2006]. As taxas de transmissão esperadas situam-se na faixa dos 70 Mbps e com alcance de até 50 Kilômetros com visada direta. Desde então, várias versões desse padrão foram lançadas.

O novo padrão IEEE 802.16e aprovado em 2005 especifica a interface aérea para acesso fixo e móvel sem fio à banda larga, desenvolvida para utilização em áreas metropolitanas MAN (*Metropolitan Area Network*), podendo utilizar diferentes topologias. As topologias podem assumir as configurações ponto-multiponto, em que uma estação base BS (*Base Station*) distribui o sinal às estações clientes SS (*Subscriber Station*) ou uma topologia *Mesh*, onde as estações são organizadas em pares, ou seja, cada nodo pode passar as informações dos vizinhos adiante, até chegar na estação de *backbone*. [Both; Kunst; Rochol 2006] [Akyildiz; Wang 2005].

3.1. Camada Física

A primeira versão do padrão IEEE 802.16, que foi publicada, utilizava as faixas de frequências de 10 à 66 GHz e necessitava de visada direta entre as antenas, (LOS – *Line Of Sight*), ou seja, não poderia haver obstáculos entre elas. Em 2000 foi lançado o padrão 802.16a, que já trabalhava em frequências mais baixas, na faixa de 2 à 11 GHz, permitindo com isso operar sem visada direta (NLOS – *Non Line Of Sight*), abrindo também a possibilidade de utilização de faixas não licenciadas, como a de 5 GHz. Posteriormente foram lançadas as extensões “b” que tratavam de aspectos de segurança, “c”, interoperabilidade, e em 2005 foi lançada a extensão “e”, que permite a mobilidade, porém com capacidade de banda bem reduzida, em torno de 15 Mbps.

A grande vantagem desta tecnologia é a utilização da modulação OFDM, que consiste na transmissão paralela de dados em diversas subportadoras com modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) ou PSK (*Phase Shift Keying*) e taxas de transmissão, por sub-portadora, tão baixas quanto maior for o número de sub-portadoras empregadas. Esta técnica permite a otimização das reflexões de rádio, ou seja, utiliza os sinais refletidos em obstáculos e os recebe indiretamente somando cada reflexão que chega até a antena receptora, permitindo a utilização em áreas urbanas sem necessidade de visada direta, similar à tecnologia utilizada nas redes celulares.

Os mecanismos de modulação utilizados na interface aérea pelo padrão IEEE802.16 são selecionados conforme o nível de sinal. Se a estação receptora está situada próxima à estação Rádio-Base, então a técnica mais eficiente é utilizada, promovendo maior desempenho (*throughput*), ou seja, maior quantidade de bits por segundo, uma vez que para cada código ou símbolo da portadora de transmissão são representados até 64 bits de uma só vez. Porém, se o nível de sinal recebido baixar e consequentemente reduzir a relação sinal/ruído, um outro tipo de modulação menos eficiente, porém mais robusto é selecionado, permitindo que os dados sejam recebidos de forma inteligível, todavia com menor *throughput*.

Na figura 2 são apresentadas as condições de modulação e a relação com a distância da estação cliente (SS) e estação base (BS). Quanto maior for a distância do cliente, menor será a banda-passante.

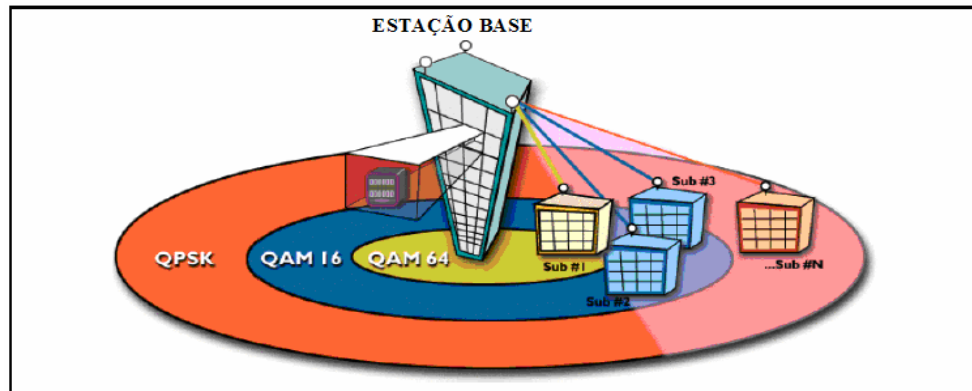


Figura 2. Associação do tipo de modulação em função da distância [MARKS, 2003]

4. Modelo proposto e metodologia

O protocolo TCP é complexo, pois é composto de vários algoritmos internos, que trabalham em conjunto. Além disso, possui características específicas em cada implementação, apresentando comportamentos distintos nos diferentes meios de transmissão. A proposta deste trabalho é avaliar o desempenho de cada uma destas implementações e o seu mecanismo de controle de congestionamento, que inicialmente foi projetado para *links* com baixas taxas de erro, em um ambiente real de transmissão de dados, através de enlaces de rádio com a recente tecnologia de banda larga WiMAX.

Como resultados dos experimentos serão apresentadas soluções de *tunning* para essas redes, como a otimização de tamanho de *buffers* de transmissão/recepção, identificação da melhor implementação do protocolo de transporte a ser utilizada especificamente neste caso, visando minimizar os atrasos em retransmissões por perda de dados, e desta forma, obter o melhor desempenho nesta tecnologia.

O trabalho está sendo realizado em enlaces de rádio com diferentes perfis de qualidade de sinal: com boas condições de sinal/ruído e com degradação. O software de geração de tráfego IPERF está sendo utilizado para execução das rotinas de testes. Para a realização da análise dos dados resultantes foram desenvolvidos programas e scripts específicos em PHP e Unix Shell, de forma a automatizar a sua execução e representar esses resultados através de gráficos de desempenho com o uso do GNUPLLOT.

4.1 Descrição do ambiente de testes e topologia

Os testes estão sendo realizados em ambiente real e controlado, através da utilização de enlaces de rádio na faixa de frequência de 5,8 MHz em canalização livre de interferências, utilizando um analisador de espectro. O circuito é composto de duas estações base, ou unidade de acesso AU (*Access Unit*), e duas estações cliente SS (*Subscribe Station*) de tecnologia OFDM/pré-WiMAX utilizando a mesma codificação na interface aérea e sistema de correção de erros FEC (*Forward Error Correction*) porém com limitação de banda, em 30 Mbps de decida (*download*) e 26,4 Mbps para subida (*upload*).

Estão sendo utilizados quatro perfis de enlace conforme descrito a seguir: com visada direta e grande relação sinal/ruído SNR=30 (*signal/noise relation*); com visada direta e baixa relação sinal/ruído SNR=10; sem visada direta e alta relação sinal/ruído SNR=30; sem visada direta e baixa relação sinal/ruído SNR=10. Os diferentes níveis de relação sinal/ruído estão sendo obtidos através do ajustes de potência de transmissão base/cliente, assim como alterações no índice de modulação e de distância entre estações.

Nos extremos do enlace de rádio foram conectados dois computadores portáteis (*laptops*) com sistema operacional Linux, sendo estes conectados às estações de rádio através de interfaces Ethernet em 100 Mbps *Full-Duplex*. A versão de *kernel* do Linux escolhida foi a 2.6.20-3 por já possuir suporte às diversas implementações de controle de congestionamento do TCP e por permitir a sua mudança em tempo de execução, via comandos *sysctl*. O *kernel* foi compilado com opção de *Kprobe* (para utilização do módulo *tcpprobe*) e todas as implementações do TCP no núcleo do sistema. O módulo *tcpprobe* permite medir a janela de transmissão (CWND).

A Figura 3 mostra a imagem de satélite do local em que foi realizado o primeiro teste sem visada e com obstrução por construções em área urbana de média densidade e a Figura 4 apresenta a topologia que foi adotada nos testes. A seguir são apresentadas as informações dos pontos de testes:

Distância entre as estações: 2,5 Km; coordenadas geográficas da estação cliente: 29°59'14,56" sul e 51°9,26',8" oeste; coordenadas geográficas da estação Base: 29°59'37,95" sul e 51°7'58,37" oeste; condições de visada da estação SS-01 em relação à estação AU-01: obstruída por construções; potência de transmissão com SNR=30: 20 dBm ou 100 mW; potência de transmissão com SNR=10: 0 dBm ou 1 mW.



Figura 3. Imagem de satélite do ambiente de teste real na cidade de Porto Alegre - RS.

TOPOLOGIA DE TESTE

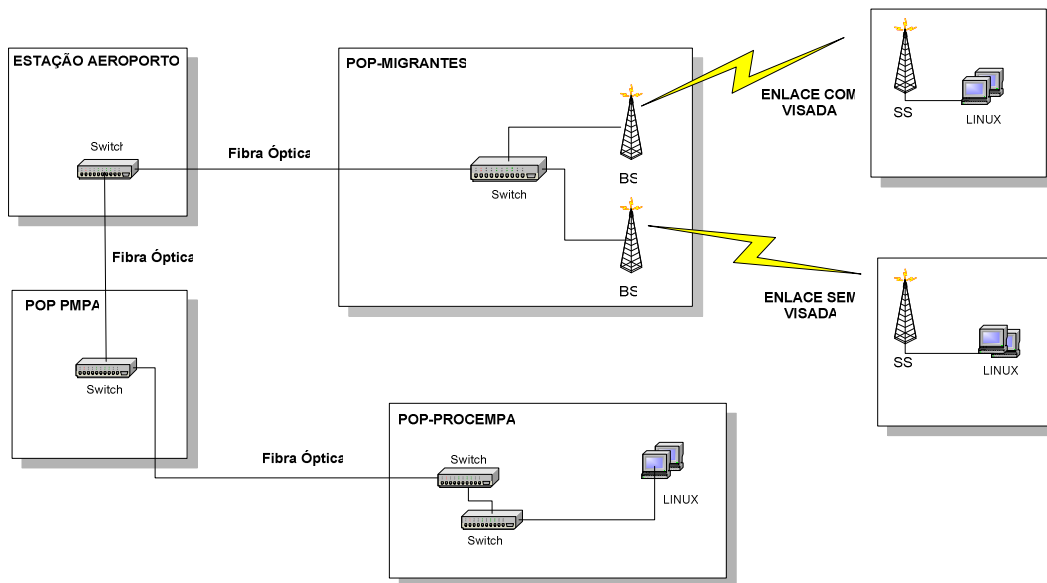


Figura 4. Topologia para os testes propostos

4.2. Descrição dos parâmetros do protocolo a serem analisados

O fluxo escolhido para realização dos testes foi do tipo *bulk*, ou seja, transferência de dados em massa explorando a maior banda passante possível com o objetivo de analisar o comportamento da janela de transmissão de cada implementação do protocolo TCP no limite da capacidade de transferência de dados nas condições de cada enlace.

Em cada teste estão sendo experimentados fluxos com diferentes tamanhos de segmentos, de 64 Bytes até o MSS 64KB (*Maximum Segment Size*) [POSTEL 81] em múltiplos de quatro, assim como diferentes tamanhos de buffer de transmissão, sendo de 2 KBytes à 512 KBytes, também em múltiplos de quatro, para cada um dos tamanhos de segmentos testados. Essas combinações de parâmetros estão sendo repetidas para cada uma das nove implementações do TCP disponíveis no *Kernel* do Linux e para cada um dos quatro perfis de *link* em teste.

As implementações do TCP testadas são: Reno, Vegas, Westwood, Veno, Hybla, Cubic, Bic, Highspeed e Scalable. Entre elas há a expectativa de obter melhor desempenho com o protocolo Westwood, conforme suas características voltadas para links de rádio, porém esta diferença poderá não ser tão evidente, enquanto o sistema de correção de erros FEC estiver atuando de forma efetiva, pois neste caso a correção dos erros na interface aérea deverá evitar as retransmissões do protocolo TCP.

5. Conclusões

Os testes realizados até o momento referem-se ao enlace sem visada direta, o qual foi executado em um enlace com dois perfis distintos: o primeiro com boas condições de

sinal/ruído (SNR=30) e sem perdas de pacotes; o segundo com grande degradação (SNR=10) o que representou, como consequência, mais de 10% de perda de pacotes. No primeiro teste os algoritmos testados comportaram-se de maneira similar, por não haver perda de dados, portanto as nove implementações do TCP testadas aumentaram a CWND até o limite de banda do enlace de rádio, apresentando maior performance com segmentos iguais ou maiores que 1024 bytes.

Nos testes com perfil de grande degradação, situação em que o controle de congestionamento do TCP é ativado, e que as correções pelo sistema FEC não são mais eficazes, o comportamento das diferentes implementações do TCP testadas apresentaram diferença. Percebeu-se destaque das versões Westwood e BIC, que apresentaram melhor desempenho. O Westwood apresentou diferenças de banda de até 300 % acima do pior caso em segmentos de 4 Kbytes e com janela máxima de até 512 Kbytes. Destaque também para o TCP-BIC, que além sustentar taxas de transferências acima dos outros protocolos, obteve maior estabilidade. A figura 6 apresenta os gráficos resultantes dos dados coletados no teste. Nas próximas etapas do trabalho serão analisados os resultados a partir de um enlace com visada direta e com as duas situações de qualidade de sinal, já testadas no experimento sem visada.

Nas próximas etapas do trabalho serão analisados os resultados a partir de um enlace com visada direta e com as duas situações de qualidade de sinal, já testadas no experimento sem visada, onde serão apresentadas as demais conclusões.

Como sugestão para trabalhos posteriores recomenda-se o uso de fluxos concorrentes para análise do comportamento de justiça dos protocolos e o teste de estações clientes com acesso simultâneo à estação base.

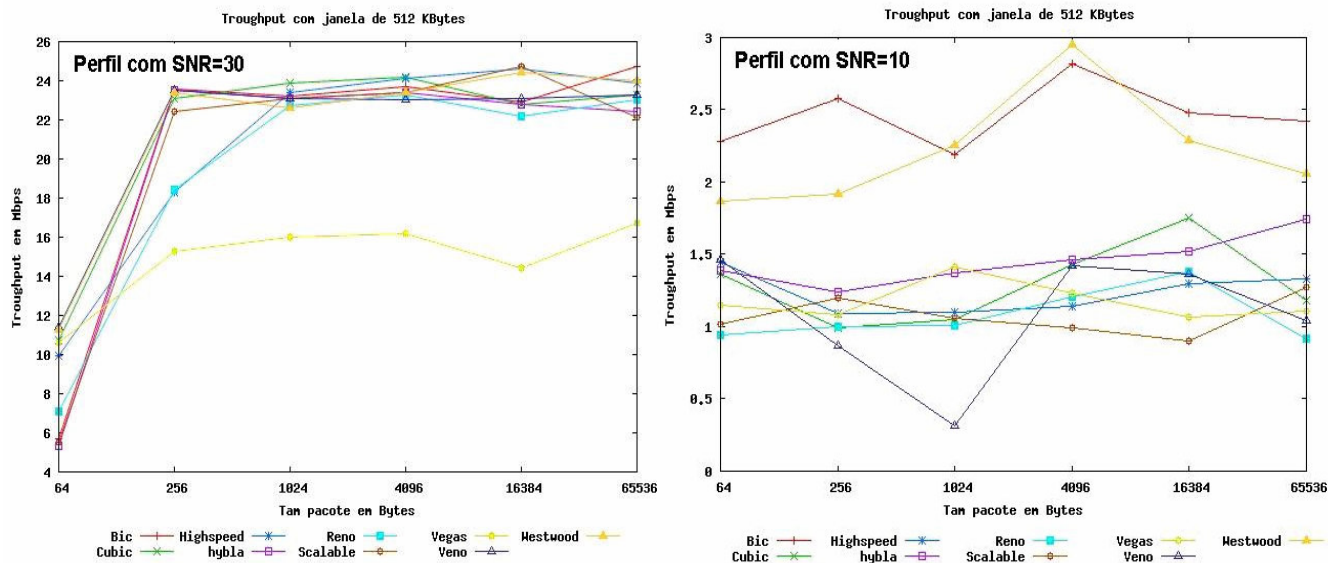


Figura 6. Resultados parciais dos testes em enlace sem visada direta.

6. Trabalhos relacionados

Pode-se citar como trabalhos nesta área o estudo de desempenho do TCP sobre redes sem fio, utilizando *links* de satélite de elevada latência e enlaces WiFi, apresentado pela pesquisa realizada na universidade de Gênova: “TCP performance measured over

heterogeneous wireless networks with high delay-bandwidth product”, que conclui que a versão do TCP Westwood apresenta maior robustez neste cenário [ANNESE et al. 2001].

Outro trabalho realizado foi: “*TCP Westwood: Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links*” [MASCOLO et al. 2001] que compara as implementações TCP Westwood e TCP Reno, considerando o mecanismo avançado de estimativa de banda do TCP Westwood em links com presença de erros. Após a realização dos testes e análise dos resultados, evidenciou-se que o TCP New Reno obteve maior *goodput* (transferência efetiva de dados, descontando as retransmissões) e o TCP Westwood apresentou melhor robustez em situações de perda de dados. Porém nenhum destes estudos foram realizados em redes WiMAX.

7. Referências bibliográficas

- Postel, J. (1981) "Transmission Control Protocol - DARPA "Internet Program Protocol Specification", RFC 793, USC/Information Sciences Institute.
- Kumar, A. (1998) “Comparative performance analysis of versions of TCP in a local network with a lossy link”. Piscataway: IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 6, no. 4, p. 485–498. (ISSN: 1063-6692).
- Abouzeid, A. A.; Roy, S.; Zizoglu, M. (2003) “Comprehensive performance analysis of a TCP session over a wireless fading link with queueing” IEEE Trans. Wireless Comun., vol. 2, no. 2, p. 344-356 (ISSN: 1536-1276).
- Annese, Antonio; Celandroni, Nedo; Davoli, Franco; Ferro, Erina; Gotta, Alberto. (2001) “TCP performance measured over heterogeneous wireless networks with high delay-bandwidth product”. Unidade de pesquisas da Universidade de Genova. (CNR-ISTI)
- Dell’Aera; L. A. Grieco; S. Mascolo. (2001) “Linux 2.4 Implementation of Westwood+ TCP with rate-halving: A Performance Evaluation over the Internet”. Genova: 2001. (CNR-ISTI).
- Mascolo, Saverio (2003) “Westwood+ TCP” Disponível em: <http://193.204.59.68/mascolo/tcp%20westwood/tcpwestwood.htm>
- Jacobson, V., (1998) “Congestion Avoidance and Control”. ACM SIGCOMM’88, Agosto 1988. Postel, J. (1981) "Transmission Control Protocol - DARPA "Internet Program Protocol Specification", RFC 793, USC/Information Sciences Institute.
- Akyildiz, I; Wang, X. (2005) “A survey on wireless mesh networks. IEEE Communications Magazine”. vol. 43, no. 9.
- Marks, Roger. (2003) “The IEEE 802.16 WirelessMAN Standard for Broadband Wireless Metropolitan Area Networks”. Colorado, Disponível em http://www.its.bldrdoc.gov/meetings/art/art03/slides03/mar_r/mar_slides.pdf
- Mascolo, Saverio; Casetti, Claudio; Sanadidi, M. Y.; Gerla, Mario; Wang, Ren. (2001) “TCP Westwood: Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links” UCLA Computer Science Department, ANI- 9983138.
- Both, Cristiano Bonato; Kunst, Rafael; Rochol, Juergen (2006) “Acesso de Banda Larga Sem-fio (WBA) e Redes Metropolitanas Sem-fio (WLAN) baseados no padrão IEEE 802.16 (WiMAX)”