

ESCALONAMENTO E CAC NO PADRÃO IEEE 802.16: UMA VISÃO GERAL

Weverson Silva Morais, Paulo Roberto Guardieiro

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG

weverson@iftm.edu.br, prguardieiro@ufu.br

Resumo – Este artigo tem por objetivo fornecer uma visão geral, por meio de levantamento bibliográfico, sobre Escalonamento e CAC - Controle de Admissão de Conexão dentro tecnologia WiMAX. Descreve, em síntese, suas principais funcionalidades, como por exemplo, os mecanismos de escalonamento de pacotes e esquemas de CAC. Faz um comparativo que abordam vantagens e desvantagens destas políticas, segundo as literaturas pesquisadas.

Palavras-Chave – WiMAX. CAC. Escalonamento.

SCHEDULE AND CAC IN STANDARD IEEE 802.16: AN OVERVIEW

Abstract – This article aims to provide an overview, through a literature review on scheduling and CAC - Connection Admission Control in WiMAX. Describes in summary, its main functions, such as the packet scheduling mechanisms and CAC schemes. Makes a comparative approach advantages and disadvantages of these policies, according to the literature surveyed.

Keywords - WiMAX. CAC. Scheduling.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os meios de comunicação, passaram por um grande processo evolutivo, que tem influenciado as sociedades, no modo como as pessoas se comunicam.

A necessidade de compartilhar e transmitir voz, vídeo e dados tem contribuído muito com esta evolução.

A Internet é hoje o maior repositório, meio de difusão e compartilhamento dessas informações. A necessidade de romper a barreira da mobilidade é tentadora, pois proporciona que a informação esteja em qualquer lugar a qualquer hora, em tempo real. Uma das tecnologias mais interessantes que surgiram são as Redes que usam o padrão IEEE 802.16 chamado também de WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

O Padrão IEEE 802.16, trata-se de uma tecnologia de rede metropolitana sem fio com suporte a QoS – Qualidade de Serviço e com interfaces para redes Ethernet, ATM e E1/T1.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma visão geral sobre o Controle de admissão de conexão e algumas políticas de escalonamento, garantindo assim Qualidade de Serviço em redes IEEE 802.16. Primeiramente na seção II faz-se uma introdução sobre o assunto “Rede IEEE 802.16”, abordando suas principais características e funcionalidades. Posteriormente na seção III aborda-se a Camada MAC, onde é implementado, dentre outras coisas, os mecanismos para provisão de QoS. Na seção IV aborda-se o CAC (Controle de Admissão de Conexão), será mostrado sua função e os principais esquemas de se fazer CAC. A seção V aborda o escalonamento e suas principais políticas adotadas, posteriormente é feito um comparativo das políticas utilizadas para esses escalonamentos. Por fim na seção VI apresenta-se a conclusão do artigo.

II. O PADRÃO IEEE 802.16 E QoS

No padrão IEEE 802.16 [IEEE Std. 2004], são definidos cinco tipos de serviços, bem como os mecanismos para as conexões *uplink* requisitarem banda, isto serve para dar suporte para os requisitos de QoS dos diversos tipos de tráfegos na rede. Cada fluxo é associado a um desses serviços e o escalonador da BS (Estação Base) aloca largura de banda para as SSS (Estações Clientes ou Assinantes) seguindo o conjunto de regras definido por eles:

- UGS (*Unsolicited Grant Service*) - Recebe *grants* de tamanho fixo para o envio de dados. Suporta fluxos de tempo real que geram pacotes de dados com tamanho fixo periodicamente, tal como voz sobre IP. Fluxos UGS não podem utilizar *slots* reservados para requisição de banda. Conexões UGS jamais solicitam largura de banda, a BS é quem calcula largura de banda para tais conexões com base na taxa de tráfego mínimo reservado definido no fluxo de serviço da conexão.
- rtPS (*real-time Polling Service*) Requisita banda periodicamente através de *polling unicast*. Este serviço tem garantias de latência máxima e taxa mínima, o que garante com isso a QoS. Atendem a fluxos de serviços tempo real que geram dados de tamanhos variados em períodos fixos, tais como Voz sobre IP com supressão de silêncio. Diferentemente da classe UGS, onde os pacotes são de tamanhos fixos, as alocações ertPS são dinâmicas como no rtPS. Há uma economia de largura de banda do canal e diminuição da latência, pois, igualmente como na Classe UGS, a BS prevê *grants* para a transmissão dos dados sem a necessidade de mecanismos explícitos para requisição de banda.
- ertPS (*extended real time Polling Service*) - Utiliza um mecanismo de *grants* semelhante aquele usado pelo UGS, a diferença é que os *grants* alocados periodicamente



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

podem ser usados para o envio de requisição de banda. Geram pacotes de tamanho variável de dados em intervalos periódicos, como vídeos no formato MPEG. Neste caso a BS deve alocar largura de banda para as conexões rtPS através de um mecanismo de *polling* para requisição de largura de banda. Esse mecanismo existe em três variantes:

- *Unicast polling*;
- *Multicast polling*;
- *Broadcast polling*.

Apenas *unicast polling* pode ser utilizada para ligações rtPS.

- nrtPS (*non-real-time Polling Service*) - Assim como o serviço rtPS, recebe oportunidades periódicas para o envio de requisição de banda, porém com menor frequência, bem como garantias de taxa mínima, o que garantem a QoS. É projetado para suportar aplicações tolerantes a atraso, como FTP, por exemplo, para o qual é necessária uma quantidade mínima de largura de banda. Diferentemente da classe rtPS, as conexões nrtPS não necessariamente empregam o *unicast polling*, ou seja, podem ser empregados também *multicast polling* e *broadcast polling*, e o *polling* deve ser regular, porém não necessariamente periódico.

- BE (*Best-effort*) - Não tem quaisquer garantias de QoS. Atende ao tráfego de menor esforço e para requisição de largura de banda utiliza *slots* de contenção e *unicast*. Não exige controle de atraso, como HTTP e SMTP. Atende a todas as solicitações de *polling* para largura de banda.

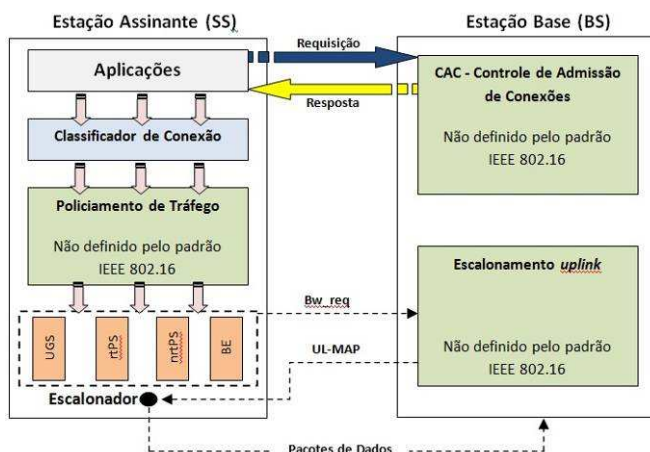


Figura 1: Arquitetura base do padrão IEEE 802.16 [6].

O padrão define mecanismos de sinalização entre a estação base e as estações cliente através dos serviços citados acima. Embora esses serviços forneçam a base para a provisão de QoS, para que essa tarefa seja realizada de maneira eficiente, o padrão não define políticas de escalonamento, sendo assim, os fabricantes de equipamentos WiMAX devem projetar e implementar um conjunto de mecanismos não especificados no padrão.

Estes mecanismos devem incluir:

- Policiamento – Protege a rede contra tráfegos que violam os parâmetros negociados durante o estabelecimento da conexão;

- Moldagem do tráfego – Tem como tarefa regular o tráfego para que os parâmetros negociados sejam respeitados;

- Controle de admissão – Controla o número de usuários simultaneamente presentes na rede de forma a evitar a sobrecarga da rede e a violação dos requisitos de QoS.

- Escalonamento – Compreende o escalonamento do tráfego *downlink*, realizado pela BS, e escalonamento do tráfego *uplink*, realizado por dois escalonadores, um na BS e outro nas SSs. Refere-se ao processo de decisão usado para escolher quais pacotes, armazenados nos buffers de transmissão, devem ser servidos ou descartados.

A BS possui um escalonador para o tráfego *downlink* (da BS para as SSs) e um escalonador para o tráfego *uplink* (das SSs para a BS). O escalonador na BS aloca largura de banda para as SSs e o escalonador na SS determina quais pacotes serão enviados nas oportunidades de transmissão recebidas.

Informações sobre os requisitos de QoS e a situação das filas das conexões são necessárias para executar a alocação dos recursos pelos escalonadores. O escalonador *downlink* e o escalonador das (SSs) têm acesso direto às filas das conexões. Já o escalonador *uplink* localizado na BS, por outro lado, depende das requisições de banda enviadas pelas SSs para se manter informado sobre as necessidades de cada conexão.

Um dos maiores desafios da camada MAC dos equipamentos desenvolvidos para redes WiMAX está na implementação do escalonador *uplink* da BS, pois a necessidade das requisições demandadas pela BS, além de aumentarem a carga na rede, podem sofrer atrasos, causados pelo mecanismo de contenção, resultando na entrega de informações desatualizadas.

Um dos modos de acesso ao meio físico suportado pelo padrão IEEE 802.16 é a duplexação por divisão de frequência (*Frequency Division Duplexing - FDD*). O outro tipo de acesso é o de duplexação por divisão de tempo (*Time Division Duplexing - TDD*). No modo TDD os subframes (*uplink* e *downlink*) dividem a mesma frequência, por isso, é impossível realizar transmissões simultâneas nos dois sentidos. Cada frame TDD tem um subframe *downlink* seguido por um subframe *uplink*.

No modo FDD os dois canais (*downlink* e *uplink*) operam concomitantemente em frequências diferentes.

O padrão define uma conexão orientada ao protocolo MAC onde todas as transmissões ocorrem dentro do contexto de uma conexão unidirecional. Cada ligação, identificada por um ID de conexão exclusiva (CID), está associada a um fluxo de serviço ativo (SF), com características de fornecer os requisitos de QoS para as unidades de dados de protocolo (PDUs) trocadas nessa conexão. Cada fluxo de serviço possui um único identificador, chamado de identificador de fluxo de serviço (SFID). Os fluxos de serviços podem ser gerenciados de forma dinâmica. Podem ser criados, modificados ou excluídos usando, respectivamente, *Dynamic Service Addition (DSA)*, *DS change (DSC)*, e *DS delete (DSD)*. Como mencionado, um fluxo de serviço define o QoS que deve ser fornecido para os pacotes que atravessam a interface MAC e que estão associados a esse SF. A fim de

facilitar as MAC SDUs com restrições apropriadas de QoS, o padrão IEEE 802.16 define um processo de classificação, através do qual um MAC SDU é mapeado para a ligação associada e, assim, ao SF correspondente à essa conexão.

III. CAMADA MAC

No modelo de referência do padrão IEEE 802.16, a camada de acesso ao meio (*Medium Access Control layer - MAC*) fica logo acima da camada física. Uma das tarefas, e a principal delas, é prover uma interface entre as camadas elevadas e a camada física possibilitando assim a transferência dos dados. Como funções dos protocolos da camada MAC, apresenta-se o gerenciamento de mobilidade e os mecanismos para provisão de QoS.

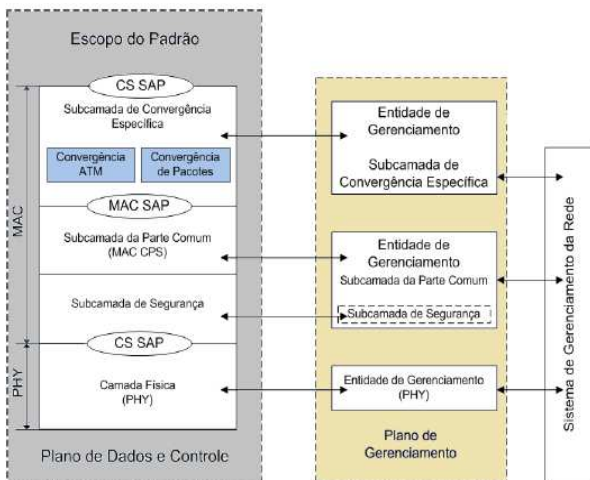


Figura 2: Modelo de referência do padrão IEEE 802.16 [2].

A camada MAC é orientada a conexão. Além do gerenciamento das conexões, a camada MAC é responsável pelo controle de acesso ao meio e pela alocação de banda. Todo o tráfego, incluindo o tráfego não orientado a conexão, é mapeado para uma conexão. Cada conexão possui um identificador (*Connection Identifier - CID*) de 16 bits e cada SS tem um endereço MAC único que a identifica e é utilizado para fazer o registro e a autenticação na rede.

No padrão IEEE 802.16, a camada MAC é dividida em três subcamadas cada uma delas com funções específicas. As funções executadas dentro dessas subcamadas são coordenadas de maneira a permitir a transmissão correta dos pacotes na rede 802.16.

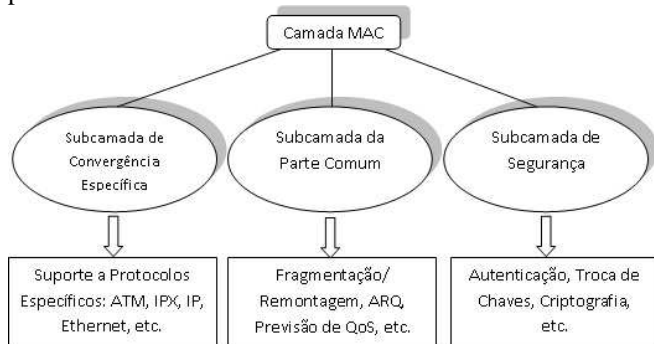


Figura 3: Subcamadas no padrão IEEE 802.16 (adaptado de [2]).

• **Subcamada de Convergência Específica:** A CS (*Service-Specific Convergence*) situa-se no topo da camada MAC fazendo interface com as camadas superiores e utiliza os serviços da CPS (*Common Part Sublayer*), via MAC CPS, mapeando os pacotes que vem da rede externa, conforme mostrado na figura 2. A CS executa as seguintes funções [3]:

- Aceita os PDUs das camadas superiores;
- Classifica os PDUs das camadas superiores;
- Processa os PDUs, se necessário, das camadas superiores, baseado na classificação;
- Entrega os CS PDUs para o MAC SAP apropriado;
- Recebe os CS PDUs dos seus pares de comunicação.

A camada CS inicialmente remove as informações redundantes contidas nos cabeçalhos dos pacotes recebidos. Esse procedimento é denominado PHS - *Packet Header Suppression* (supressão de cabeçalho). Posteriormente, o pacote é classificado em um SFID, de acordo com sua classe (dados, voz, vídeo), facilitando com isso o processo de provisão de QoS.

• **Subcamada da Parte Comum:** A subcamada da Parte Comum (CPS) engloba todas as principais funcionalidades da camada MAC, entre elas estão os mecanismos para a provisão de QoS e a fragmentação e remontagem dos pacotes. Uma vez que o padrão IEEE 802.16 é orientado à conexão, ela também é responsável pelo estabelecimento e manutenção das conexões criadas para o transporte dos dados.

• **Subcamada de Segurança:** Segundo Prasad[2], as redes wireless por serem menos seguras, devido a própria infraestrutura de acesso, necessitam de uma atenção especial, no que se diz respeito aos aspectos de segurança. Sendo assim, o padrão IEEE 802.16 especifica uma camada exclusiva para controle de acesso e criptografia (PS - *Privacy Sub-layer*). O objetivo da PS é o de prover segurança ao nível de enlace. A subcamada PS define um protocolo de encapsulamento e um protocolo de gerenciamento de chaves, para cumprir esse objetivo. O protocolo de gerenciamento de chaves é responsável por definir as regras para a distribuição de chaves entre BS e SSs. Já o protocolo de encapsulamento, tem por função criptografar os pacotes de dados que cruzam a rede, definindo também um conjunto de algoritmos de autenticação e premissas criptográficas, além de regras para aplicar esses algoritmos na carga útil das MAC PDUs.

IV. CONTROLE DE ADMISSÃO DE CONEXÕES (CAC)

Está diretamente ligado a largura de banda e latência da rede. É um mecanismo importante para garantia da Qualidade de Serviço no padrão IEEE 802.16. É uma função desempenhada na BS e consiste em um procedimento que limita o número de conexões na rede, decidindo se uma nova solicitação de conexão deve ou não ser aceita, garantindo assim que os recursos disponíveis para o escalonador sejam suficientes, certificando que os recursos disponíveis sejam

suficientes para as conexões existentes bem como para as novas possíveis conexões. Esta é uma decisão importante e não pode ser tomada de qualquer forma sem critérios específicos, pois tem que ser eficiente e confiável.

Se a política de controle aceitar poucas conexões ocorrerá um desperdício de recursos na rede. Caso aceite um número excessivo de conexões, o sistema poderá não garantir a QoS das conexões já existentes na rede.

Duas estratégias podem ser tomadas quando não existem recursos para as novas conexões. A primeira estratégia poderia ser em degradar conexões menos importantes para adquirir mais recursos da rede. A segunda opção, e mais simples, seria de manter a QoS para as conexões já existentes e rejeitar os novos fluxos.

A. CAC com estratégia de Degradação

Também conhecidos como CAC reativos. Inclui os algoritmos de CAC baseados em:

- Serviços de Degradação [3]
- Empréstimo de Banda [4]
- Roubo de Banda [5]

A ideia destas estratégias é diminuir, quando possível, os recursos das conexões já existentes, para poder assim aceitar novas conexões.

B. CAC sem estratégia de Degradação

Também conhecidos como CAC pró-ativos. Baseados em taxa mínima, em maximização do lucro e em heurísticas. Os algoritmos, neste caso, processam os dados e realizam todos os cálculos antes da tomada de decisão. Uma vez aceita pela rede, o algoritmo não atua mais sobre a conexão.

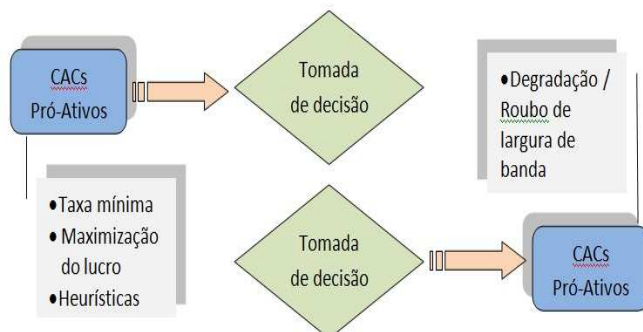


Figura 4: Classificação dos mecanismos de CAC.

O algoritmo hierárquico de escalonamento para o fluxo de *uplink*, proposto por Wongthavarawat [6], combina com um HTB – *Hierarchical Token Bucket* (balde de fichas hierárquico). Desta forma, só será aceita uma nova conexão se esta tiver QoS garantida e se preservada a QoS para as conexões existentes.

Uma proposta interessante é o algoritmo de CAC proposto por Chandra[7], que leva em conta os requisitos de *Jitter* e atraso dos fluxos de serviços, e não somente a disponibilidade de banda. Sabendo-se que as conexões tem requisitos de QoS diferentes um intervalo é definido para a admissão dos novos pedidos de conexão. São considerados, no caso, os atrasos e o *jitter* para os serviços rtPS, UGS e nrtPS. Chandra[7] também inclui em seu esquema controlador que faz um monitoramento no comprimento da fila dos serviços rtPS e nrtPS e faz uma estimativa

instantânea do que será preciso de largura de banda no comprimento do que está na fila. No algoritmo abaixo os autores definem um limite configurável BW_{thr} segundo o qual a largura de banda é solicitada.

```

if ((minrate < BR)&&(BR < BW_thr))
  then B_req = minrate
elseif ((BW_thr < BR)&&(BR < maxrate))
  then B_req = BR
elseif (maxrate < BR)
  then B_req = maxrate
endif
  
```

Onde:

BR --> Exigência de largura de banda;

BRreq -> Largura de banda requerida;

O objetivo principal é assegurar a garantia de QoS, no que diz respeito a atraso, *jitter* e largura de banda, isto segundo Chandra[7].

V. ESCALONAMENTO

O escalonamento é um serviço que define o tipo de prioridade de transmissão para cada conexão existente e qual pacote deve ser descartado ou servido. É o principal componente da camada MAC que ajuda a garantir QoS para as classes de serviços diversos. O escalonador funciona como um distribuidor para alocar os recursos entre os mecanismos.

Além disso, também é função do escalonador resolver o processo de disputa por largura de banda determinando a alocação de banda de maneira justa entre os usuários [9].

O recurso alocado pode ser definido pelo número de *slots* e, em seguida, esses *slots* são mapeados em um número de sub-canais (cada subcanal é um grupo de múltiplas subportadoras físicas) e tempo de duração (símbolos OFDM). A definição de *slot* depende da direção do tráfego (*downlink* / *uplink*) e modos de subcanalização.

Existem dois tipos de escalonamento, um que compreende o escalonamento do tráfego *downlink* que é realizado pela BS, e outro do tráfego *uplink*, realizado por dois escalonadores, um na BS e outro nas SSs. Os requisitos de QoS e a situação das filas das conexões servem de informação para que os escalonadores executem a alocação dos recursos. O escalonador *uplink* da BS depende das mensagens de requisição de banda enviadas pelas SSs para ter informações sobre o estado das filas de cada conexão. Já o escalonador *downlink* e o escalonador *uplink* das SSs têm acesso direto às filas. A Figura 5 define um framework para escalonamento na BS e na SS.

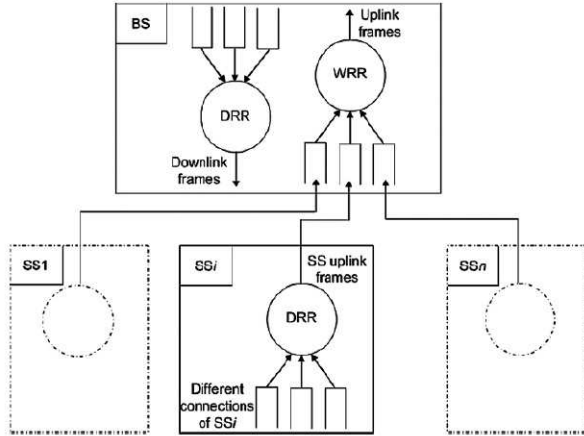


Figura 5: Framework para o escalonamento na BS e SS [9].

As possibilidades de escalonamento para o padrão IEEE 802.16 são divididas em categorias, de acordo com sua natureza. Existem classificações diferentes para algoritmos de escalonamento, por exemplo:

- Algoritmos homogêneos;
- Algoritmos híbridos;
- Algoritmos que utilizam a abordagem *cross-layer*.

Conforme mostra a Figura 6.

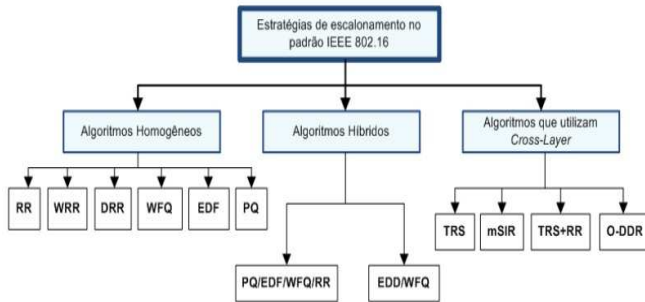


Figura 6: Hierarquia dos algoritmos de escalonamento para o padrão IEEE 802.16 (adaptado de [9]).

TABELA I

Comparativo entre as políticas de escalonamento homogêneas, segundo [9] e [10]

Política	Vantagens	Desvantagens
RR	- Todas as classes tem a mesma prioridade, não ocorrendo assim <i>bandwidth starvation</i> . - Baixa Complexidade.	- Inadequada para redes de pacotes com tamanho muito variado. - Não atende a QoS. - Não atende com eficiência a tráfegos Heterogêneos.
WRR	- Tratamento diferenciado para as filas. - Garante vazão mínima	- Inadequada para redes de pacotes com tamanho muito variado.
DRR	- Provê Justiça e baixa complexidade.	- Não adequada para redes com exigência de atraso e vazão. - Impõe tamanho máximo ao pacote.
WFQ	- Não provoca <i>bandwidth starvation</i> . - Garante vazão para todos os fluxos. - Garante justiça para mesmo	- Não apresenta garantia de atraso.

	tipo de tráfego.	
EDF	Atende aos requisitos de atraso para os fluxos de tempo real.	- Requer algoritmo de ordenamento.
PQ	- Define o tráfego de acordo os níveis de prioridade. - Baixa complexidade	- Provoca o <i>bandwidth starvation</i> para fluxos com baixa prioridade

TABELA II

Comparativo entre as políticas de escalonamento híbridas, segundo [9], [10], [11] e [12]

Política	Vantagens	Desvantagens
EDF/W	- Justiça	- Maior Complexidade.
FQ/RR	- Garantia de atraso limitado para aplicações tempo real.	
EDD/W	- Redução de atraso comparado com a política EDD.	- Maior Complexidade.
FQ		
EDF/W	- Fluxos nrtPS tem maior prioridade que os fluxos BE.	- Perdas de <i>bytes</i> , devido a política WFQ adotada.

TABELA III

Comparativo entre as políticas de escalonamento Cross-Layer, segundo [9], [10], [13] e [14]

Política	Vantagens	Desvantagens
mSIR	- Se adapta a ambientes com canais sujeito a ruídos e interferência.	- <i>Starvation</i> das SSs que apresentam níveis de SNR(Sinal-Ruído) baixo.
TRS	- Redução de atraso comparado com a política EDD.	- Não provoca <i>Starvation</i> das SSs que apresentam níveis de SNR(Sinal-Ruído) baixo.
TRS/RR	- Provê Justiça.	- Baixa utilização do canal.
O-DDR	- Adequado a ambientes com canais sujeito a ruídos e interferência.	- Complexidade alta.

VI. CONCLUSÕES

O presente trabalho feito sobre Escalonamento e CAC no padrão IEEE 802.16, apresentou os resultados encontrados através de um levantamento bibliográfico. Foram abordados os mecanismos de escalonamento de pacotes e esquemas de CAC, de acordo com as literaturas utilizadas. Como esquemas de CAC, foram apresentadas as estratégias de CAC com degradação (CAC Reativos) e CAC sem a degradação (CAC Pró-Ativos). Apresentou-se também um comparativo com vantagens e desvantagens das políticas de escalonamento homogêneas, híbridas e *cross-layer*, segundo os principais autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Tsao, Y. Lin, "The International Journal of Computer and Telecommunications Networking", *Computer Networks*, Volume 35, Issue 2-3 (February 2001), Pages: 287-305.
- [2] R. Prasad and F. J. Velez, "Techno-Economic Vision and Challenges", *WiMAX Networks*, Nova York: Springer, 1 ed., 2010.
- [3] Y. Ge and G.S. Kuo, "An efficient admission control scheme for adaptive multimedia services in IEEE 802.16e networks," in *IEEE 64th Veh. Technol. Conf.*, 2006. VTC-2006 Fall. 2006, Sept. 2006, pp. 1–5.

- [4] D. Niyato and E. Hossain, "Radio resource management games in wireless networks: An approach to bandwidth allocation and admission control for polling service in IEEE 802.16," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 14, no. 1, Feb. 2007.
- [5] C. H. Jiang and T. C. Tsai, "Token bucket based CAC and packet scheduling for IEEE 802.16 broadband wireless access networks," in *3rd IEEE Consumer Commun. Netw. Conf.*, 2006. CCNC 2006, vol. 1, Jan. 2006, pp. 183–87.
- [6] K. Wongthavarawat and A. Ganz, "Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems," *International J. Commun. Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 81–96, Feb. 2003.
- [7] S. Chandra and A. Sahoo, "An efficient call admission control for IEEE 802.16 networks," in *Proc. 15th IEEE LAN/MAN Workshop*, LANMAN 2007, June 2007, pp. 188–193.
- [8] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. IEEE Std. 802.16-2004 (Revision of IEEE Std. 802.16-2001), P. 1-857, 2004.
- [9] M. Ma and J. Lu, "QoS Provision Mechanism in WiMAX", pp. 85–113. *Current Technology Developments of WiMAX Systems*, Singapore: Springer, 2009.
- [10] B. Stewart and D. Donohue, "CCNP ONT Quick Reference Sheets". *Cisco Press*, 2007.
- [11] K. Vinay, N. Sreenivasulu, D. Jayaram, and D. Das, "Performance Evaluation of End-to-end Delay by Hybrid Scheduling Algorithm for QoS in IEEE 802.16 Network," in *Wireless and Optical Communications Networks, IFIP International Conference on*, pp. 11-13, April, 2006.
- [12] D. Tarchi, R. Fantacci, and M. Bardazzi, "Quality of Service Management in IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Networks," in *International Conference on Communications, (ICC'06)*, pp. 11-15, 2006.
- [13] C. Ball, F. Treml, X. Gaube, and A. Klein, "Performance Analysis of Temporary Removal Scheduling Applied to Mobile WiMax Scenarios in Tight Frequency Reuse, in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications", 2005. *PIMRC 2005. IEEE 16th International Symposium on*, vol. 2, pp. 888-894, September, 2005.
- [14] H. K. Rath, A. Bhorkar, and V. Sharma, "An Opportunistic DRR (O-DRR) Uplink Scheduling Scheme for IEEE 802.16-based Broadband Wireless Networks", in *IETE, International Conference on Next Generation Networks (ICNGN)*, 2006.