



**UNILASALLE**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO LA SALLE**



Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

ELISEU SOUSA DE AVILA

**PROJETO DE UMA BASE DE CONHECIMENTO PARA UM SISTEMA  
DE CAC EM REDES IEEE 802.16**

CANOAS, 2010

ELISEU SOUSA DE AVILA

**PROJETO DE UMA BASE DE CONHECIMENTO PARA UM SISTEMA  
DE CAC EM REDES IEEE 802.16**

Trabalho de conclusão apresentado para a banca examinadora do curso de Ciência da Computação, da Universidade UNILASALLE como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Me. Rafael Kunst

ELISEU SOUSA DE AVILA

**PROJETO DE UMA BASE DE CONHECIMENTO PARA UM SISTEMA  
DE CAC EM REDES IEEE 802.16**

Trabalho de conclusão aprovado como  
requisito parcial para a obtenção do grau  
de bacharel em Ciência da Computação  
do Centro Universitário La Salle –  
Unilasalle.

Aprovado pela banca examinadora em 14 de Dezembro 2010

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Me. Artur Cardoso Severo  
Unilasalle

---

Prof. Me. Gustavo Passos Tourinho  
Unilasalle

## **AGRADECIMENTOS**

A toda minha família, principalmente aos meus pais, minha esposa, que serviram de exemplo e sempre ajudaram cada um da sua maneira mas todas importantes para o resultado final.

Aos meus amigos, colegas e professores do Unilasalle, onde muitas noites de estudos e trabalhos foram necessárias para concluir a caminhada dessa graduação

Ao Filipe e colegas de trabalho, que sempre que precisei, me liberaram para estudos, principalmente nesta reta final do TCC.

Ao meu orientador Rafael Kunst que me auxiliou e me apoiou no desenvolvimento deste trabalho, onde sua contribuição ajudou muito para que o resultado final fosse alcançado.

Enfim, agradeço a todos vocês que colaboraram de forma direta ou indireta para que este trabalho pudesse ser concluído. Obrigado pela atenção, paciência e pelo tempo a mim dedicado.

“(...) Sucesso é o resultado da prática constante de fundamentos e ações vencedoras. Não há nada de milagroso no processo, nem sorte envolvida.

Amadores aspiram, profissionais trabalham. (...)”

(Bill Russel)

## RESUMO

As redes WiMAX têm sido consideradas uma alternativa para acesso internet banda larga com abrangência metropolitana. As Redes WiMAX fornecem qualidade de serviço. Nesse sentido existe um componente chave CAC. O objetivo do CAC é prevenir que a rede torne-se sobrecarregada através da implantação do conceito de gerenciamento de admissão de novas conexões. O padrão IEEE 802.16 que especifica o funcionamento das redes WiMAX, define a existência do CAC, mas não define como ele deve ser concebido ou implementado. A proposta deste trabalho é implementar uma Base de Conhecimento para o Sistema CAC que permita adaptar o perfil de uso da rede de acordo com a demanda dos usuários. Utilizaremos algumas métricas para avaliação da proposta como jitter, perda de pacotes, vazão, entre outras.

Palavras-chave: Controle de Admissão de Conexões, WiMAX, IEEE 802.16, Base de Conhecimento.

## **ABSTRACT**

WiMAX networks have been considered an alternative to broadband internet access with coverage in metropolitan areas. The WiMAX networks provide quality of service. In this sense there is a key component of the CAC. The objective of CAC is to prevent the network becomes overloaded through the deployment of the concept of managing the admission of new connections. The IEEE 802.16 standard that specifies the operation of the WiMAX network, defines the existence of the CAC, but does not define how it should be designed or implemented. The purpose of this work is to implement a knowledgebase for the CAC System that adapts the profile of network usage according to user demand. Use some metrics to evaluate the proposal as jitter, packet loss, throughput, among others.

Keywords: Connection Admission Control, WiMAX, IEEE 802.16, Knowledgebase.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Arquitetura de Auto-adaptação do CAC ..... | 23 |
| Figura 2: Visão Global do Channel aware .....        | 26 |
| Figura 3: Modelo do Canal .....                      | 27 |
| Figura 4. Número de Conexões Aceitas (100) .....     | 34 |
| Figura 5. Número de Conexões Rejeitadas (100) .....  | 34 |
| Figura 6. Número de Conexões Aceitas (300) .....     | 35 |
| Figura 7. Número de Conexões Rejeitadas (300) .....  | 35 |
| Figura 8. Número de Conexões Aceitas (500) .....     | 36 |
| Figura 9. Número de Conexões Rejeitadas (500) .....  | 36 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Visão parcial para potência dos parâmetros..... | 31 |
|------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE TABELAS

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Estados do MCS .....            | 36 |
| Tabela 2 – Conjunto de Informações .....   | 38 |
| Tabela 3 – Codec ARM parameters .....      | 40 |
| Tabela 4 – Parametros do trafego HTTP..... | 40 |
| Tabela 5 – Parametros da Simulação.....    | 42 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                    |
|---------|------------------------------------|
| 1G      | Primeira Geração                   |
| 2G      | Segunda Geração                    |
| ABR     | Average Bit Rate                   |
| ATM     | Asynchronous Transfer Mode         |
| BE      | Best Effort                        |
| CAC     | Controle de Admissão de Conexão    |
| CBP     | Connection Blocking Probability    |
| CBR     | Constant Bit Rate                  |
| CDMA    | Code Division Multiple Access      |
| CDP     | Connection Dropping Probability    |
| CID     | Connection IDentification          |
| DL      | Download                           |
| DSA     | Dynamic Service Addition           |
| DSC     | Dynamic Service Change             |
| DSD     | Dynamic Service Deletion           |
| ertPS   | extended real-time Polling Service |
| HFP     | Handoff Failure Probability        |
| MCS     | Modulation and Coding Scheme       |
| MSC     | Mobile Switching Center            |
| MRTR    | Minimum Reserved Traffic Rate      |
| MSTR    | Maximum Sustained Traffic Rate     |
| nrtPS   | non real-time Polling Service      |
| QoS     | Qualidade de Serviço               |
| REG-REQ | Ranging Request                    |
| REG-REQ | Registro de Pedido                 |
| REG-RSP | Ranging Response                   |
| RNG-REQ | Ranging Request                    |
| RNG-RSP | Ranging Response                   |
| rtPS    | real-time Polling Service          |
| SFID    | Service Flow IDentification        |
| SIR     | Taxa de Interferência no sinal     |

|       |                                                 |
|-------|-------------------------------------------------|
| SNIR  | Signal to Noise Ratio                           |
| UGS   | Unsolicited Grant Services                      |
| UL    | Upload                                          |
| VBR   | Variable Bit Rate                               |
| WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |

## SUMÁRIO

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                   | <b>14</b> |
| <b>2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CAC .....</b>               | <b>15</b> |
| <b>2.1 Classificação do CAC .....</b>                        | <b>16</b> |
| 2.1.1 CAC FOR CONTROLLING PACKET-LEVEL QOS PARAMETERS .....  | 16        |
| 2.1.2 CAC FOR TRANSMISSION RATE CONTROL.....                 | 17        |
| 2.1.3 CAC FOR SERVICE/CLASS PRIORITIZATION .....             | 19        |
| <b>2.2 CAC em redes WIMAX .....</b>                          | <b>20</b> |
| <b>2.3 Fornecimentos de informações ao sistema CAC .....</b> | <b>21</b> |
| <b>3. BASE DE CONHECIMENTO.....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>4. MODELAGEM DA FERRAMENTA E RESULTADOS .....</b>         | <b>26</b> |
| <b>4.1 Definição do conjunto de informações .....</b>        | <b>29</b> |
| <b>4.2 Simulação e resultados .....</b>                      | <b>30</b> |
| 4.2.1 Modelo de tráfego VoIP .....                           | 30        |
| 4.2.2 Modelo de tráfego HTTP.....                            | 31        |
| <b>5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>                | <b>37</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                      | <b>38</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

As redes *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) têm sido consideradas uma alternativa para acesso internet banda larga com abrangência metropolitana. As redes WiMAX fornecem qualidade de serviço(QoS) com o objetivo de minimizar a perda de pacotes e delinear níveis mínimos de largura de banda para garantir a qualidade da transmissão de dados.

A solução CAC, Controle de Admissão de Conexão, emprega em cada estação base um algoritmo que decide se requisições de novas conexões solicitadas pelas estações móveis (dispositivos que demandam requisições para conectar na estação base), podem ser admitidas ou não.

Uma das características do algoritmo de CAC, é tomar estas decisões com base na ocupação da largura de banda atribuída a cada classe de serviço WiMAX (ZHU, 2008). Nesse caso, enquanto uma classe de serviço pode acomodar o tráfego de novas conexões, novas conexões são admitidas. Estudos recentes propõem algoritmos de CAC mais sofisticados, cujas decisões consideram a dinâmica dos requisitos de tráfego de rede sem fio e as condições de propagação do sinal.

Considerando o atual estado da arte, existem diversas abordagens para resolver os aspectos de decisão do CAC (ZHU, RONG. 2008). Por exemplo, um mecanismo CAC estatístico foi proposto por (WANG, 2007) no qual a decisão considera duas classes de serviços e a banda do canal. (BASHAR, DING. 2009) descrevem uma camada de adaptação para a solução CAC, quando a decisão é baseada em duas classes de serviços.

Observando as propostas dos sistemas CAC atuais, é possível verificar que elas são projetadas levando em consideração conjuntos específicos de recursos de redes como, por exemplo, classe de serviço, largura de banda ou potência no sinal de transmissão. As características desses conjuntos estão associadas às demandas geradas pelos utilizadores da rede, onde essas demandas são utilizadas para criar um perfil de uso da rede. Assim, é possível a utilização de diferentes algoritmos de CAC que podem ser correlacionados a um perfil específico de uso da rede. No entanto, se a demanda predominante dos usuários for alterada, as atuais propostas CAC não são capazes de mudar seu comportamento em favor de um perfil mais adequado (KUNST, 2010).

## 2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CAC

Os Sistemas de CAC podem ser classificados de acordo com varias opções de design de acordo com cada projeto. Cada opção de design possui suas vantagens e desvantagens. Por exemplo, os sistemas de CAC são classificados com base na centralização da tomada de decisão, como centralizados e distribuídos. Nos sistemas centralizados uma entidade *Mobile Switching Center* (MSC) controla a admissão em toda a rede (CHOI; NUAYMI. 2000), enquanto nos sistemas de CAC distribuídos são executados em cada célula da estação base (HUANG; ZHAO. 2000).

Outra forma de classificação dos sistemas de CAC pode ser de acordo com a classe de serviços. Nas primeiras gerações (1G e 2G) das redes sem fio, o serviço de voz, (as vezes a única opção) era um dos principais serviços oferecidos.

Com o crescente interesse pelos serviços de dados e multimídia pelos usuários, os sistemas CAC que nas primeiras gerações das redes sem fio, trabalhavam com praticamente uma classe de serviço, já não são suficientes, e novos sistemas CAC com capacidade para suportar diversas classes de serviços são mais relevantes (NAGHSHINEH; EPSTEIN. 1995) principalmente para as novas gerações de redes sem fio, onde questões como priorização de serviços, justiça e política de compartilhamento de recursos, precisam ser consideradas.

Parâmetros para garantia de QoS:

- *Signal Quality*: CAC é essencial para garantir a qualidade do sinal em redes sem fio limitadas por interferências. Por exemplo, redes sem fio CDMA tem uma capacidade limite flexível de modo que redes mais carregadas, mais deteriorado é a qualidade do sinal para os usuários em termos de nível de interferência ou taxa de interferência no sinal (SIR). Assim, os sistemas de CAC podem admitir usuários só se poder manter um sinal com o mínimo qualidade para os usuários conectados (incluindo novas conexões e conexões existentes). Neste caso, o critério de admissão pode ser o número de usuários (por célula e / ou por grupo de células vizinhas), o nível de interferência ou SIR, potência total transmitida pela estação base, ou potência recebida pela estação base da estação móvel.
- *Packet-Level Parameters*: Quando pacotes orientados a serviços são fornecidos por redes wireless, a sobrecarga da rede pode causar atraso do pacote excessivo e inaceitável e / ou variação atraso. O nível de throughput na rede ou em nível de usuário pode também cair para níveis insuportáveis. Portanto, o CAC deve ser utilizado para limitar o nível de rede para garantir o nível do pacote e parâmetros de QoS (atraso de pacotes, *delay jitter*, e *throughput*). Neste caso, o número de usuários, disponibilidade de recursos e / ou uma estimativa do nível de pacote e parâmetros de QoS pode ser utilizado como um critério de admissão.

- *Transmission Rate*: Sistemas de CAC são usados em redes sem fio oferecendo serviços de dados para garantir uma taxa mínima de transmissão. O uso de CAC para garantir uma taxa mínima de transmissão tem sido amplamente estudado em redes de telefonia fixa. O problema, entretanto, é mais complicado em redes wireless devido à mobilidade do usuário (implicando handoff e variações de qualidade do link), largura de banda limitada e mutua interferência co-channel.

O núcleo do sistema CAC é o algoritmo que analisa os parâmetros, calcula probabilidades, por exemplo, (*Connetion Blocking Probability* (CBP), *Connection Dropping Probability* (CDP) e *Handoff Failure Probability* (HFP)), e decide se a conexão deve ser admitida ou não. O tipo e o número de parâmetros, e as probabilidades usadas pelo algoritmo são relacionados com os objetivos de execução do sistema CAC.

Segundo (apud AHMED, 2005) os principais objetivos da utilização do Sistema CAC podem ser classificados em quatro grupos: (i) os parâmetros relacionados com a garantia de QoS, (ii) gerenciar as receitas da rede, (iii) priorizar alguns serviços / classes de serviço, e (iv) proporcionar o compartilhamento de recursos de forma justa. Na verdade, um objetivo para utilização do sistema CAC está relacionado com a definição de um perfil de uso da rede.

Atualmente, os sistemas CAC para redes WiMAX tipicamente apóiam a execução de uma ou poucas redes com perfil de utilização, que transforma o sistema CAC em uma solução estática.

## 2.1 Classificação do CAC

### 2.1.1 CAC FOR CONTROLLING PACKET-LEVEL QOS PARAMETERS

Com objetivo de garantir parâmetros de QoS no nível dos pacotes tais como o atraso de pacotes, atraso de jitter ou taxa de rejeição de pacotes, em (ZHAO, CHOI, apud AHMED, 2005, p.62), o sistema CAC proposto calcula o atraso de pacotes e atraso de jitter com base nos recursos disponíveis em redes sem fio multiple class ATM . Se ambos atrasos de pacotes e atraso de jitter podem ser garantidos, a conexão será admitida, caso contrário, ela é rejeitada. Em (CAPONE, apud AHMED,

2005, p.62), a região admissível de serviços VBR em tempo real é determinada. A região admissível é calculada com base em restrições na probabilidade de queda de pacotes. A região admissível pode ser usada para admissão de conexões para examinar o estado da rede (quando uma nova conexão chega) para determinar se ele está dentro da região admissível. Deve-se notar que a região admissível depende do esquema de escalonamento utilizado.

Em (KOUTSAKIS, apud AHMED, 2005, p.62) um esquema de CAC é proposto para controlar a taxa de pacotes rejeitados de serviços de vídeo-conferência sobre um uplink de alta capacidade de sistemas sem fio. Diferentes níveis de qualidade são prestados através de várias camadas e técnicas de codificação (MPEG4 e H.263). Quando uma nova conexão chega, a largura de banda efetiva de todos os usuários existentes, incluindo a nova conexão (usando o maior nível de qualidade), é determinado. Em seguida, a nova conexão será admitida apenas se o total de banda efetivo for menor que a banda larga do sistema. Se esta condição não for satisfeita, a conexão irá reduzir o nível de qualidade e tentará acessar novamente. Se o total de banda efetivo é ainda maior que a largura de banda, usuários existentes começam a reduzir seus níveis de qualidade por um um. Se todos os usuários (novos e existentes) são reduzidas a um nível mais baixo de qualidade e ainda assim a largura de banda efetiva é maior do que largura de banda do sistema, a nova conexão será bloqueada.

O sistema também verifica a taxa de abandono dos usuários existentes a cada minuto. Se a taxa de rejeição de qualquer usuário exceder a taxa máxima ( $10^{-4}$ ), em duas verificações consecutivas, um novo ciclo de redução da qualidade será iniciado a partir do último usuário que entrou.

### 2.1.2 CAC FOR TRANSMISSION RATE CONTROL

Os Sistemas de CAC podem garantir uma taxa mínima de transmissão para as conexões, limitando o carregamento da rede, como em (NAGHSHINEH, apud AHMED, 2005, p.62)), minimizando a degradação da taxa de transmissão (definida como a condição de ter a taxa de transmissão inferior à taxa mínima), como em

(KWON, apud AHMED, 2005, p.62), ou estimando a taxa de transmissão alocada como critério de admissão.

Em (NAGHSHINEH, apud AHMED, 2005, p.62) o número de usuários por cluster é limitado por um valor máximo de tal forma que uma taxa de transmissão mínima pode ser oferecido a todos os usuários de dados admitidos até mesmo quando se deslocarem para qualquer uma das células vizinhas.

O esquema proposto em (KUMAR, 2002) limita o número de usuários na célula de tal forma que todas as conexões atuais e novas (novos e handoff) são atribuídas, pelo menos com a taxa mínima. Usuários Handoff são admitidos primeiro (para minimizar a probabilidade de falha handoff), depois que novas conexões são admitidas com base na disponibilidade de recursos. Se não houver recursos suficientes e alguns usuários estiverem utilizando uma taxa mais elevada, comparada aos valores mínimos declarados, estes usuários terão uma redução de recursos de tal forma que novas conexões poderão ser aceitas.

A programação linear é utilizada para minimizar a redução de recursos e de manter a equidade entre os usuários. O modelo de programação linear é resolvido usando redes neurais artificiais. A probabilidade de degradação da taxa de transmissão, é medida pelo tempo médio do índice de degradação da taxa de transmissão, é utilizado em (CHAO, apud AHMED, 2005, p.63) como critério de admissão. Se a probabilidade de degradação é inferior a um valor limiar, a conexão é admitida, caso contrário, a conexão é rejeitada.

Um esquema de CAC que admite as conexões baseado na disponibilidade de recursos é proposto em (BEGAIN, apud AHMED, 2005, p.62). Se não existirem recursos suficientes para aceitar a conexão, a conexão de dados reduz sua transmissão e a conexão só será admitida se a taxa de transmissão reduzida for superior a um valor mínimo, caso contrário, ela é rejeitada.

Em (COMANICIU, apud AHMED, 2005, p.63), o sistema CAC garante que a média e o pico das taxas de transmissão em tempo real de tráfego e da média da taxa de transferência para o tráfego em tempo não real, pode ser garantido. Isto é conseguido através da estimativa máxima e valores de carga média.

### 2.1.3 CAC FOR SERVICE/CLASS PRIORITIZATION

A priorização da classe de serviço pode ser realizada através de um diferente critério de admissão para cada classe de tal forma que a classe de serviço com menor prioridade terá regras mais rigorosas de admissão.

Por exemplo, as conexões são admitidas em (KIM, apud AHMED, 2005, p.64) com base no nível de potência recebido, com três sistemas de priorização possível. O primeiro esquema dá maior prioridade ao serviço de voz através de um nível de maior poder de energia do que o serviço de dados. Por outro lado, no segundo esquema, utiliza um limiar de maior poder para o serviço de dados do que para o serviço de voz, para poder priorizar o serviços de dados. Finalmente, o terceiro esquema usa o mesmo limite para ambos os serviços. Os resultados mostraram uma diferença significativa na QoS (em termos de taxa de bloqueio) fornecida por cada esquema de priorização para os dois serviços oferecidos. Por exemplo, o primeiro esquema atinge menor taxa de bloqueio para o serviço de voz, mas uma taxa maior de bloqueio para de serviços de dados.

Em (HAUNG, apud AHMED, 2005, p.64) o serviço em tempo real (ou voz) é prioridade sobre os serviços que não são em tempo real (dados) através de um maior número máximo de usuários para o serviço de voz do que para o serviços de dados. Este é estendido em (AHMED, apud AHMED, 2005, p.64) ao propor a preempção de algumas conexões de dados (enfileirando) se os recursos não estão disponíveis para as conexões de voz recebidas. Além da preempção, a privação (ao reduzir os recursos de algumas conexões de dados) é também proposta em (CHO, apud AHMED, 2005, p.64) para dar mais prioridade às conexões de voz. E além dos recursos exclusivamente designados para cada serviço, uma banda compartilhada é proposta em (HAUNG, apud AHMED, 2005, p.64). A faixa compartilhada poderá ser usada por qualquer classe de serviço, dependendo da variação dinâmica do tráfego.

Priorizando diferentes classes de diferentes serviços é considerada em (ZHAO, 2000). Os serviços são ordenados de acordo com suas prioridades e requisitos de QoS tais que o CBR tem a maior prioridade, seguido pelo VBR, e finalmente ABR. Entretanto, existem diferentes classes para cada serviço e essas classes são ordenadas de acordo com sua prioridade. Os recursos são reservados para as classes de serviços com maior prioridade e, em seguida, para aqueles com

prioridade mais baixa. Se as conexões recebidas detectarem que os recursos reservados para a sua classe de serviço não são suficientes para alcançar a QoS desejada (atraso de pacotes e atraso jitter), a conexão é rejeitada. Em (WEEN, apud AHMED, 2005, p.64) quatro níveis de prioridade (alta prioridade de voz, alta prioridade de dados, baixa prioridade de voz, e baixa prioridade de dados) são oferecidos por meio de quatro limiares dinamicamente ajustável de disponibilidade de recursos para a admissão de conexão de dois níveis de prioridade de voz e serviços de dados. O esquema de CAC em (DAVOLI, apud AHMED, 2005, p.64) prioriza o serviço de voz usando um maior número máximo para o serviço de voz do que para o serviço de dados que foi proposto no primeiro do sistema CAC. No segundo nível, a probabilidade de aceitar a conexão utiliza decisões com probabilidade para as conexões de voz do que o atribuído para as conexão de dados.

Os esquemas de adaptação de prioridade são propostos em (AYYAGARI, apud AHMED, 2005, p.64). A prioridade do serviço é uma função da taxa de transmissão requerida por cada serviço ( primeiro a taxa mais baixa e a taxa mais elevada), o atraso máximo (serviços com maior tolerância ao atraso estão dando prioridade mais baixa), e otimização de rendimento (de serviços com a maior rendimento é dada maior prioridade). Os níveis de prioridade são adaptados com base na disponibilidade de recursos e características de tráfego.

## 2.2 CAC em redes WIMAX

Uma mensagem é trocada continuamente variando entre a estação móvel e a estação base. Este tipo de mensagem não está associada a uma solicitação de conexão, mas as condições físicas do canal sem fio usado por uma estação assinante.

A Variação de mensagens é dividida em duas fases: inicial e periódicos. O objetivo da fase inicial é a negociação de transmissão de energia e de tempo de sincronização entre o assinante e a estação base. Nesta fase a estação assinante recebe o *Connection IDentification* (CID). A fase de variação periódica, por sua vez, começa logo após a negociação inicial entre a estação assinante e a estação base.

Nesta fase, o assinante recebe um primeiro CID para a troca de dois tipos de mensagens: *Ranging Request* (RNG-REQ) and *Ranging Response* (RNG - RSP). Estas mensagens são utilizadas para lidar com condições de tempo variante do canal sem fio entre o assinante e a estação base.

Exemplos de informações que contém essas mensagens são a potência do sinal, o esquema de modulação e taxa de codificação. Além disso, com base no conteúdo dessas mensagens é possível obter informações físicas. Por exemplo, *Signal to Noise Ratio* mais interferência (SNIR) é calculado com base nas informações de potência do sinal dentro da mensagem.

Por outro lado, as mensagens de registro estão diretamente relacionadas aos pedidos de admissão de novas conexões. A fim de estabelecer uma nova conexão, a estação assinante precisa de um pedido de registro na estação base. O pedido de registro é concedido após a troca de duas mensagens de registro: Registro de Pedido (REG-REQ) e Registro de resposta (REG-RSP). As mensagens de registro dos descritores de tráfego contêm informações, tais como requisitos de QoS, associado ao fluxo de tráfego da nova conexão. Além disso, estas mensagens podem assumir três tipos de ações para gerenciar os requisitos de QoS das conexões: *Dynamic Service Addition* (DSA), *Dynamic Service Change* (DSC), and *Dynamic Service Deletion* (DSD). Com base nessas ações, a estação assinante pode solicitar a alteração em seus requisitos de QoS para a estação base, a fim de lidar com as mudanças nas condições de tráfego.

### 2.3 2.3 Fornecimentos de informações ao Sistema CAC

Como apresentado anteriormente, dentro das mensagens que vão se registrar existe informações que podem ser utilizadas pelo sistema CAC. Na verdade, estas informações podem ser usadas como parâmetros de entrada para o processo de decisão de admitir ou não uma conexão. O Quadro 1 mostra algumas informações comumente obtidas a partir dos descritores de tráfego físico que vão registrar e mensagens utilizadas como parâmetros no sistema CAC.

| Tipo                 | Parâmetros                        |
|----------------------|-----------------------------------|
| Descritor Físico     | Nível do sinal                    |
|                      | Banda disponível                  |
|                      | Codificação e Modulação           |
|                      | Handoff                           |
|                      | Atualização de local              |
|                      | SNIR                              |
| Descritor de Tráfego | Taxa de Tráfego Mínimo Reservada  |
|                      | Taxa de Tráfego Máximo Sustentada |
|                      | Taxa de Tráfego Máxima Reservada  |
|                      | Maximum Traffic Burst             |
|                      | Jitter Tolerado                   |
|                      | Latência Máxima                   |
|                      | Classe de Serviço                 |

Quadro 1: Visão parcial para potência dos parâmetros  
Fonte: Autoria própria, 2010

O parâmetro mais importante, recuperado da mensagem de registro, é a classe de serviço. O sistema CAC analisa todos os outros parâmetros de tráfego de acordo com a classe de serviço informado pela estação de assinante. Hoje, as redes WiMAX suportam cinco classes de serviços:

- *Unsolicited Grant Services* (UGS), Este tipo de serviço é projetado para suportar o fluxo de serviço em tempo real, com a exigência de atraso restrito, que geram pacotes de dados de tamanho fixo, periodicamente, tais como T1/E1.
- *extended real-time Polling Service* (ertPS): essa classe de service suporta fluxos com características semelhantes aos suportados pela classe UGS. Possui necessidade de transmissão em intervalos constantes, porém com pacotes de tamanho variado. Podem ser classificados nesta classe aplicações como VoIP com supressão de silêncio ou videoconferência.
- *non real-time Polling Service* (nrtPS): Este tipo de serviço é projetado para suportar atraso tolerante de dados streams que são mais esporádicos na natureza, tais como FTP. Em geral, o nrtPS pode tolerar mais atrasos e é insensível à variação do atraso, mas requer um throughput mínimo.
- *real-time Polling Service* (rtPS): Este tipo de serviço é projetado para suportar o fluxo de serviço em tempo real, com os requisitos atraso menos rigorosos, que geram pacotes de tamanho variável de dados em intervalos periódicos, tais como VoIP, com supressão de silêncio.
- *Best Effort* (BE): Este tipo de serviço é projetado para o tráfego sem requisitos de QoS, tais como e-mail, e, portanto, podem ser tratados com base em recursos disponíveis. (RONG, 2007)

Na verdade, essas classes de serviços refletem a heterogeneidade das redes de aplicações.

Pesquisas recentes sobre CAC usam diferentes combinações de parâmetros. Por exemplo, (Lee, Kim, 2008) usa as classes de serviços UGS e rtPS, considerando-se a taxa de tráfego mínima reservada para cada classe, e o esquema

de modulação, codificação e SNIR. Por outro lado, (QIN, 2007), e (AHMED, 2005) empregam apenas uma classe de serviço (rtPS), mas eles consideram mais parâmetros de tráfego e físicos do que a proposta anterior (taxa de tráfego mínimo de reserva, a taxa máxima de tráfego reservada, nível do sinal, Snir, largura de banda disponível, entrega, e esquema de codificação e modulação). Na verdade, os parâmetros utilizados em um sistema CAC descrever suas características.

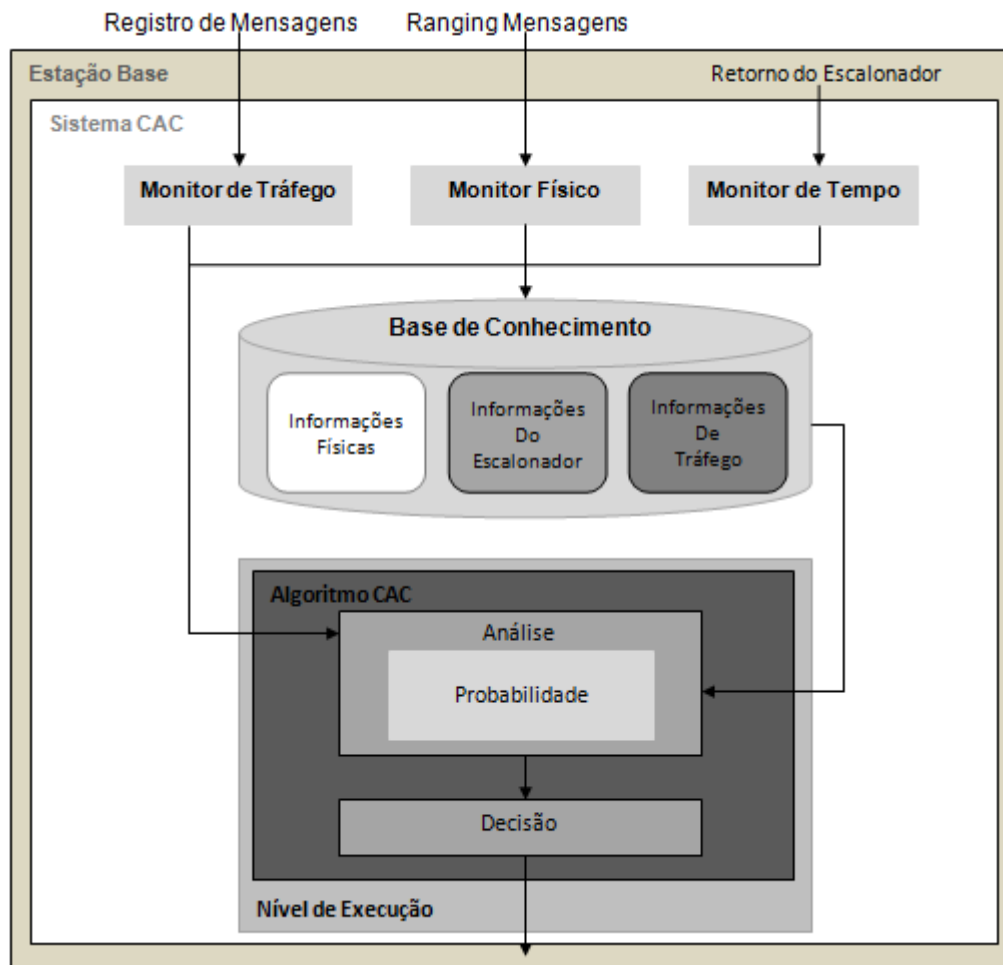


Figura 1: Arquitetura de Auto-adaptação do CAC  
Fonte: Autoria própria, 2010

### 3. BASE DE CONHECIMENTO

A Base de Conhecimento do Sistema de CAC é responsável por armazenar temporariamente as informações que são recebidas constantemente pelos monitores que fazem parte da arquitetura do projeto de auto-adaptação CAC. A Base de Conhecimento deve auxiliar o algoritmo de auto-adaptação CAC a determinar qual é o perfil predominante da rede, caso seja necessário o algoritmo CAC em execução será trocado por outro algoritmo mais adequado para as condições atuais da Rede, sempre que necessário.

As três tabelas que compõem a Base de Conhecimento recebem informações através dos três monitores do sistema CAC. Monitor de Tráfego, Monitor Físico e Monitor de Tempo.

A Base de Conhecimento é composta por três tabelas, são elas: Quadro de Informações Físicas, Informações do Escalonador e Informações de Tráfego.

O Quadro de Informações Físicas é composto por quatro colunas:

|                 |         |
|-----------------|---------|
| MSID*           | 48 bits |
| MCS             | 16 bits |
| Reception Power | 8 bits  |
| Timestamp       | 32 bits |

Quadro 2: Quadro Informações Físicas

Fonte: Autoria própria, 2010

MSID é a chave primária, e cada linha do Quadro representa uma estação móvel. Assim a informação relativa a um *frame* de transmissão de dados (5ms) pode aparecer em mais de uma linha. MCS indica a condição do canal através de perfis que indicam a modulação utilizada e a taxa de codificação FEC. À medida que a qualidade do canal piora, MCS mais robustos são aplicados. Ao passo que o canal melhora, a robustez do MCS é diminuída. Reception Power, Timestamp.

O Quadro Informações do Escalonador é composta por quatro colunas:

|            |         |
|------------|---------|
| CID*       | 16 bits |
| MSID       | 48 bits |
| Throughput | 48 bits |
| Timestamp  | 32 bits |

Quadro 3: Quadro Informações do Escalonador

Fonte: Autoria própria 2010

O Quadro tem o CID como chave primária. Além disso, cada linha representa uma conexão diferente. Um grupo de conexão pode ser servido no mesmo *frame*, portanto, algumas entradas da tabela podem ser parte do mesmo *frame*. A identificação de *frame* pode ser derivado do campo timestamp.

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| SFID*                          | 32 bits |
| CID                            | 16 bits |
| Classes of Services            | 3 bits  |
| Scheduling (UL/DL)             | 1 bit   |
| Maximum Sustained Traffic Rate | 32 bits |
| Minimum Reserved Traffic Rate  | 32 bits |
| Maximum Latency                | 32 bits |
| Jitter Tolerance               | 32 bits |
| Duration Connection            | 32 bits |
| Timestamp                      | 32 bits |

Quadro 4: Quadro Informações de Tráfego

Fonte: Autoria própria 2010

A chave primária é o SFID e cada linha do Quadro representa um fluxo de serviço. Os parâmetros *Maximum Sustained Traffic Rate*, *Minimum Reserved Traffic Rate*, *Maximum Latency* e *Jitter Tolerance*, são chamados de *AdmittedQoSParamSet* e podem ser utilizado nas 5 classes de serviço.

#### 4. MODELAGEM DA FERRAMENTA E RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a arquitetura da implementação, mostrando uma visão global do escalonador downlink. O foco está principalmente no modelo de canal, sobre a atribuição trechos de dados, sobre o downlink channel aware, escalonamento de processos, e o módulo de integração destes componentes.

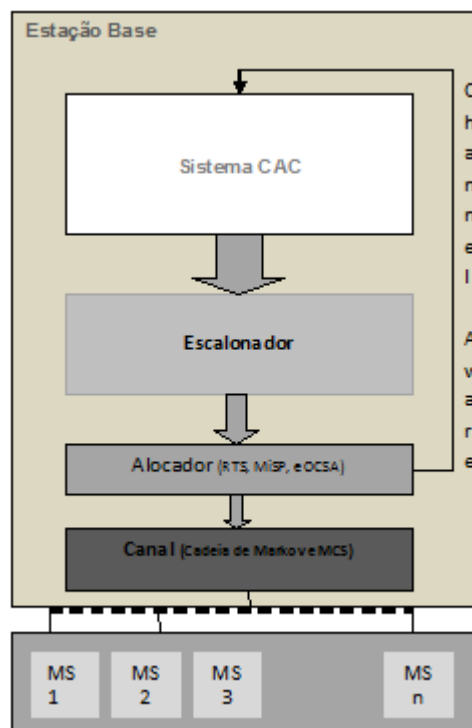


Figura 2: Visão Global do Channel aware

Fonte: Autoria própria, 2010

Nós projetamos um modelo de canal de radio frequência (RF), que é baseado em tempo discreto na cadeia Markov. Este modelo é composto por oito estados, e cada um representa um diferente regime de *Modulation and Coding Scheme* (MCS).

Esses estados são divididos em dois grupos: (i) o conjunto de estados 1-4 é utilizado em caso de condição ruim do canal, enquanto (ii) nos estados 5-8 serão usados em casos de o canal apresentar boa condição. Uma representação gráfica proposta da cadeia de Markov e os MCS correspondente a cada estado da cadeia são apresentados na Figura 3.

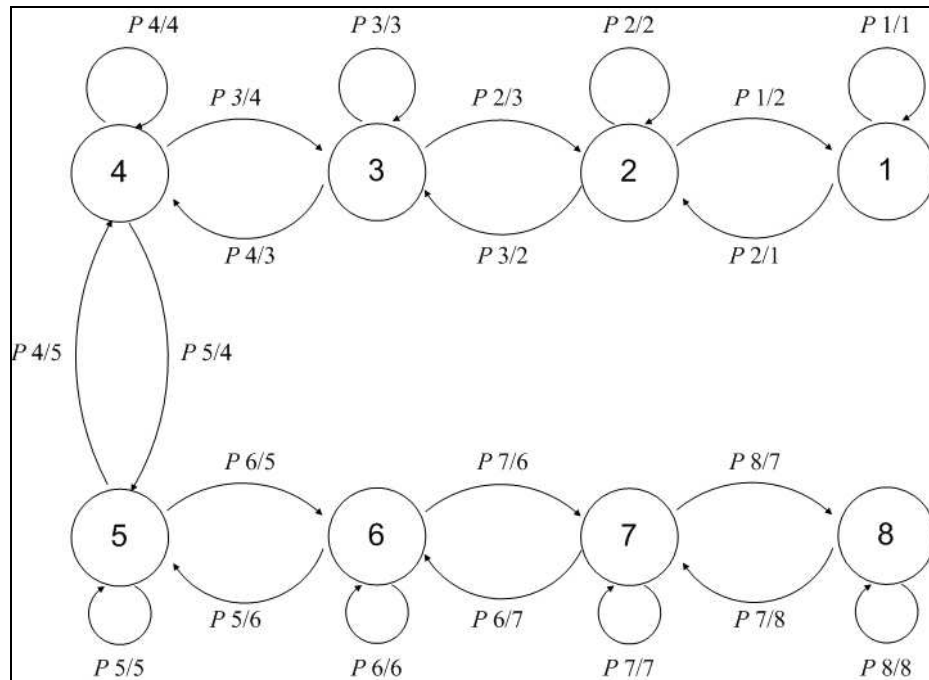


Figura 3: Modelo do Canal  
Fonte: Autoria própria, 2010

Tabela 1 – Estados do MCS

| Estado | MCS       | Canal |
|--------|-----------|-------|
| 1      | QPSK 1/2  | Ruim  |
| 2      | QPSK 3/4  |       |
| 3      | 16QAM 1/2 |       |
| 4      | 16QAM 3/4 |       |
| 5      | 64QAM 1/2 | Bom   |
| 6      | 64QAM 2/3 |       |
| 7      | 64QAM 3/4 |       |
| 8      | 64QAM 5/6 |       |

Fonte: Autoria própria, 2010.

Cada estado da cadeia de Markov tem probabilidades de transição associada. Na concepção de nosso modelo de simulação, as probabilidades de transição entre os estados da cadeia de Markov são parâmetros que podem ser definidos de acordo com o cenário de simulação pretendida.

Um exemplo de cenário é apresentado pelo (LAKKAKORPI, 2008), onde uma rede WiMAX fixada com 55 conexões é simulada. Esses parâmetros são informados considerando a mesma probabilidade de transição para todos os estados da cadeia. Portanto, a cadeia de Markov começa com a seleção de um estado de canal inicial. Outro parâmetro importante que deve ser informado é o tempo entre as avaliações

do estado do canal, que é definido em unidades de número de quadros, por exemplo, 10 segundos de simulação usando quadros de 5 milissegundos.

Durante a avaliação da condição do canal, há três possibilidades em termos de transições: (i) a permanência no mesmo estado, quando o canal se mantém em condições de propagação similares, (ii) aumento de um nível de robustez, quando a condição do canal atual é pior do que na última avaliação, ou (iii) reduzir um nível de robustez, se a condição do canal é melhor do que na última avaliação. Por exemplo, se o MCS atual é de 16 QAM 3/4 e uma condição pior do canal é detectada, a próxima transmissão será aplicado 16 QAM 1/2. Caso contrário, considerando que a condição do canal é melhor do que na última avaliação, deve ser usado 64 QAM 1/2. Há duas exceções, que ocorrem quando o mais robusto, e os menos robustos MCS são usados. No primeiro caso, não é possível aumentar a robustez, enquanto no segundo, é impossível diminuir a robustez.

O MCS aplicado em uma transmissão é usado para calcular o *throughput* da *i*-ésima estação móvel (MS) em um dado instante de tempo  $t$ . Estas informações podem ser utilizadas pelo escalonador para definir a ordem em que *packet data units* (PDU) será servido pela estação base (BS).

O *throughput* de uma MS ( $\tau_i$ ) é calculado conforme a equação (1). O valor  $\tau_i$  é obtido, considerando a quantidade de bits por símbolo de modulação ( $M_i$ ), o *Forward Error Correction* (FEC) da taxa de codificação ( $K_i$ ), e a duração do símbolo OFDM ( $T_s$ ).

$$\tau_i(t) = \frac{M_i \cdot K_i}{T_s} \text{ [bit/s]} \quad (1)$$

A equação (1) calcula a vazão atual de uma MS. No entanto, o histórico das informações sobre a capacidade da MS também deve ser considerado pelo escalonador do *channel-aware*. Portanto, na equação (2), nós calculamos a média exponencial da taxa de transferência ( $\tau_i$ ), durante todas as transmissões da MS. Nesta equação,  $\rho$  é um fator constante de suavização, onde  $0 \leq \rho \leq 1$ . Em outras palavras, o fator de suavização é a média aritmética ponderada da observação corrente  $\tau_i(t)$  e da média histórica de suavização  $\tau_i(t-1)$ .

$$\bar{\tau}_{i(t)} = \rho \cdot \tau_{i(t)} + (1 - \rho) \cdot \bar{\tau}_{i(t-1)} \quad (2)$$

#### 4.1 Definição do conjunto de informações

Tabela 2 - Conjunto de Informação

| <b>Campo</b>        | <b>Tipo</b>   | <b>Descrição</b>                                                                              |
|---------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| CID                 | Inteiro       | Identificador de conexão de um PDU                                                            |
| Data lenght         | Bits          | Indica a quantidade de bits a ser transmitida                                                 |
| Deadline            | Milissegundos | Contém o deadline de PDUs em tempo real                                                       |
| MSC                 | Inteiro       | Indica o esquema de codificação e modulação a ser aplicado considerando as condições do canal |
| Throughput Corrente | Bits /s       | Throughput estimado do PDU no próximo quadro                                                  |
| Média de Throughput | Bits /s       | Média histórica da taxa de transferência dada uma estação, considerando a simulação global    |
| Classe de Serviço   | Inteiro       | Classe de serviço atribuída ao PDU                                                            |
| Timestamp           | Milissegundos | Timestamp da criação / chegada do PDU na BS                                                   |

Fonte: Autoria própria, 2010.

O conjunto de informação é atribuída a cada PDU na sua criação ou chegada a estação base. A informação contida na estrutura é usada por escalonadores intra-classe e inter-classe, a fim de definir o conjunto de PDUs que será candidato à alocação durante o seguinte DL subframe disponível. Posteriormente, o começo dos critérios e módulos alocador da arquitetura proposta também usa a informação, a fim de definir, repectivamente, quais PDUs serão submetidos para o alocador, e como o PDU será organizado dentro do próximo DL subframe.

Um campo ou um conjunto de campos do conjunto de informação pode ser usado para calcular o ganho de cada PDU. O ganho, no âmbito do agendamento de tráfego de rede, é um conceito que foi introduzido por Cohen e Katzir (COHEN, KATZIR. 2010), a fim de obter um ganho associado para o agendamento e alocação de PDUs. Os autores descrevem que a atribuição de um ganho deve ser baseada em diversas informações, tais como requisitos de QoS, a maximização do throughput, justiça e condições de propagação do canal sem fio, entre outros. No

entanto, como essa informação deverá ser utilizada está fora do escopo do trabalho de Cohen e Katzir.

## 4.2 Simulação e Resultados

Nesta seção, apresentamos detalhes sobre modelos de tráfegos e os parâmetros utilizados em nosso cenário de simulação. Os dois modelos de tráfego foram desenvolvidos no intuito de associar as características das classes de serviço BE e ertPS com respectivamente, aplicações HTTP e VoIP.

Essa associação entre as classes de serviço e as aplicações foi baseada no trabalho proposto por (SO-IN; JAIN; TAMIMI. 2009). Além disso, os modelos de tráfego utilizados para descrever o comportamento desses pedidos foram baseados no documento "*System Evaluation Methodology*" publicado no Fórum WiMAX. Os modelos de tráfego para cada aplicação, são descritos na próxima seção.

### 4.2.1 MODELO DE TRÁFEGO VOIP

Utilizamos os parâmetros da ARM (Adaptive Multi Rate) codec para modelar o tráfego de VoIP, ou seja, podemos considerar o tráfego de voz com supressão de silêncio. Os parâmetros utilizados no modelo do tráfego VoIP são apresentados na Tabela 3.

Esta aplicação se comporta como um modelo de fonte ON / OFF. Em outras palavras, PDUs são transmitidas durante o período ON e ruído de conforto só é enviado durante o período OFF. ESTEPA (ESTAPA, et. al. 2004), utilizando medidas experimentais, comprovou que os período ON e OFF de codec AMR seguem uma distribuição de probabilidade exponencial, com valores médios de 1026 ms para o período ON e 1171 ms para o período OFF. Além disso, o modelo de tráfego VoIP considera o intervalo de tempo de transmissão de 20 ms e protocolos de transporte e compressão do cabeçalho.

Tabela 3 – Codec ARM parameters

| Parâmetros                                  | Valores                                                                                            |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Talk spurt length (On)                      | Exponential, $\mu = 1026$ ms                                                                       |
| Silence length (Off)                        | Exponential, $\mu = 1171$ ms                                                                       |
| Transmission Time Interval                  | 20 ms                                                                                              |
| Total MAC PDU size during a talk spurt (ON) | MAC header (6 bytes) + compressed RTP/UDP/IP header (3 bytes) + voice packet (33 bytes) = 42 bytes |

Fonte: Autoria própria, 2010.

#### 4.2.2 *MODELO DE TRÁFEGO HTTP*

O tráfego HTTP é modelado usando sessões típicas de navegação na web. Neste contexto, cada página da Web consiste em uma série de objetos, como uma página principal e objetos embutidos. A sessão é dividida em períodos ON / OFF representando Download de página web e tempos de leitura. O download da página web e cada um dos objetos constituintes é representada pelo período ON, enquanto o tempo de análise e sobrecarga do protocolo são representados pelos períodos OFF. O tempo de leitura é o período compreendido entre o acesso de duas páginas web e inclui o tempo para o usuário ler a totalidade ou parte da página web. Os parâmetros, valores e distribuições de probabilidade do tráfego HTTP são apresentados na Tabela 4 e consideram as recomendações do Forum WiMAX.

Tabela 4 – Parâmetros do tráfego HTTP

| Componet                    | Distribution           | Parameters                                                                   | PDF                             |
|-----------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Main<br>Page size           | Truncated<br>Lognormal | Mean = 10710 bytes<br>SD1 = 25032 bytes<br>Min = 100 bytes<br>Max = 2 Mbytes | $\sigma = 1.37$<br>$\mu = 8.37$ |
| No embedded<br>objects page | Truncated<br>Lognormal | Mean = 7758 bytes<br>SD = 126168 bytes<br>Min = 50 bytes<br>Max = 2 Mbytes   | $\sigma = 2.36$<br>$\mu = 6.17$ |
| Embedded<br>object size     | Truncated<br>Pareto    | Mean = 5.64<br>Max = 53                                                      | $\alpha = 1.1$<br>$m = 55$      |
| Reading time                | Exponential            | Mean = 30 s                                                                  | $\lambda = 0.033$               |
| Parsing time                | Exponential            | Mean = 0.13 s                                                                | $\lambda = 7.69$                |

Fonte: Autoria própria, 2010.

A fim de analisar o comportamento da integração entre o escalonador downlink e o alocador, é necessário caracterizar os aspectos físicos do IEEE 802.16e. Os parâmetros considerados na simulação estão resumidos na Tabela 5. Estes parâmetros são baseados em valores típicos encontrados na literatura (WANG; GHOSH. 2008).

Nós estamos considerado um canal wireless de banda de 10 MHz, usando interface física OFDMA, a fim de simular redes WiMAX. O tamanho da FFT de 1024 com 720 portadoras para transmissão de dados foi escolhido para refletir a aplicação obrigatória e garantir a interoperabilidade de dispositivos. Além disso, usamos uma configuração de prefixo cíclico de 1/8, 29 subframe símbolos de downlink, reservado para um preâmbulo e os restantes para o envio de dados e informações de controle. Portanto, temos um subframe de downlink capaz de transmitir  $14 \times 30 = 420$  slots considerando o método PUSC de sub-canalização e uma duração de quadros de 5 ms. Estes parâmetros vem após um dos cenários de simulação sugerido pelo WiMAX Forum.

Os parâmetros definidos para configurar o escalonador e o alocador são específicos para cada algoritmo. Neste contexto, utilizou-se o prazo máximo para o

ertPS igual a 155 ms. Além disso, calculou a taxa de transferência máxima de MS de 15,4 Mbps para o escalonador intra-classe utilizando-se 0,5 para  $\alpha$  e  $p$  como valores normalizados. No contexto do alocador, consideramos o máximo de 10 iterações do algoritmo RTS e parâmetro mínimo aceitável igual a 0,5, pois este valor apresentou um bom desempenho na análise realizada pelo Cicconetti (CICCONETTI. 2010).

O algoritmo RTS define uma função  $\phi(\pi)$  para criar o  $DL_{MAP}$  que calcula a sobrecarga de controle de informações. No entanto, os algoritmos MiSP e OCSA não consideram o mapa de sobrecarga downlink. Neste contexto, foi utilizada a equação 3 em três algoritmos para analisar o desempenho das alocações, considerando o mapa de sobrecarga downlink.

$$DL_{MAP} = DL_{head} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M DL_{IE(j)} + DL_{CID(k)} \quad (3)$$

No lado do uplink, nós definimos um mapa de sobrecarga fixa como 9  $UL_{IEs}$  (3 IEs de dados, 3 IEs do pedido de largura de banda e 3 IEs de alocação IE), utilizando um total de 30 slots. Finalmente, nós garantimos um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 5 – Parâmetros da Simulação

| Parameters                 | Values        |
|----------------------------|---------------|
| Channel Bandwidth          | 10 MHz        |
| FFT size (subcarrier)      | 1024          |
| FFT data (subcarrier)      | 720           |
| Cyclic prefix              | 1/8           |
| DL subframe symbols        | 29            |
| OFDMA sub-channels         | 30            |
| Downlink PUSC zone (slots) | 14 x 30 = 420 |
| Frame duration             | 5 ms          |
| Maximum deadline of ertPS  | 155 ms        |
| Maximum throughput of a MS | 15.4 Mbps     |
| Confidence Interval        | 95%           |

Fonte: Autoria própria, 2010.

Nos gráficos apresentados nas Figuras 4 e 5 é possível analisar o número de conexões (em função do tempo em segundos) aceitas e conexões rejeitadas para um tráfego de 100 conexões. Na simulação, utilizamos as classes de serviço BE e ertPS.

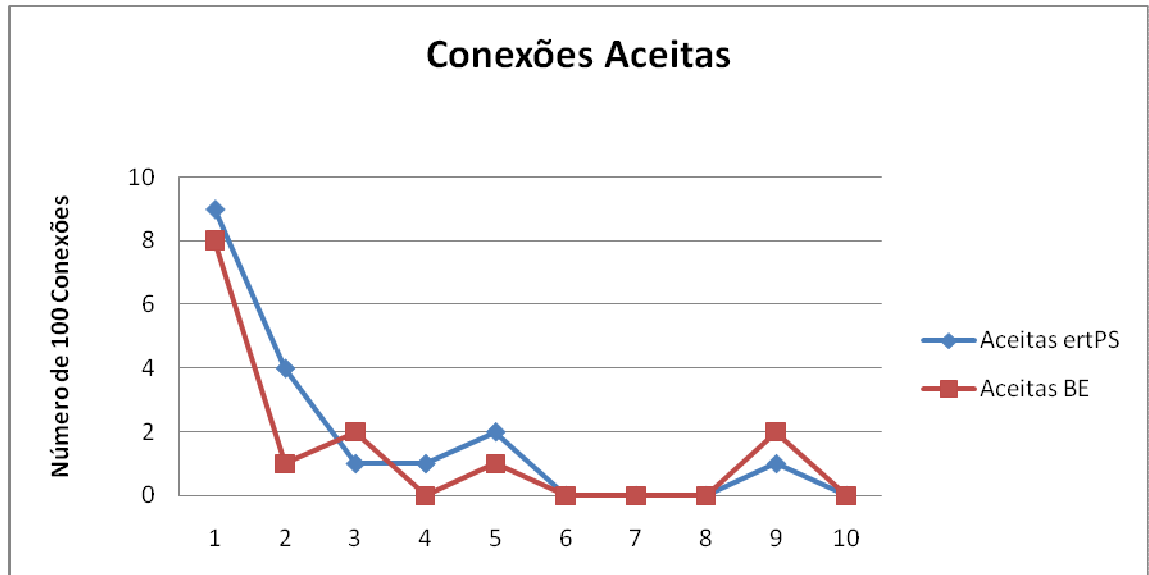


Figura 4. Número de Conexões Aceitas (100)

Fonte: Autoria Própria 2010

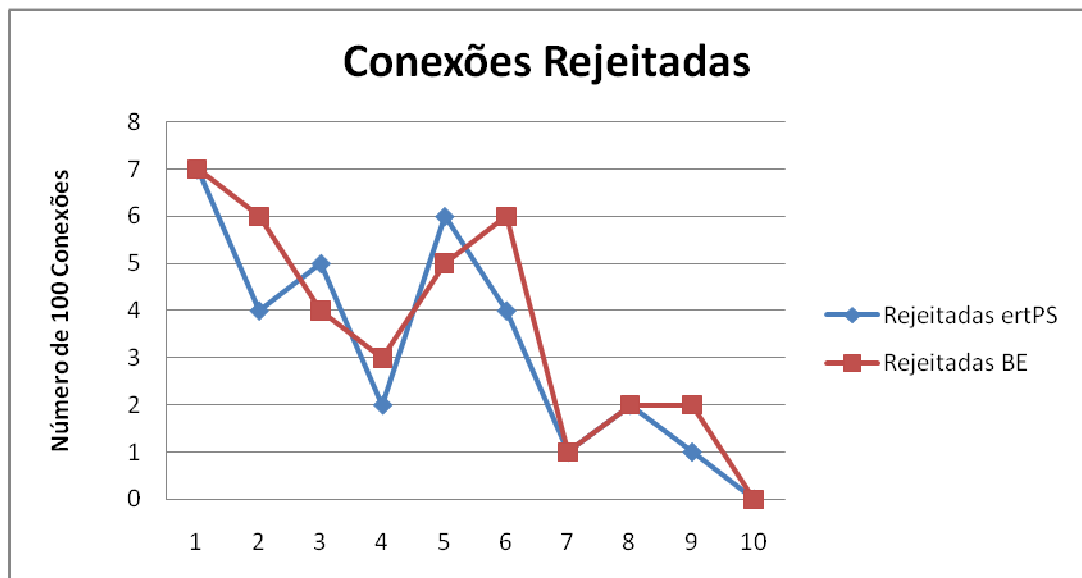


Figura 5. Número de Conexões Rejeitadas (100)

Fonte: Autoria Própria 2010

Para os gráficos apresentados nas figuras 6 e 7, o número de conexões em comparação aos gráficos das figuras 4 e 5, foi aumentado de 100 para 300 conexões. Utilizamos as classes de serviço BE e ertPS.

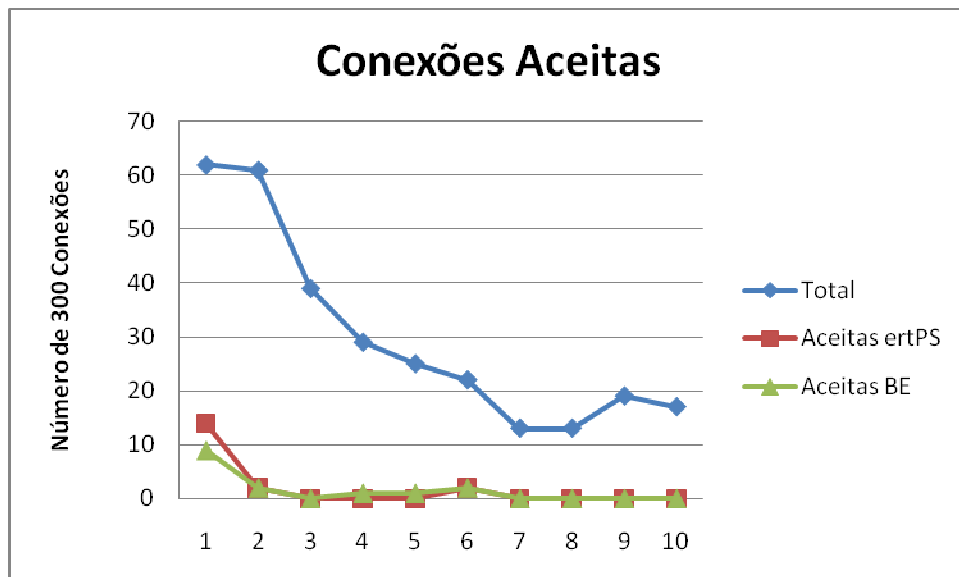


Figura 6. Número de Conexões Aceitas (300)

Fonte: Autoria Própria 2010

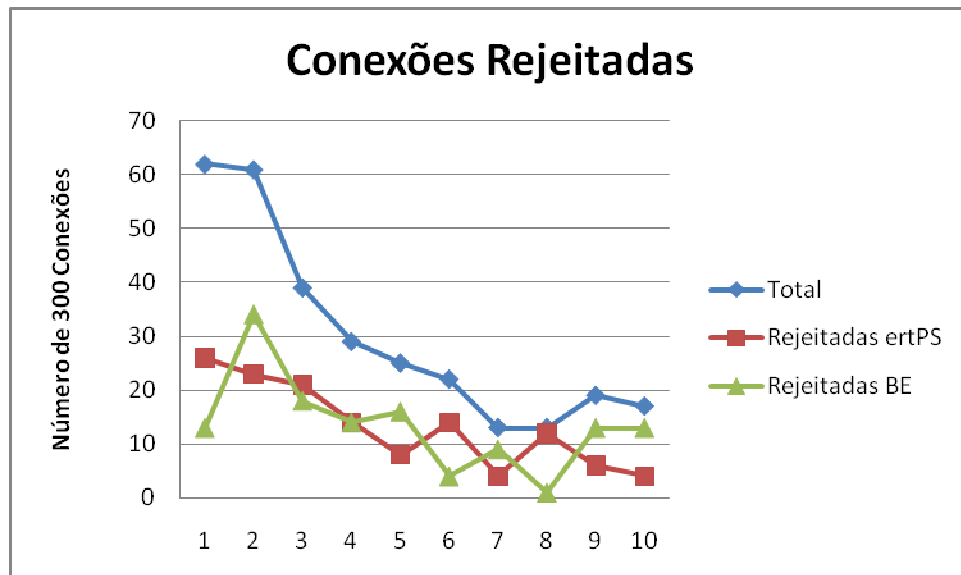


Figura 7. Número de Conexões Rejeitadas (300)

Fonte: Autoria Própria 2010

Para esta última amostragem, geramos dois gráficos com o número 500 conexões que são mostrados nas figuras 8 e 9. Mantemos as classes de serviço utilizadas nos exemplos anteriores.

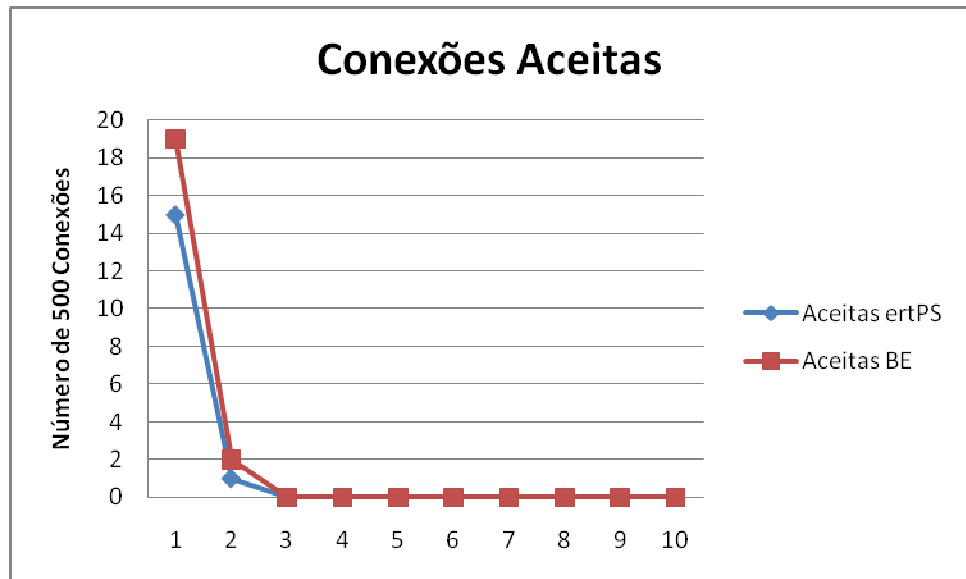


Figura 8. Número de Conexões Aceitas (500)

Fonte: Autoria Própria 2010

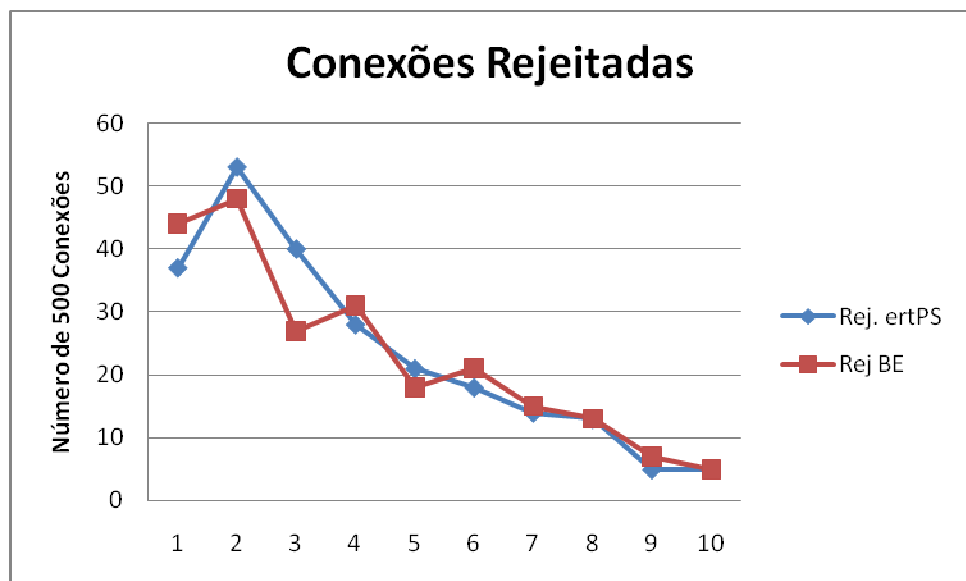


Figura 9. Número de Conexões Rejeitadas (500)

Fonte: Autoria Própria 2010

Ao final da simulação fica visível que quanto mais aumenta o número de conexões que chegam no sistemas CAC, maior é o número de conexões rejeitadas. Desta forma o sistema CAC evita sobre carregamento de conexões na rede, rejeitando novas conexões e até que o sistema disponibilize recursos para poder alocar estas novas conexões sem que comprometa o desempenho das conexões que já estão ativas..

## 5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A implementação proposta neste trabalho inclui uma Base de Conhecimento para auxiliar o Sistema CAC que foi desenvolvido. A Base de Conhecimento auxilia o sistema CAC devido a característica de poder mapear os recursos disponíveis no ambiente, de tal forma que este mapeamento irá ajudar a definir um perfil do uso atual da rede baseado nas informações que são recebidas constantemente. Desta forma o Sistema CAC poderá aplicar o algoritmo CAC mais adequado de acordo com o perfil de uso da rede. Foi implementado um sistema de CAC simples baseado na utilização de banda larga, onde definimos modelos de tráfegos para associar as classes de serviço BE e ertPS com respectivamente as aplicações HTTP e VoIP.

Na simulação dos resultados da implementação, foram utilizados os números de 100, 300 e 500 conexões chegando a estação base. De acordo com os parâmetros definidos na sessão 4, foi possível observar através dos gráficos obtidos uma crescente no número de conexões rejeitadas. Conforme o crescimento do número de conexões que a estação base vai recebendo, o CAC começa a rejeitar estas solicitações de conexão à estação base. Desta forma é garantido que existiram recursos disponíveis para manter as conexões ativas com garantia de QoS, e somente serão aceitas novas conexões quando existirem recursos disponíveis para elas.

Para trabalhos futuros, são apresentadas algumas possibilidades baseadas nos estudos realizados neste trabalho.

- Realizar novas simulações utilizando outras classes de serviço.
- Utilizar outros tipos de CAC.
- Estudar a possibilidade de uma nova ferramenta para realizarmos a simulação.

## REFERÊNCIAS

A. ESTEPA, A; ESTEPA, R; and VOZMEDIANO, J. "A new approach for VoIP traffic characterization," **IEEE Communications Letters**, v. 8, n. 10, pp. 644–646, October 2004.

AHMED; M. H. Call admission control in wireless networks: a comprehensive survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 7, n. 1, pp. 49–68, 2005.

BASHAR, S. DING, Z. Admission control and resource allocation in a heterogeneous OFDMA wireless network. **IEEE Transactions on Wireless Communications**, v.8, n.8, pp.4200–4210, August 2009.

CHOI, J. *et al.* Call Admission Control for Multimedia Services in Mobile Cellular Networks: A Markov Decision Approach. **Proc. 5th IEEE Symp. Comp. and Commun. (ISCC 2000)**, 2000, pp. 594–99.

COHEN, R and KATZIR, L. Computational analysis and efficient algorithms for micro and macro ofdma downlink scheduling, **IEEE Transactions on Networking**, v. 18, n. 1, February 2010.

EPSTEIN, B. and SCHWARTZ, M. Predictive QoS-based Admission Control for Multiclass Traffic in Cellular Wireless Networks. **IEEE JSAC**, v.18, n.3, Mar. 2000, pp. 523–34.

HUANG, C and YATES, R. Call Admission in Power Controlled CDMA Systems. **Proc. IEEE 46th Vehic. Tech. Conf. (VTC'96)**, 1996, v.3, pp. 1665–69.

"IEEE standard for local and metropolitan area networks - part16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems – **IEEE std. 802.16-2005**," December 2005.

LEE, J. Y. and KIM, K. B. Statistical connection admission control for mobile WiMAX systems, in Proceedings of **IEEE Wireless Communications and Networking Conference**, April 2008, pp. 2003–2008.

NAGHSHINEH, M. and ACAMPORA, A. QOS Provisioning in Microcellular Networks Supporting Multimedia Traffic. **Proc. 14<sup>th</sup> Annual Joint Conf. IEEE Comp. and Commun. Societies (INFOCOM '95)**, 1995, v.3, pp. 1075–84.

NUAYMI, P. GODLEWSKI, L. and MIHAILESCU, C.. Call Admission Control Algorithm for Cellular CDMA Systems based on Best Achievable Performance. **Proc. IEEE Vehic. Tech. Conf. (VT'00-Spring)**, Tokyo, 2000, v. 1, pp. 375–79.

QIN, C. Power reservation-based admission control scheme for IEEE 802.16e OFDMA systems. in Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference, March 2007, pp. 1831–1835.

RONG, B. et al. Call admission control optimization in WiMAX networks. *Transactions on Vehicular Technology*. **IEEE**, v.57, n.4, pp. 2509–2522, 2008.

RONG, B; QIAN, Y. and CHEN. H. Adaptive power allocation and call admission control in multiservice WiMAX access networks. **IEEE Wireless Communications**, v. 14, n.1, pp.14–19, February 2007.

RONG, B; QIAN, Y. Integrated downlink resource management for multiservice WiMAX networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, n.6.

S. GHAZALT, S. Applying a self-configuring admission control algorithm in a new QoS architecture for IEEE 802.16 networks. in *Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communications*, July 2008, pp. 1023–1028.

SAMAAN, N. KARMOUCH, A. Towards autonomic network management: an analysis of current and future research directions. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 11, n. 3, pp. 22–36, August 2009.

“Self-adapting Mobile WiMAX networks: Rethinking the Design of Connection Admission Control System,” January 2010. ( está em processo de revisão na ACM/SIGCOMM/CCR)

SEKERCIOGLU, Y. A.; IVANOVICH, M.; YEGIN, A. A survey of MAC based QoS implementations for WiMAX networks. **Computer Networks**, v.53, n.14, pp. 2517–2536, 2009.

SO-IN, C. AND JAIN R. and TAMIMI, A.-K. “Scheduling in IEEE 802.16e mobile WiMAX networks: Key issues and a survey,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 27, n. 2, pp. 156–171, February 2009.

WANG, X. A statistical connection admission control mechanism for multiservice IEEE 802.16 network, in *Proceedings of IEEE 69<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference*, April 2009, pp. 1–5.

WiMAX Forum, “WiMAX system evaluation methodology v 2.1,” **WiMAX Forum**, July 2008.

ZHAO, D. SHEN, X and MARK, J Call Admission Control for Heterogeneous Services in Wireless Networks Communications. **Proc. IEEE Int’l. Conf. Commun. (ICC’00)**, 2000, vol. 2, pp. 964–68.,

ZHU, B. Fair connection admission control scheme for IEEE 802.16e systems. **IEEE**, v. 1, n.1., October 2008, pp. 1–4.