

# Avaliações Comparativas de Protocolos de Acesso com Garantia de Qualidade de Serviços em Redes sem Fio

Luís Felipe M. de Moraes, Fernando C. A. Verissimo

<sup>1</sup>Laboratório de Redes de Alta Velocidade - RAVEL  
COPPE/Programa de Engenharia de Sistemas e Computação  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ  
Caixa Postal: 68.511 - 21941-972 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

{moraes,verissimo}@ravel.ufrj.br

**Abstract.** *This work presents and examines new proposals for alternatives for the MAC layer of the 802.11e standard, aiming at the guarantee of QoS in wireless networks that use the Wi-Fi technology. In objective terms, the presented proposals aim at providing a greater throughput in the channel and a lower response time for packet transmitted in the network, as in the contention-based channel access (EDCF), as in the contention-free channel access (HCF). Simulation results demonstrate the gains proportionated by the new described proposals, mainly in relation to the metrics involving the throughput of the packets belonging to higher priority classes.*

**Resumo.** *Este artigo apresnta e examina novas propostas de variações para a camada MAC do padrão 802.11e, visando a garantia de QoS em redes sem fio que utilizam a tecnologia Wi-Fi. Em termos objetivos, as propostas apresentadas visam proporcionar uma maior vazão agregada no canal e um tempo de resposta mais baixo para os pacotes transmitidos na rede, tanto no modo de contenção (EDCF), quanto no modo livre de conteção (HCF). Resultados de simulações demonstram os ganhos proporcionados pelas novas propostas descritas, principalmente com relação às métricas envolvendo a vazão dos pacotes pertencentes às classes com prioridades mais elevadas.*

## 1. Introdução

A grande proliferação das tecnologias de comunicação em meios não confinados (sem fios) deverá resultar num uso cada vez maior de dispositivos sem fio (*wireless*), para as mais diversas aplicações e serviços. No entanto, existe ainda um número pequeno de serviços oferecidos através de dispositivos sem fio, em relação ao enorme potencial existente. Acredita-se que com o aumento na oferta de produtos, a demanda gerada pelos usuários por aplicações será explosiva. A rede deve estar preparada para prover diferenciação de serviços entre as várias aplicações existentes para os mais diferentes fins. Hoje já há demanda por fluxos de voz, vídeo e dados concomitantemente numa mesma estação. Estas aplicações requerem um tratamento especial com relação à Qualidade de Serviços (*Quality of Service - QoS*) atingida, pois caso determinados parâmetros de QoS não sejam respeitados, observam-se efeitos de *starvation*<sup>1</sup>, onde a quantidade de

---

<sup>1</sup>*Starvation* é o fenômeno observado quando o recurso nunca é alocado para uma entidade, pois está sendo alocado essencialmente para outras.

informações transmitidas impede o correto entendimento das mesmas, tornando o acesso ao meio ineficiente.

A mobilidade é a principal característica das redes sem fio, pois permite ao usuário permanecer conectado à rede, mesmo enquanto se move. Um usuário pode utilizar seu dispositivo e permanecer conectado durante sua locomoção entre dois pontos. Esta facilidade, no entanto, ocasiona problemas no projeto destas redes. Quando se trata de rede infra-estruturada, a disposição do usuário no interior da área de cobertura de um ponto de acesso é que garante a manutenção de transição de um ponto de acesso para o outro (*handoff*). Em redes *ad hoc*, a mobilidade traz problemas no estabelecimento de rotas e na vazão total dos fluxos de pacotes na rede [Su et al. 2001, Gupta and Das 2001].

Muitos desses problemas são resolvidos com protocolos de acesso ao meio que decidem, por diversos métodos, a ordem em que os dispositivos podem transmitir. Estudos feitos há décadas indicam a vantagem do compartilhamento de recursos, observada principalmente através do ganho estatístico obtido com a lei dos grande números, ocasionando aumento no desempenho e diminuição nos custos [Kleinrock 1979].

A idéia de QoS foi primeiro descrita pela ISO (*International Organization for Standardization*) para medir a QoS oferecidos por uma rede de comunicações, mas hoje sabemos que a QoS é um conceito que provê qualidade. Esse conceito, inicialmente focado na rede, evoluiu para uma noção mais ampla, contemplando as múltiplas camadas da interação usuário-sistema.

A QoS envolve ainda questões de ordem organizacional e administrativa, como segurança, privacidade, contabilidade/política de preços dos serviços, estabelecimento e monitoração de contratos de serviços e grau de disponibilidade da rede (em termos de tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo). A forma mais simples de oferecer QoS é o superdimensionamento da rede, mas a mais barata envolve a inclusão de mecanismos que buscam racionalizar o uso dos recursos disponíveis na rede. Esses mecanismos estabelecem níveis de serviço e permitem a convivência na mesma rede de tráfegos com requisitos distintos de qualidade. Tráfegos pertencentes a níveis de serviço diferentes são tratados de forma que o nível mais prioritário possa sempre dispor dos recursos de que necessita, ainda que em detrimento dos níveis menos prioritários. Ao mesmo tempo, tráfegos pertencentes a um mesmo nível de serviço são tratados de forma que suas demandas sejam atendidas de forma justa.

Dentre as métricas de QoS mais utilizadas na literatura destacam-se o retardo médio, o *jitter*<sup>2</sup>, a taxa de perda e a vazão obtida. No entanto, é necessário ter um bom entendimento da natureza e requisitos do tráfego multimídia para se obter um bom nível de QoS em redes com este tipo de tráfego.

Enquanto o tráfego de dados é sensível à taxa de perdas, o tráfego multimídia (consistindo basicamente de voz e vídeo) é mais sensível ao retardo e ao *jitter* do que à taxa de perdas em si. Estudos mostram que no tráfego multimídia, a perda de alguns pacotes não interferem no correto entendimento do conteúdo que está sendo transmitido, ao passo que um grande retardo ou uma variância grande neste retardo traz graves conseqüências [Kurose and Ross 2001].

---

<sup>2</sup>É conhecido como *jitter* a variação do retardo.

É importante destacar que de um lado existe o desempenho do protocolo de acesso, que pode ser analisada com as métricas mencionadas anteriormente, e de outro lado existe a QoS atingida em aplicações multimídia. Ao se utilizar um protocolo de acesso que suporte o tráfego multimídia é interessante analisá-lo tanto sob o ponto de vista do desempenho do protocolo quanto sob o ponto de vista da QoS oferecida a este tipo de tráfego.

Alguns trabalhos existentes na literatura também procuram obter QoS na camada de rede. Muitos destes trabalhos utilizam modelos de mobilidade para predição do deslocamento das estações e reserva antecipada de recursos. Em [Lima 2002] são referenciados diversos trabalhos que utilizam técnicas similares. Já em redes *ad hoc* os modelos de mobilidade podem ser utilizados para predição do particionamento da rede [Campos et al. 2003], de forma a agir antecipadamente e garantir maiores níveis de QoS.

Existem redes especializadas onde só existem aplicações que produzem tráfego do mesmo tipo, por exemplo uma rede para aplicação de vídeo sobre demanda, onde canais estariam reservados para esse tipo de tráfego. Neste caso a diferenciação de serviço é ineficaz, pois não traria benefícios. Em [de Pinho 2005], o autor apresenta uma proposta onde são utilizados pontos de acesso co-localizados operando em diferentes canais de redes no padrão IEEE 802.11a/g com objetivo de aumentar a escalabilidade do sistema. Para isso, introduz novas heurísticas de controle de associação baseadas na aplicação de VoD (Vídeo sobre Demanda) para explorar a largura de banda agregada disponibilizada pelos múltiplos pontos de acesso.

A idéia do nosso trabalho visa dar continuidade aos trabalhos realizados em [Otero 2004] e [Kong et al. 2004]. Objetiva-se comparar alternativas para diferenciação de serviços na camada de controle ao meio de acesso em redes locais sem fio, tanto no seu modo de contenção, como no modo de interrogação, enfatizando o distinto tratamento que se dá aos fluxos de dados de classes de prioridade distintas, por exemplo, um fluxo de uma video-conferência e um fluxo de um *download* de arquivo em um site FTP.

Além disso, a proposta apresentada aborda a adaptabilidade da configuração dos tamanhos das janelas de contenção, no protocolo de contenção do padrão IEEE 802.11 (seção 4.1), e, também, na sugestão de uma nova disciplina de escalonamento para a interrogação do mesmo padrão (seção 4.2). O embasamento teórico pode ser conseguido na seção 2. Esse trabalho visa, utilizando uma ferramenta própria, simular os vários ambientes, e fazer comparação através de gráficos.

## **2. Descrição de alguns aspectos relevantes do padrão IEEE 802.11e**

O 802.11e inclui propostas com o objetivo de implementar diferenciação de serviços na camada MAC, que é utilizada para a manutenção de aspectos de QoS. O padrão é formado basicamente por duas funções de coordenação, ou modos de operação: O EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*), que é uma extensão do modo DCF, descrito em [Verissimo 2005, Rubinstein and Rezende 2002], que implementa mecanismos de diferenciação de serviços, e o HCF (*Hybrid Coordination Function*), que é uma melhoria do modo PCF ([Rubinstein and Rezende 2002]).

Considera-se que a função de coordenação principal do 802.11e é o modo HCF, e que o EDCF faz parte do modo HCF. Este fato contrasta com a organização do 802.11 atual, onde o modo DCF é justamente a função de coordenação principal, e o

PCF é um modo opcional e pouco implementado comercialmente. Nas seções a seguir serão ressaltados pontos importantes das descrições dos modos EDCF e HCF conforme especificação no *draft* 4.1 do grupo de trabalho 802.11e [802 2003], entretanto não é objetivo desse trabalho descrever detalhadamente o padrão. Ele visa somente descrever o que está relacionado ao seu foco, de modo a facilitar o entendimento da proposta e da contribuição oferecida pelo trabalho.

## 2.1. EDCF

O modo EDCF, assim com o DCF do atual 802.11, é baseado no protocolo de acesso aleatório CSMA/CA, e como todo protocolo de acesso aleatório, neste modo o 802.11 está sujeito a colisões [Kleinrock 1976, Kleinrock 1985], que diminuem a eficiência do acesso ao meio. Para evitar colisões, o protocolo baseia-se na utilização do conceito de *interframe space* (IFS) e *backoff time*. Antes de iniciar a transmissão de um pacote pendente, toda estação espera durante um determinado intervalo de tempo, composto por um ou mais *interframe spaces*, e um intervalo aleatório denominado *backoff time*.

Os tamanhos dos IFSs são pré-definidos, e podem, de acordo com cada função, assumir valores distintos. Seguem os de três diferentes tamanhos mais conhecidos de *Interframe Spaces*:

**SIFS** *Short Interframe Space* - Este é o menor IFS. É usado para transmissões de quadros de alta prioridade: pacotes de ACK (confirmação de recebimento de pacotes) de quadros de dados, quadros CTS, quadros PCF e todo quadro de DCF DATA frames, exceto o primeiro fragmento de uma rajada.

**PIFS** *PCF Interframe Space* - Maior que SIFS. Depois de expirado o intervalo, quadros de qualquer modo de PCF podem ser transmitidos. É usado para o controle de *polling* no modo PCF.

**DIFS** *DCF Interframe Space* - Maior do que PIFS. Depois que o intervalo expirar, qualquer modo de quadros DCF podem ser transmitidos assíncrono de acordo com o mecanismo de *backoff* do CSMA. Utilizado para a transmissão de dados em geral (incluindo o de aplicações multimídia).

**AIFS** *Arbitration Interframe Space* - Tem a função de diferenciar pacotes por classe no EDCF. É sempre usando agregado com um SIFS.

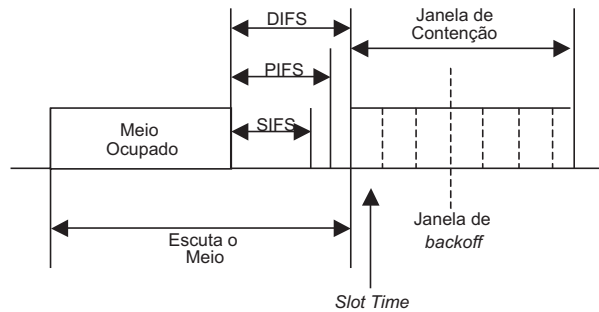
No protocolo EDCF, que suporta 8 níveis de prioridade, que são mapeados em 4 categorias de acesso (*Access Classes - AC*), os valores dos *interframe space* e do *backoff time* tem valores diferentes para cada AC, permitindo assim a diferenciação de serviço. Veremos adiante que o AIFS,  $CW_{min}$  e  $CW_{max}$  têm valores parametrizados pela AC.

Categoria de Acesso (AC)	Tipo
0	<i>Best Effort</i>
1	<i>Video Probe</i>
2	Video
3	Voice

**Table 1. Mapeamento de Prioridade para AC.**

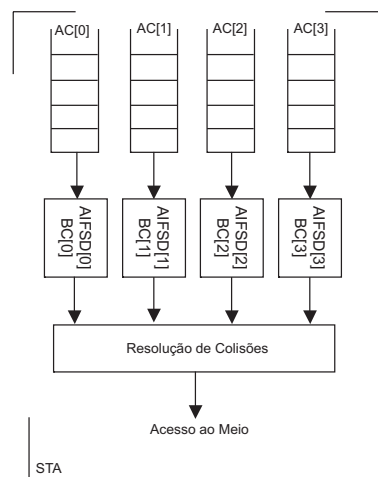
Cada categoria de acesso utiliza determinados parâmetros da camada MAC, cujos valores são utilizados para obter a diferenciação de serviços do protocolo. Os

parâmetros utilizados por cada categoria são:  $AIFSD[AC]$ ,  $CW_{min}[AC]$  e  $CW_{max}[AC]$ , onde  $AC$  varia entre 0 e 3, conforme a tabela 1.  $AIFSD[AC]$  é calculado da seguinte forma:  $AIFSD[AC] = SIFS + AIFS[AC] \times SlotTime$ , onde  $AIFS[AC]$  é um inteiro maior que zero. O valor de *backoff* é escolhido aleatoriamente entre  $[1, 1+CW[AC]]$ , onde  $CW[AC]$  é o valor da janela de contenção corrente, que está entre  $CW_{min}[AC]$  e  $CW_{max}[AC]$ . O fator multiplicativo, PF, utilizado para aumentar a janela de contenção no caso de colisões também assume, aqui, o valor 2. A figura 1 exibe a estrutura do acesso ao meio quando o EDCF é utilizado.



**Figure 1. Estrutura do acesso ao meio no modo EDCF.**

Da forma como foi estruturado o protocolo, cada categoria de acesso compete com as demais mesmo em uma única estação, ou seja, podem acontecer colisões denominadas colisões virtuais ou colisões internas, quando duas ou mais categorias existentes em uma única estação tentam transmitir simultaneamente. Neste caso a categoria prioritária tem sua transmissão realizada e as demais assumem que ocorreu uma colisão no acesso ao meio, ou seja, as medidas com relação ao incremento da janela de contenção e escolha de um novo tempo de *backoff* são tomadas. A figura 2 mostra a estrutura das categorias de acesso, presente em todas as estações que suportam o protocolo.



**Figure 2. Categorias de acesso utilizadas no modo EDCF.**

Desta forma, observa-se que o modo EDCF suporta a diferenciação de serviços através de suas quatro categorias de acesso. No entanto, por ser baseado em um protocolo de acesso aleatório, garantias não podem ser feitas. Com o objetivo de melhorar a diferenciação de serviços foi definido o modo HCF, descrito a seguir.

## 2.2. HCF

O modo HCF é descrito como a função de coordenação primária da proposta IEEE 802.11e, caracterizada por alternar entre períodos de acesso aleatório, regidos pelo EDCF, e períodos de interrogação (*polling*), conforme funcionamento descrito a seguir.

A entidade principal deste modo é o HC (*Hybrid Controller*) e ele possui duas funções principais: realizar o controle de admissão de conexões (CAC) e gerenciar a interrogação, desta forma coordenando o acesso ao meio. A disciplina de interrogação utilizada no 802.11e HCF é a limitada, ou seja, cada estação tem um período máximo de tempo por superquadro em que pode acessar o canal. A determinação do valor deste limite é responsabilidade do escalonador utilizado, e é função do tráfego de chegada e a quantidade de estações que disputam o meio.

O escalonamento das transmissões é feito em dois níveis. Um escalonador presente no HC determina a duração máxima do acesso ao meio por superquadro de cada estação, e um outro escalonador presente em cada estação determina, dentro deste limite, quanto tempo será utilizado para cada fluxo admitido no HCCA (*HCF Controlled Channel Access*). O HC realiza então a interrogação das estações de acordo com o escalonador central, enquanto que ao receber mensagens de interrogação as estações transmitem dados de suas aplicações de acordo com seu escalonador. Basicamente cada estação envia ao HC uma requisição de admissão de conexão para cada fluxo que deseja transmitir no modo HCCA, assim como o TSPEC (*Traffic Specification*) de cada um deles, informando a respectiva característica estatística de cada fluxo de dados assim como seus requisitos de QoS. Com estes dados o HC realiza o CAC, e caso esta conexão seja admitida estes dados também são utilizados para a determinação de dois parâmetros, que são o SI (*Service Interval*), que diz respeito ao intervalo entre interrogações sucessivas de uma mesma estação, e a duração do TXOP (*Transmission Opportunity*), período pelo qual a estação pode transmitir pacotes sucessivamente em um superquadro.

## 3. Simulador

Nesse trabalho optou-se por fazer um estudo sobre os protocolos propostos nesse trabalho através de simulação por causa da complexidade de se trabalhar analiticamente nesses protocolos. Em [Kong et al. 2004] foi feito um estudo analítico sobre o EDCF supondo a fila de serviço saturada<sup>3</sup>.

Utilizou-se um simulador próprio visando ganhar com o aumento do controle, sobretudo no que envolve o controle do fluxo de execução dos novos protocolos e outros parâmetros. A simplicidade do nosso simulador também é outro forte argumento a favor da dispensa do emprego de simuladores renomados, como, por exemplo, o NS [ns2]. O simulador utilizado foi desenvolvido em C++, e o estudo das métricas, como vazão e retardo médio, pôde ser efetuado na própria ferramenta, sem a necessidade da análise de seus arquivos de logs.

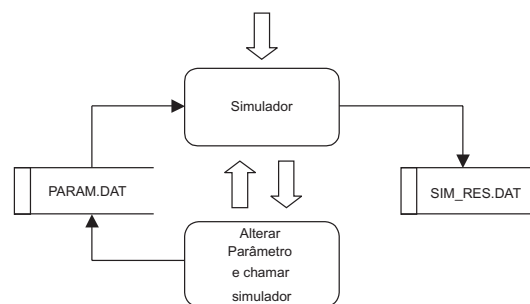
Esse artigo não foi original na aplicação dessa ferramenta. O seu desenvolvimento foi descrito em [Brasil 2001], e depois usada em mais dois outros trabalhos : [Silva 2003, Otero 2004]. O simulador funciona em um grande laço (*loop*) que busca numa lista encadeada de eventos e ordenada por tempo. A cada ciclo desse laço, o evento

---

<sup>3</sup>A fila é saturada quando sempre existe um serviço a ser atendido.

mais próximo é sacado da lista, e concomitantemente outros eventos podem ser agendados, a qualquer tempo, ou seja, podem ser inseridos na lista, no seu início, meio ou fim. Os eventos são relativos à ativação da fonte de tráfego, à chegada de pacotes na fila de entrada, ao controle do acesso ao meio e à prestação do serviço. Nesse princípio, o simulador se mostra totalmente versátil e pode-se criar qualquer tipo de evento.

Como o simulador não depende do relógio do computador em que está sendo executado, porque tem seu próprio contador de tempo, os resultados também não variam em função do desempenho do computador. Os parâmetros de entrada para o simulador estão no arquivo PARAM.DAT, localizado no diretório da ferramenta. Após leitura destes parâmetros o processo de simulação inicia, com um número de iterações especificado na linha 20 do arquivo PARAM.DAT. As variáveis de interesse (métricas) são coletadas e após o processamento são registradas no arquivo SIM\_RES.DAT. A figura 3 ilustra o processo. Além do simulador, existe um pequeno programa que altera alguns parâmetros, como o número de nós, e re-chama o simulador. Isso é indispensável quando o tempo de simulação é grande e é preciso se rodar a simulação várias vezes com parâmetros diferentes.



**Figure 3. Processo de simulação.**

Além das métricas definidas, o próprio simulador já calcula o intervalo de confiança obtido para o nível de confiança especificado. Mais detalhes sobre o simulador pode ser encontrado em [Verissimo 2005, Brasil 2001].

#### **4. Métodos de acesso simulados**

Este trabalho propõe duas mudanças na estrutura dos protocolos existentes no padrão IEEE 802.11e: o EDCF e o HCF. As mudanças objetivam o aumento da vazão de pacotes no canal, e a diminuição do retardo médio dos pacotes transmitidos. O RAEDCF e o HCF com disciplina otimizada, como foram nomeados as alterações nos protocolos EDCF e HCF, respectivamente, serão apresentados nas próximas seções.

##### **4.1. IEEE 802.11e RAEDCF**

Após a última transmissão bem sucedida de um pacote no EDCF, o valor da janela de contenção,  $CW$ , retorna para o seu valor mínimo,  $CW_{min}$ , abruptamente, independente das condições da rede.

Romdhani e outros em [Romdhani et al. 2002], propõem um novo protocolo que amortece a queda do valor do  $CW$ , que regride até chegar a  $CW_{min}$  a cada sucesso na transmissão. E esse trabalho imputou um pouco de aleatoriedade nessa regressão, o que

nos mostrou que os pacotes sofrem um retardo médio um pouco menor quando há poucas estações disputando o meio. O RAEDCF (*Random Adaptive Enhanced Distributed Coordination Function*) tem o mesmo funcionamento do EDCF. A diferença está em como agir no caso de uma transmissão bem sucedida e no caso da colisão.

Enquanto no EDCF, o valor de  $CW$  dobra no caso de uma colisão ( $PF = 2$ ), no RAEDCF o valor de  $CW$  é multiplicado por  $PF_i$ , onde  $PF$  é o fator de persistência, que assume um valor diferente para cada  $AC_i$  (por exemplo:  $PF_0 = 2$ ,  $PF_1 = 3$  e  $PF_3 = 5$ ). Já o novo valor do  $CW$  após uma transmissão bem sucedida na sua versão mais simples é decrescida de um fator de multiplicação (por exemplo:  $CW_{novo} = 0.5 \times CW_{antigo}$ ). Entretanto esse fator estático não é ótimo. Nesse trabalho, foi implementado uma técnica que é calcular uma variável,  $f_{atual}^i$ , a cada transmissão bem sucedida, onde

$$f_{atual}^i = \frac{colisoes_p^i}{total_p^i} \quad (1)$$

$colisoes_p^i$  é o número de colisões acontecidos na QSTA  $p$  no passo  $i$ , e  $total_p^i$  é o número total de pacotes enviados, com sucesso ou não, na QSTA  $p$  no passo  $i$ . O passo  $i$  representa o período de tempo antecedente ao atual, ou seja,  $f_{atual}^i$  é um índice de colisões de memória curta e recente. Utilizou-se o valor de 200 segundos que antecede o momento atual para fazer o cálculo de  $f_{atual}^i$ . Esse índice sempre terá um valor entre 0 e 1.

Para minimizar o efeito de um comportamento momentâneo da rede foi usado bastante tempo e várias observações para calcular  $f_{atual}^i$ , e usou-se um peso,  $\alpha$ , para amortecer o efeito da última atualização.

$$f_{media}^i = (1 - \alpha) \times f_{atual}^i + \alpha \times f_{media}^{i-1} \quad (2)$$

Observamos que o valor de  $\alpha$  estático, como foi definido em [Romdhani et al. 2002] tem um retardo ligeiramente maior do que na forma que implementamos, onde  $\alpha$  assume um valor aleatório distribuído uniformemente entre 0 e 1, a cada vez que é convocado. Isso traz mais aleatoriedade na escolha do tamanho da janela de contenção, o que trás maior espalhamento do momento de transmissão de cada fila virtual.

Mas para garantir a diferença de prioridade entre as distintas classes, ainda é necessário colocar alguma variável que seja em função da classe. E tendo em mente que o fator usado para reconfigurar a janela de contenção não pode exceder o seu valor anterior. Então se limita o valor máximo do fator multiplicativo ( $MF$ ) em 0.8.

$$MF_i = \min((1 + (i \times 2)) \times f_{media}^i, 0.8) \quad (3)$$

Finalmente, então, aplica-se a equação 3 à janela de contenção, respeitando-se o valor mínimo da janela ( $CW_{min}$ ), como na equação:

$$CW_{novo}^i = \max(CW_{min}^i, CW_{antigo}^i \times MF_i) \quad (4)$$



Na figura 4 pode-se observar uma maior vazão na classe mais prioritária, AC1, quando usa-se o protocolo RAEDCF, comparando-se com o protocolo EDCF. O fato é melhor visualmente observado a partir de 30 estações competindo pelo meio. Em contrapartida, observa-se uma perda na vazão da classe menos prioritária, AC3. A maior contribuição desse protocolo é quando o número de estações é menor do que 30. A figura 5 mostra essa diferença em detalhes, principalmente no que tange os fluxos de maior prioridade (AC1).

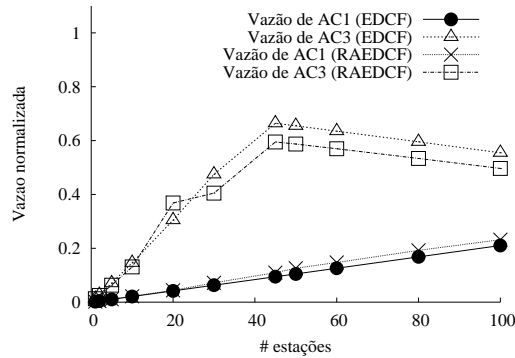


Figure 4. Vazão em função do número de estações nos modos EDCF e RAEDCF.

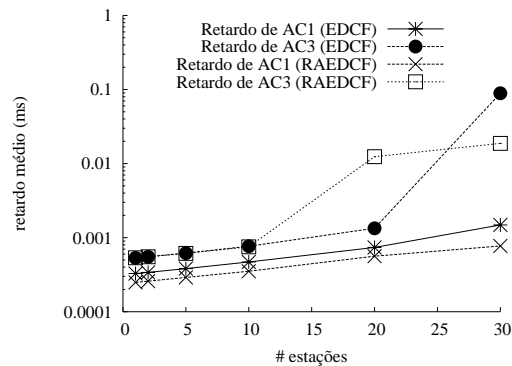


Figure 5. Retardo médio em função do número de estações nos modos EDCF, AEDCF e RAEDCF.

#### 4.2. HCF com Disciplina Otimizada

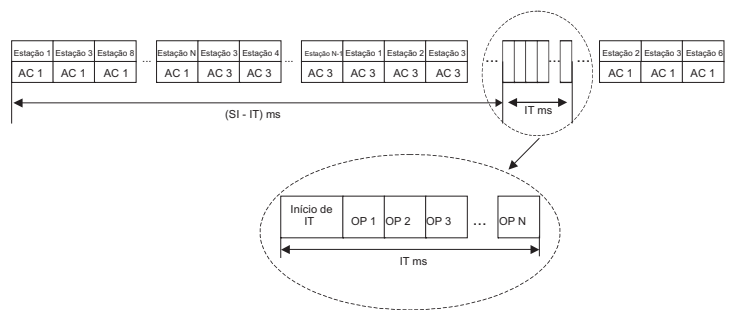
Observa-se, durante a simulação do HCF, que com um número pequeno de estações competindo pelo meio, ou seja, com uma baixa taxa de chegada de pacotes, a maioria das vezes que o HC visita a estação (interrogação), ele a encontra sem pacotes para transmitir, seja numa fila de maior prioridade (AC1) ou numa fila de menor prioridade (AC3). Então, imaginou-se que seria mais otimizado o tempo se o HC não tivesse que visitar todas as estações, mas apenas as que tivessem pacotes a transmitir.

Seria muito custoso para o HC fazer um inventário online das filas de cada estação. Por isso pensamos em propor um inventário no final de cada ciclo, aproveitando o tempo final do SI. A proposta foi apelidada de FOHCF (*Feedback Optimized Hybrid Coordination Function*), e entendemos que ela tenta aproveitar o tempo final do ciclo de

interrogação que, com baixo tráfego de chegada, é desperdiçado com visitas às estações sem pacotes para transmitir.

Chamamos de IT (*Inventory Time*) o tempo necessário para que o HC sinalizasse a todas as estações o início do período, e para que todas as estações possam enviar o equivalente a 1 bit para cada classe de acesso, anunciando quais de suas filas virtuais têm pacotes a transmitir. Leva-se em consideração um tempo entre cada informação vinda de cada estação para o HC igual ao valor de três vezes e meia o tempo da informação como margem de erro. Como exemplo, calculamos esse tempo para um sistema com 50 estações, e ele chega até um pouco menos de 0,02 ms. Durante esse IT, o protocolo funciona de forma similar às técnicas de acesso ao meio chamadas de mini-segmentadas [Kleinrock and Scholl 1980].

Obviamente esse algoritmo somente é eficiente quando o IT é menor que o tempo que se economiza não visitando inutilmente uma estação. É importante dizer que o custo de se visitar inutilmente é grande se comparável as técnicas de envio pelos protocolos mini-segmentados. A cada visita há um gasto de envio de um pacote selecionado à estação e à fila virtual a transmitir e um retorno dessa fila informando que não há pacotes na fila. Levy e Sidi [Levy and Sidi 1990] lembram que quando um sistema está extremamente carregado, o tempo gasto entre a interrogação de cada estação é desprezível se comparado com o tempo em que as transmissões estão sendo feitas, entretanto, aqui, estamos usando disciplinas exaustivas em um sistema com número baixo de estações, justamente quando o FOHCF é mais eficiente.



**Figure 6. Escalonamento realizado pela disciplina otimizada.**

O HC, depois de visitar todas as estações que tenham pacotes de classe AC1 e AC3 para transmitir, e ainda estiver dentro do mesmo ciclo, começa a visitar todas as estações ignorando as informações de inventário buscando por pacotes da classe AC3. O funcionamento desta disciplina de escalonamento está representado na figura 6.

Por causa disso podemos constatar que a classe AC3 é a mais beneficiada nessa disciplina, reduzindo o seu tempo médio de retardo, uma vez que os pacotes da fila de AC3 que chegarem durante um ciclo, tendo tempo, ainda poderão ser transmitidos durante o mesmo ciclo.

### 4.2.1. Tráfego assimétrico

Até esse ponto usamos um modelo de chegada que impunha ao simulador um tráfego igual para todas as estações. A disciplina otimizada, é menos eficiente quando o tráfego é igual em todas as estações, pela sua própria lei de formação que ganha sobre a sobrecarga de uma estação sobre o ócio das outras.

Para criar-se um tráfego assimétrico somente se variou o tráfego de voz para esse modelo. O tráfego de dados continua o mesmo. Nos outros modelos, a fonte de voz era uma fonte *On-off* que ficava em produção seguindo uma variável aleatória exponencial de média 1,2 segundos e em silêncio seguindo uma variável aleatória exponencial de média 1,8 segundos. Para esse modelo de tráfego assimétrico, criamos um vetor com 5 posições, tento em cada célula um valor para o tempo médio de silêncio ou de produção da fonte *On-off* Exponencial : 0,4 segundos, 1,2 segundos, 1,4 segundos, 4 segundos, 13 segundos. Criou-se, então, uma variável aleatória uniforme que escolhe um dos cinco tempos a cada vez que a fonte decide quanto tempo ficará em produção ou quanto tempo ficará em silêncio. Essa estratégia não faz uma estação receber mais tráfego do que as outras durante o período de simulação, mas sim somente durante um espaço de tempo menor que o tempo de simulação.

### 4.2.2. Resultados

Simulamos novamente a disciplina HCF com esse novo modelo de tráfego para a melhor comparação. As figuras 7 e 8 exibem, respectivamente, a vazão e o retardo médio do HCF com o modelo de tráfego assimétrico. Enquanto as figuras 9 e 10 exibem, respectivamente, a vazão e o retardo médio do FOHCF com o modelo de tráfego assimétrico.

Observa-se que a solução do uso da disciplina otimizada (FOHCF) traz uma vazão para a classe mais prioritária melhor que na disciplina HCF. O gráfico de retardo médio também traz resultados positivos, com pontos atraentes tanto para a classe mais prioritária quando para a classe menos prioritária.

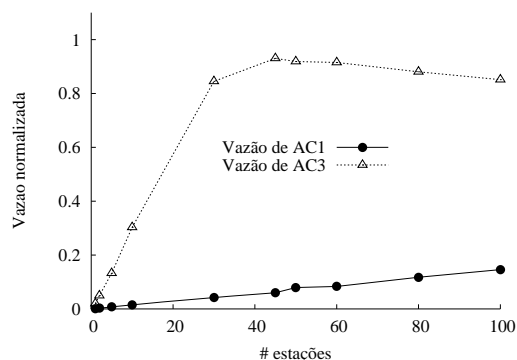


Figure 7. Vazão no HCF com tráfego assimétrico.

Note também que com uma estação não podemos usar a disciplina FOHCF, pois então não haveria ganho, uma vez que deixar o HC ocioso é tão custoso quanto fazê-lo visitar uma estação sem saber se terá pacotes a serem transmitidos.

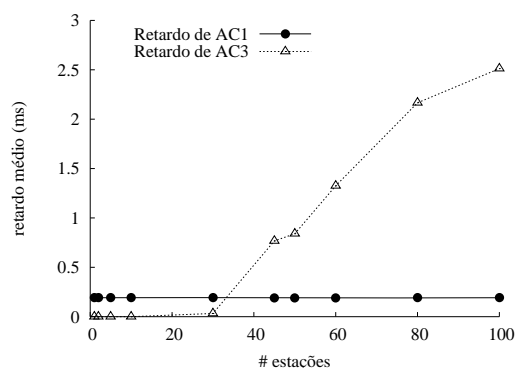


Figure 8. Retardo médio no HCF com tráfego assimétrico.

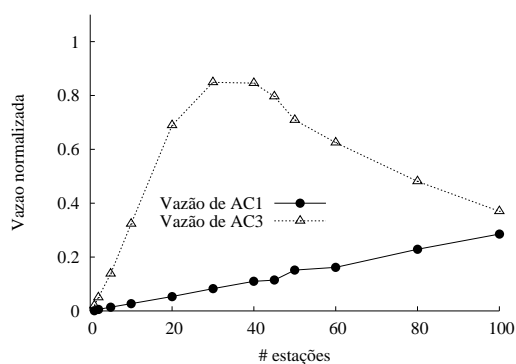


Figure 9. Vazão no FOHCF com tráfego assimétrico.

## 5. Conclusão

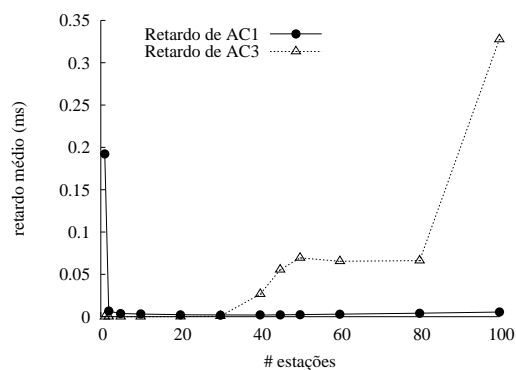
Com esse trabalho esperamos contribuir para o melhor entendimento das funções de diferenciação de serviços no protocolo mais utilizado para redes locais sem fio (padrão 802.11). Nessas páginas o leitor teve a sua disposição o detalhamento dos aspectos que envolvem a disputa pelo acesso ao meio transportador. Também contribuímos com a especulação de com que pequenas melhorias nos protocolos padronizados pelo IEEE poderíamos ter ganhos no seu desempenho.

Foram apresentadas 1 alternativa ao escalonador descrito pelo IEEE ([802 1999]) para o protocolo de acesso livre de contenção (interrogação), e 1 alternativa ao protocolo EDCF de disputa pelo meio com contenção.

## 6. Trabalhos Futuros

Diversos são os estudos complementares que podem ser realizados com base nos resultados apresentados neste trabalho. Nesta seção serão listados os principais como sugestões para trabalhos futuros.

Este trabalho considerou uma única disciplina de gerenciamento de *buffer*, porém, conforme foi apresentado na dissertação [Verissimo 2005, p. 35], diversas são as alternativas. A utilização de disciplinas diferentes pode trazer resultados distintos quanto à diferenciação de serviços, constituindo uma área de oportunidade para novos estudos. Poderiam também ser simulados cenários onde o tráfego é assimétrico, ou seja, as taxas



**Figure 10. Retardo médio no FOHCF com tráfego assimétrico.**

médias de cada modelo de tráfego podem variar de acordo com a estação, que por sua vez pode não possuir todos os tipos de tráfego existentes na rede.

Pode-se também fazer o mesmo estudo introduzindo-se, agora, rotinas de controle de admissão de conexões (CAC). Pode-se estabelecer valores mínimos e máximos para as métricas principais de QoS, e os novos fluxos seriam aceitos ou não pelas rotinas de CAC. A aplicação de políticas de controle de admissão também traria resultados interessantes para complementar esta pesquisa. O efeito de diferentes políticas na diferenciação de serviços e o impacto no tráfego dos fluxos prioritários e não prioritários seria um bom ponto de partida para novos trabalhos. Lançamos mão dessa ferramenta uma vez para estudar a proposta FOHCF (seção 4.2), mas gostaríamos de fazer tal estudo para todas as propostas e analisar seus comportamentos.

Resultados importantes também poderiam ser alcançados levando em consideração a mobilidade do ambiente sem fio. Modelos de mobilidade como os apresentados em [Campos et al. 2003, Campos et al. 2004, Campos 2003] poderiam ser aplicados para a obtenção do nível de QoS atingido, prevendo situações como o particionamento da rede e o comportamento da disciplina de escalonamento sob um número variável de estações.

A adaptividade do tamanho da janela de contenção buscada com o protocolo RAEDCF na seção 4.2 poderia ser substituído por uma rotina, roubada da ciência de Inteligência Artificial, que aprendesse a distribuir as filas quanto ao momento de tentativa de acesso ao meio. Essa rotina deveria necessitar de baixo poder computacional, como exemplo citamos a ADALine.

Finalmente, a interface gráfica para o simulador poderia ser reconstruída com base nas alterações realizadas. Além disso, a ferramenta poderia passar por uma reestruturação de forma a modularizar alguns componentes críticos, como a função responsável pelo escalonamento. Esta reestruturação permitiria maior flexibilidade para a inclusão de novas disciplinas de escalonamento.

## 7. Agradecimentos

Agradecemos à Academia Brasileira de Ciências pelo apoio a esse trabalho.

## References

- The Network Simulator - NS-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- (1999). IEEE Std 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN MAC and Physical Layer Specifications. Reference number ISO/IEC 8802-11:1999(E), IEEE Std 802.11.
- (2003). IEEE 802.11e/d4.1, Draft Supplement to Part 11: Wireless LAN MAC and Physical Layer Specifications: MAC Enhancements for QoS.
- Brasil, R. (2001). Proposta e Desempenho Comparativo de Protocolos de Acesso para Redes Multimídia em Ambientes sem Fio. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/Engenharia de Sistemas e Computação.
- Campos, C. A. V. (2003). Uma Modelagem da Mobilidade Individual para Redes Móveis Ad Hoc. Master's thesis, COPPE/UFRJ.
- Campos, C. A. V., Otero, D. C., da Silva, A. M., de Albuquerque, L. R., and de Moraes, L. F. M. (2003). Mobilidade em Redes Sem Fio Ad hoc. In *Minicurso do V Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel (WCSF2003)*, pages 1–40, São Lourenço, MG, Brasil.
- Campos, C. A. V., Otero, D. C., and de Moraes, L. F. M. (2004). Realistic Individual Mobility Markovian Models for Mobile Ad Hoc Networks. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC 2004*, volume 4, pages 1980–1985, Atlanta, GA, USA.
- de Pinho, L. B. (2005). Estratégias Escaláveis para Distribuição de Mídias Contínuas sob Demanda em Redes sem Fio. Qualificação de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/Engenharia de Sistemas e Computação.
- Gupta, N. and Das, S. R. (2001). A capacity and utilization study of mobile ad hoc networks. *26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2001)*, 14-16 November 2001, Tampa, Florida, USA, *Proceedings*, pages 576–583.
- Kleinrock, L. (1976). *Queueing Systems volume II: Computer Applications*. Wiley-Interscience.
- Kleinrock, L. (1979). On Resource Sharing in a Distributed Communication Environment. *IEEE Transactions on Communication*, pages 27–34.
- Kleinrock, L. (1985). On Queueing Problems in Random-Access Communications. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-31(2):166–175.
- Kleinrock, L. and Scholl, M. (1980). Packet Switching in Radio Channels: New Conflict-Free Multiple Access Schemes. *IEEE Transactions on Communications*, COM-28(7):1015–1029.
- Kong, Z., Tsang, D. H. K., Bensaou, B., and Gao, D. (2004). Performance analysis of IEEE 802.11e contention-based channel access. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 22(10):2095–2106.
- Kurose, J. and Ross, K. (2001). *Computer Networks: A Top-Down Approach*. Wiley-Interscience.
- Levy, H. and Sidi, M. (1990). Polling Systems: Applications, Modeling, and Optimization. *IEEE Transactions on Communications*, 38(10):1750–1760.

- Lima, L. (2002). Um Framework para Provisão de QoS em Redes Móveis Sem Fio. Master's thesis, PUC-RJ.
- Otero, D. C. (2004). Alternativas para Diferenciação de Serviços em Redes Locais sem Fio. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/Engenharia de Sistemas e Computação.
- Romdhani, L., Ni, Q., and Turetletti, T. (2002). AEDCF: Enhanced Service Differentiation of IEEE 802.11 Wireless Ad-Hoc Networks. Technical Report 4544, INRIA.
- Rubinstein, M. G. and Rezende, J. F. (2002). Qualidade de serviço em redes 802.11. *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2002)*.
- Silva, W. J. (2003). Plataforma Modular Amigável para Uso em Simulação de Protocolos da Subcamada de Acesso ao Meio em Redes de Computadores. Master's thesis, COPPE/UFRJ.
- Su, W., Lee, S.-J., and Gerla, M. (2001). Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks. *Int. J. Netw. Manag.*, 11(1):3–30.
- Verissimo, F. C. A. (2005). Propostas e Avaliações de Protocolos de Acesso Alternativos ao Padrão IEEE 802.11e. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/Engenharia de Sistemas e Computação.