

# Avaliação de um Algoritmo Adaptativo de Transmissão de Voz em Redes IP com QoS

Karina Karla C. de Oliveira<sup>1</sup>, Djamel Sadok<sup>1</sup>, Judith Kelner<sup>1</sup>, Obionor Nóbrega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
Caixa Postal 7851 – 50.732-970 – Cidade Universitária, Recife – PE – Brazil

<sup>2</sup>Faculdade Integrada do Recife (FIR)  
CEP 50720-635 – Madalena, Recife – PE – Brazil  
{kkco, jamel, jk}@cin.ufpe.br, obionor@fir.br

**Abstract.** *This article evaluates the performance of voice transmission in IP networks with QoS support using the APSM-X (Adaptative Packet Size Module – eXtended). This is an adaptive algorithm that increases the efficiency of the transmitted voice packets in a network that offers voice over IP and QoS support. A simulation model was defined based on the RNP (Rede Nacional de Pesquisa) backbone network and was tested under three different load environments (low, average and high load), using the main VoIP compliant vocoders).*

**Resumo.** *Este artigo tem como objetivo a avaliação de desempenho de transmissão de voz sobre Redes IP com QoS empregando o APSM-X (Adaptative Packet Size Module – eXtended). Este é um algoritmo adaptativo da carga útil dos pacotes de voz em uma rede com QoS. Para a avaliação de desempenho foi definido um modelo de simulação baseado no backbone da RNP (Rede Nacional de Pesquisa) que foi inserido em três ambientes diferentes de carga para o tráfego (baixa, média e alta carga) e foi utilizado em conjunto com os principais codificadores de voz adotados em VoIP.*

## 1. Introdução

Voz sobre IP (VoIP – *Voice over Internet Protocol*) é uma tecnologia multimídia que utiliza o *Internet Protocol* (IP) para transmitir voz em pacotes em uma rede de dados IP, como a Internet. Vários benefícios provêm do uso de VoIP, como a redução de custos devido à convergência do tráfego de dados e voz para uma única rede e o impulso para o uso em larga escala de aplicações multimídia avançadas [Hassan, Nayandoro and Atiquzzaman 2000].

Atualmente, a Internet trabalha com o paradigma do melhor esforço (*best effort*) que não oferece garantia ao usuário final de que o serviço será realizado com sucesso e com um desempenho satisfatório. As aplicações de voz, entretanto, exigem o cumprimento de níveis máximos de atraso para funcionar adequadamente. Portanto, este paradigma não é suficiente para esse tipo de aplicação. Fornecer uma telefonia de alta qualidade sobre redes IP é um dos pontos principais na convergência de voz e dados. Usando novas arquiteturas de Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*) é possível oferecer uma maior garantia e segurança para as aplicações na Internet, uma vez que o tráfego de aplicações sensíveis ao atraso passa a ter uma maior proteção, enquanto as aplicações tradicionais continuam utilizando a técnica do melhor esforço.

Além disso, o efeito da estruturação de uma comunicação VoIP em camadas no processo de comunicação de voz é a inserção de cabeçalhos adicionais, reduzindo, assim, a eficiência dos pacotes de voz em relação à quantidade de dados úteis transportados em comparação ao tamanho total do pacote.

Para solucionar os problemas descritos anteriormente, existem atualmente, algumas propostas na literatura com o objetivo de aumentar a eficiência dos pacotes de voz transmitidos em uma rede IP, além de várias soluções para o provimento de qualidade às aplicações de voz na Internet, que podem ser combinadas em uma solução única de melhoria de qualidade das aplicações VoIP.

Este trabalho se propõe a avaliar o desempenho da transmissão de voz sobre redes IP com QoS empregando o algoritmo APSM-X (*Adaptive Packet Size Module – eXtended*), cujo objetivo é o aumento da eficiência dos pacotes de voz que trafegam em uma rede IP com QoS.

Na sequência do artigo, a Seção 2 resume os principais aspectos de VoIP, incluindo a codificação de sinal necessária para o serviço. O problema do atraso sofrido pela voz em um sistema VoIP é apresentado na seção 3. A seção 4 aborda o tema Qualidade de Serviço na Internet, destacando a Arquitetura de Serviços Diferenciados utilizada neste trabalho. O algoritmo APSM-X é descrito na seção 5. As configurações e os resultados das simulações realizadas neste trabalho estão nas seções 6 e 7. Por fim, as seções 8 e 9 contêm, respectivamente, as conclusões e as referências bibliográficas.

## 2. Voz sobre IP

A grande diferença entre a telefonia pública através da rede PSTN (*Public Switched Telephone Network*) e a telefonia sobre redes IP é que esta oferece o serviço de voz utilizando uma rede de dados já existente. Dessa forma, serviços de voz podem ser combinados com os de dados criando novas aplicações e serviços que não são possíveis utilizando a telefonia convencional [Hassan, Nayandoro and Atiquzzaman 2000].

### 2.1. Codificações do Sinal de Voz

Quando uma conversa se inicia, o sinal analógico produzido a partir da voz humana precisa ser transformado e comprimido em um formato digital adequado para transmissão através de uma rede IP. O codificador de voz (*Vocoder – Voice Coder*) desempenha esse papel. O ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication*) padronizou várias codificações ao longo dos anos e as principais utilizadas em VoIP estão apresentadas na Tabela 1 [Mehta and Udani 2001].

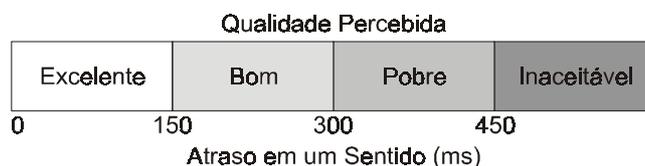
**Tabela 1. Resumo dos principais codificadores aplicáveis a VoIP.**

| Codificador           | Taxa de bits em Kbps | Esquema de compressão                 |
|-----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| G.723.1 [ITU-T 1996b] | 5,3 ou 6,3           | ACELP (5,3 Kbps) ou MP-MLQ (6,3 Kbps) |
| G.728 [ITU-T 1992]    | 16                   | LD-CELP                               |
| G.729.A [ITU-T 1996c] | 8                    | CS-ACELP                              |

## 3. Atraso em VoIP

A tecnologia VoIP possui muitos desafios técnicos que precisam ser superados para garantir a sua total aceitação. O principal desses desafios é o atraso sofrido pela voz desde o momento em que é pronunciada pela origem até a sua reprodução no destino.

A recomendação G.114 do ITU-T [ITU-T 1996a] define valores para o atraso compatíveis com as aplicações em tempo real e a qualidade de percepção da mesma, como mostra a Figura 1 [Goyal et al. 1999]. Neste guia, atrasos abaixo de 150 ms são aceitáveis para a maioria das aplicações. Atrasos entre 150 e 400 ms são ainda aceitáveis se os usuários estiverem conscientes do impacto do atraso na interatividade das aplicações. Acima de 400 ms, são inaceitáveis para a manutenção da interatividade.



**Figura 1. Qualidade de percepção versus atraso.**

Em [Hassan, Nayandoro and Atiquzzaman 2000] demonstra-se os vários tipos de atraso sofridos pela voz desde a origem até o destino através de uma rede IP, dos quais são relevantes para este trabalho, o atraso de codificação e decodificação, o atraso de empacotamento e o atraso em filas.

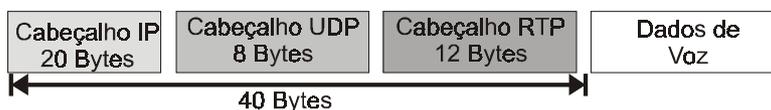
### 3.1. Atraso de Codificação e Decodificação

Dois fatores contribuem para o atraso de codificação total: o atraso de processamento do quadro e o atraso *lookahead*. O primeiro é o tempo necessário para processar a quantidade de voz a ser inserida em um pacote e o segundo é o tempo para processar parte do quadro de voz subsequente ao atual com o intuito de explorar qualquer correlação existente entre eles. O atraso de decodificação no destino é tipicamente metade do atraso de codificação na origem [Kostas 1998].

### 3.2. Atraso de Empacotamento

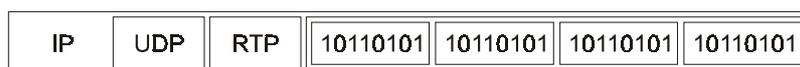
Um pacote de dados VoIP inicia com um cabeçalho IP, UDP (*User Datagram Protocol*) e RTP (*Real-Time Transport Protocol*), dando um total de 40 bytes (ver Figura 2) [Flanagan 1998]. Após o cabeçalho, estão um ou mais quadros de voz codificada.

A decisão de empacotar mais do que um quadro de dados por pacote é de fundamental importância em VoIP. Por exemplo, para o codificador G.723.1 que produz um quadro de 24 bytes a cada 30 milissegundos, cada pacote VoIP do mesmo, tem 40 bytes de cabeçalho e 24 bytes de dados, representando uma eficiência de apenas 37,5%.



**Figura 2. Cabeçalho do pacote VoIP.**

O algoritmo proposto neste artigo atua na fase de empacotamento de um quadro de dados, tomando a decisão de aumentar ou não a quantidade de quadros padrão contida em um pacote de um determinado codificador (ver Figura 3) [Nóbrega et al. 2001]. Esta solução procura melhorar a eficiência dos pacotes de voz em uma rede IP, mas por outro lado, causa o aumento do atraso total de empacotamento para um valor igual ao número de quadros adicionais, vezes o tempo de formação do pacote (codificação/decodificação).



**Figura 3. Pacote de voz composto por mais de um quadro.**

### 3.3. Atraso em Filas

Neste tipo de atraso, os pacotes de voz esperam em filas para serem transmitidos na rede. Na Internet, devido ao tamanho não-determinístico dessas filas, os pacotes de voz podem sofrer um alto atraso [Hassan, Nayandoro and Atiquzzaman 2000].

## 4. Qualidade de Serviço na Internet

Entende-se por Qualidade de Serviço (QoS) como sendo a capacidade da rede para garantir e manter certos níveis de desempenho para as aplicações de acordo com as necessidades específicas de cada usuário [Brito 1999]. O nível de desempenho pode ser expresso pela combinação dos seguintes parâmetros: o atraso, a variação deste atraso (*jitter*), a largura de banda (vazão) e a confiabilidade [Ferguson and Huston 1998]. Dessa forma, um serviço com qualidade é expresso como aquele que provê baixo atraso e *jitter*, uma grande quantidade de banda e muita confiabilidade. Quando se refere a QoS na Internet, no entanto, a questão diz respeito à diferenciação de uma ou mais dessas quatro métricas básicas de qualidade para uma determinada categoria de tráfego.

O IETF ao longo dos últimos anos tem dado uma grande atenção à introdução de QoS na Internet e propôs alguns modelos de serviços para atender essa demanda. Entre eles, com maior destaque, está a Arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ), considerada a solução mais indicada para prover QoS na Internet. Por este motivo, ela é a solução escolhida para realizar os estudos de casos deste trabalho.

### 4.1. Arquitetura de Serviços Diferenciados

A Arquitetura de Serviços Diferenciados (DS – DiffServ) [Black 1998] busca o fornecimento de uma variedade de serviços de forma extensível na Internet. Esta extensibilidade é obtida através da agregação de fluxos distintos em grandes conjuntos, do provisionamento de recursos para essas agregações e da separação das funções realizadas pelos roteadores de borda e de núcleo nas grandes redes de *backbone* [Kurose and Ross 2001]. Estas agregações de fluxos formam classes de serviços de acordo com as necessidades de largura de banda, atraso, variação de atraso e perda de pacotes.

Redes que implementam DiffServ são chamadas de domínios DS e os seus roteadores são chamados de nós DS. Em cada nó DS, as agregações de fluxos são encaminhadas de acordo com um comportamento por nó ou PHB (*Per Hop Behavior*) [Nichols and Carpenter 2001]. O PHB é selecionado através do mapeamento entre um código que identifica uma agregação e o tratamento a ser recebido pelo pacote naquele roteador para o seu encaminhamento na rede. O serviço fim-a-fim é obtido pelo uso combinado dos PHBs em todos os nós do domínio DS. Dois PHBs foram padronizados pelo IETF para prover serviços diferenciados: o PHB de Encaminhamento Expresso (EF – *Expedited Forwarding*) [Jacobson, Nichols and Poduri 1999] e o de Encaminhamento Assegurado (AF – *Assured Forwarding*) [Heinänen et al. 1999]. O PHB EF pode ser usado para o transporte fim-a-fim, através de um domínio DS, com baixa perda, baixo atraso, baixa variação do atraso e largura de banda assegurada, enquanto o PHB AF, ao

invés de fornecer uma garantia estrita, fornece uma expectativa de serviço a ser obtida por um determinado tráfego quando existem momentos de congestionamento.

## **5. Algoritmo APSM-X (*Adaptative Packet Size Module – eXtended*)**

O algoritmo APSM-X constitui uma versão estendida do algoritmo APSM (*Adaptative Packet Size Module*) especificado por Nóbrega [Nóbrega et al. 2001]. A principal justificativa para o APSM é a baixa eficiência dos pacotes de voz em relação à quantidade de dados úteis e a sua principal função é a adaptação da quantidade de carga útil dos pacotes dos codificadores de voz para a telefonia IP, em uma rede sem QoS [Nóbrega et al. 2001].

O APSM-X estende a funcionalidade do APSM permitindo a sua utilização em redes com QoS. Esta extensão se aplica basicamente no ajuste do tamanho do pacote de voz, ou seja, na quantidade de quadros que compõem um pacote de voz, dependendo do estado de carga da rede no momento da utilização do APSM-X. A principal justificativa para o APSM-X é a necessidade de se oferecer Qualidade de Serviço às aplicações sensíveis ao atraso e a perda de pacotes, como é o caso das aplicações VoIP.

Para um melhor entendimento da aplicabilidade do algoritmo APSM-X é tomada como referência uma rede pública de dados, como por exemplo, a Internet. Neste tipo de rede existem horários de muito fluxo de informações, gerando congestionamento, maiores atrasos, assim como, perda de pacotes. Porém, existem também situações opostas, horários onde há uma carga leve de informações, com pequenos atrasos, com ou sem perda de pacotes. O algoritmo APSM-X é proposto para atuar nestes dois casos.

No primeiro caso, é necessário que a rede utilize algum mecanismo para prover qualidade às aplicações sensíveis ao atraso e à perda de pacotes. Ou seja, no momento que o atraso da rede está controlado por técnicas de QoS, o algoritmo APSM-X pode atuar, tentando obter um grande aproveitamento dos recursos da rede enviando uma carga maior de dados úteis, durante um mesmo intervalo de tempo. No segundo caso, o algoritmo procura melhorar a eficiência do tráfego de dados úteis em uma rede de pacotes quando esta já se encontra com uma boa qualidade de tráfego.

Para a proposta do APSM-X, considera-se que os codificadores em uso operam com quadros de dados de tamanho fixo e não com amostragem de dados, como os presentes na RFC 1890 [Schulzrinne 1996].

O algoritmo APSM-X aproveita a idéia básica de funcionamento de um codificador e insere um módulo responsável por receber as informações de *feedback* da qualidade da rede durante uma conversação, através do campo DLSR (*Delay Since Last Sender Report*) do cabeçalho *Receiver Report* RTCP [Nóbrega et al. 2001]. Desta forma, é realizada uma análise do tempo de atraso dos pacotes e se este estiver dentro do intervalo aceitável pelo algoritmo APSM-X, no máximo 300 ms, o módulo APSM-X comunica-se com o módulo de empacotamento do codificador para aumentar a carga útil do pacote de voz. Ou seja, aumenta o número de quadros de voz de um mesmo fluxo (mesma origem e mesmo destino) contido em um pacote.

O APSM-X é adaptativo, ou seja, quando o atraso final de um pacote for superior a 300 ms, o algoritmo atua novamente reduzindo o número de quadros para o valor padrão, valor este que depende do codificador em uso.

O algoritmo APSM é capaz de, no máximo, duplicar a quantidade padrão de quadros de voz contidos em um pacote de um codificador. O algoritmo APSM-X, por sua vez, inclui mais uma iteração no algoritmo APSM. Esta adaptação no algoritmo pôde ser realizada devido ao uso do mesmo em uma rede que emprega soluções de QoS.

Ao aumentar a quantidade de quadros em um pacote de voz, o APSM-X faz com que aumente também o atraso total de um pacote. Por esta razão, é fundamental o uso de uma arquitetura de QoS para minimizar o tempo de permanência dos pacotes de voz nas filas durante a sua transmissão. Essas duas técnicas aliadas permitem o envio de mais dados úteis em um mesmo intervalo de tempo, enquanto são mantidos valores aceitáveis de atraso para se manter uma boa qualidade na conversação.

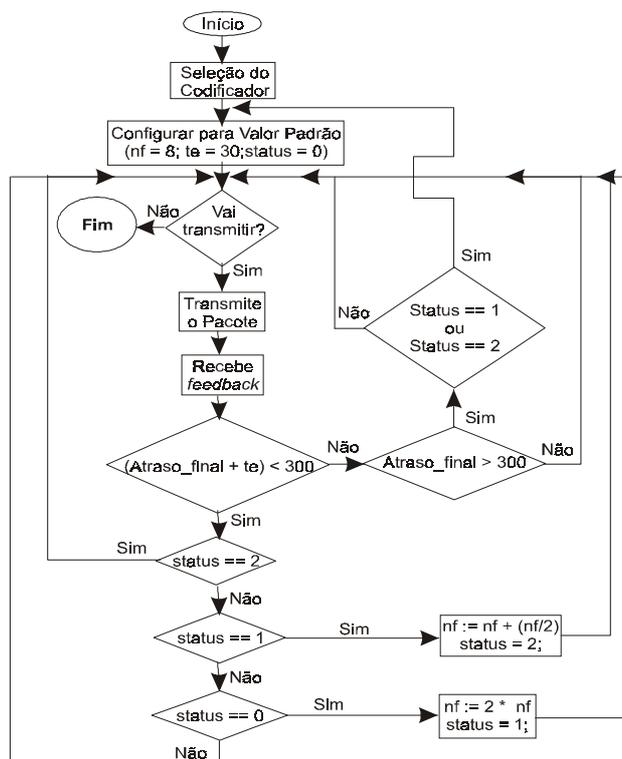


Figura 4. Funcionamento do algoritmo APSM-X para o codificador G.728.

A Figura 4 ilustra o funcionamento do algoritmo APSM-X para o codificador G.728 que utiliza oito quadros de voz por pacote. Através dessa figura, observa-se que com o APSM-X, um pacote do G.728 pode conter até vinte e quatro quadros de voz por pacote, enquanto que com o uso do APSM, a quantidade máxima de quadros atingida por pacote é de dezesseis quadros, sendo este aumento possível apenas em momentos de baixa carga na rede. Portanto, pode-se concluir que o algoritmo APSM-X engloba a funcionalidade do APSM e pode ser utilizado em redes com ou sem QoS.

## 6. Modelo de Simulação

A simulação é uma técnica utilizada com muita frequência pela sua flexibilidade em testar cenários variados, incluindo o comportamento de protocolos e de novas tecnologias e o efeito de diferentes topologias [Kamienski et al. 2002]. Portanto, este trabalho utiliza a simulação como técnica de avaliação de desempenho.

Para a avaliação de desempenho do APSM-X, foi escolhido o NS (*Network Simulator*), um simulador baseado em eventos discretos e orientado a objetos para a simulação de redes TCP/IP, tanto no contexto das redes fixas quanto móveis, com fio e sem fio (redes locais e de satélite). A grande vantagem em se utilizar o NS é que o mesmo é um software gratuito com código-fonte aberto, que permite a modificação ou a personalização do seu núcleo de acordo com as necessidades de cada usuário, possibilitando, assim, que novas funcionalidades sejam adicionadas.

Para simular uma rede IP com Qualidade de Serviço, foi utilizado o módulo DiffServ do NS. Com o uso desta arquitetura, em períodos de congestionamento, pacotes marcados com prioridade mais baixa são descartados com uma maior frequência do que os pacotes marcados com uma prioridade mais alta.

O modelo de simulação adotado neste trabalho utilizou o PHB EF e o PHB BE do DiffServ. Esta escolha deve-se ao fato de ser o PHB EF ideal para aplicações com restrições de tempo, como é a aplicação de VoIP, pois oferece o menor atraso em cada nó. O PHB BE representa uma rede IP de dados, neste caso, a Internet, sem garantias de atraso, utilizada para concorrer com o tráfego do PHB EF. A implementação destes PHBs foi realizada através da combinação de uma diversidade de mecanismos de classificação, marcação e escalonamento de pacotes, e condicionamento de tráfego disponíveis no NS.

A topologia utilizada nas simulações é apresentada na Figura 5. Ela representa uma simplificação da espinha dorsal da RNP (Rede Nacional de Pesquisa) de 1999 e o conjunto representa um domínio DS. Os roteadores de ingresso e egresso do domínio DS são representados, respectivamente, pelos PoPs (Pontos de Presença) Recife e Rio de Janeiro. O interior do domínio DS é formado pela interligação (enlaces) entre os roteadores Recife e Brasília, Brasília e São Paulo, São Paulo e Rio de Janeiro.

A capacidade de cada enlace no domínio DS representa a situação real da RNP em 1999, com exceção do enlace de “gargalo” (1 Mbps) entre Brasília e São Paulo, cuja função é a criação do efeito de agregação, ou seja, os enlaces de acesso têm uma capacidade maior do que a do enlace de gargalo, possibilitando a formação de rajadas neste último enlace. Os atrasos dos enlaces foram configurados considerando-se basicamente a distância física.

Os tráfegos entre Aracaju e Belo Horizonte e entre Tefé e Salvador compõem o PHB EF devendo ser tratados diferentemente no interior do domínio DS. Os demais tráfegos, oriundos dos nós Campina Grande, Maceió e Natal, compõem a agregação BE.

As fontes de tráfego EF geram tráfego de voz seguindo o modelo *On-Off*. Este é um modelo mais elaborado para a representação de uma conversação, capturando o tempo em que os interlocutores falam (*On*) e o tempo em que ouvem (*Off*). Quando estas fontes estão no estado de atividade (*On*), é gerado um tráfego de voz a uma taxa de pico que depende do codificador em uso no cenário de simulação. O tamanho dos pacotes gerados pelas fontes *On-Off* também variam de acordo com o codificador utilizado e com a atuação do algoritmo APSM-X. Os períodos *On-Off* são determinados por variáveis aleatórias com distribuição exponencial de valores 1,004 e 1,587 segundos [Kamienski et al. 2002], respectivamente. As quantidades de fontes *On-Off* nos nós Aracaju e Tefé foram variadas para que ocupassem todo o enlace de saída, 256 Kbps e 64 Kbps, respectivamente, para cada codificador simulado.

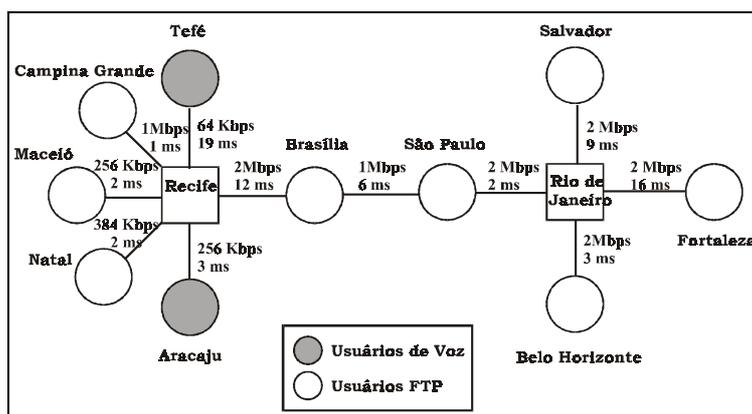


Figura 5. Topologia de simulação.

Para representar o tráfego de dados (tráfego de retaguarda) foram utilizadas fontes FTP, simulando transferências de arquivos. Cada fonte FTP transmitiu pacotes de 1500 bytes. Não se configura taxa de transmissão para fontes FTP porque elas usam o protocolo TCP, que adapta as taxas de transmissão das fontes FTP às condições da rede. A quantidade de fontes FTP foi variada na simulação para representar os ambientes de baixa, de média e de alta carga para cada codificador simulado. Para os ambientes de média carga foram utilizadas uma fonte FTP em Maceió (enlace de 256 Kbps entre Maceió/Recife) e uma fonte FTP em Natal (enlace de 384 Kbps entre Natal/Recife), e para os ambientes de alta carga foi utilizada uma fonte FTP em Campina Grande (enlace de 1 Mbps entre Campina Grande/Recife).

Cada nó do domínio DS simulado contém duas filas representando os PHBs EF e BE, atendidas por um escalonador de pacotes WRR (*Weighted Round Robin*). A primeira fila é uma fila FIFO que recebe tráfego EF e a segunda é uma fila que recebe o tráfego BE (melhor esforço). O escalonador WRR aloca uma fatia da banda passante de saída para cada uma dessas filas. A fatia alocada para a agregação EF deve ser suficiente para sustentar a definição do PHB EF a qualquer momento. Para a utilização da política de escalonamento WRR, foi visto em [Jacobson, Nichols and Poduri 1999], que se houver um equilíbrio exato entre a fatia de serviço WRR e o necessário à agregação EF no domínio DS, os resultados tornam-se instáveis e, portanto é sugerida a adoção de um fator de 1,06 entre a quantidade de banda passante solicitada pela agregação EF e a efetivamente reservada. Este fator foi utilizado em todas as simulações deste trabalho.

Quando se utiliza o escalonamento WRR para servir às filas, torna-se necessário o condicionamento do tráfego aplicado à agregação EF no domínio DS de acordo com a fatia de serviço alocada a esta agregação [Ziviani, Rezende e Duarte 2000]. Para permitir que a fatia reservada seja inferior à taxa de pico da agregação EF, tal agregação precisa ser suavizada. A suavização do tráfego EF permite controlar, ou até mesmo suprimir, rajadas do tráfego agregado. Quando um mecanismo de balde de créditos (*token-bucket*) é utilizado, a profundidade do balde limita o tamanho permitido da rajada. Se a profundidade do balde for equivalente a um pacote, as rajadas são completamente suprimidas. Neste caso, a fatia de serviço do escalonador WRR alocada à agregação EF pode permanecer igual à taxa de reposição de créditos no suavizador, isto é, inferior à taxa de pico da agregação. Quando um grande número de fluxos de voz

compartilha os recursos, há a possibilidade de uma rajada acumulada sobrecarregar o enlace de gargalo, penalizando os demais tráfegos agregados.

Entretanto, a suavização implica em um atraso adicional aos pacotes retidos no *buffer* de suavização. Se a profundidade do balde no suavizador é maior do que o equivalente a um pacote, a fatia de serviço reservada pelo WRR para o tráfego EF deve ser igual à soma das taxas de pico individuais. Além disto, sendo o escalonamento WRR do tipo conservativo, quando o tráfego EF está ocioso as demais agregações utilizam a banda passante alocada para o tráfego EF [Ziviani, Rezende e Duarte 2000].

A suavização do tráfego EF nas simulações é implementada por um mecanismo de balde de créditos associado a um *buffer* na entrada do domínio DS e nos nós DS no interior do domínio. Nas simulações realizadas neste trabalho, as rajadas de tráfego de voz são completamente suprimidas pela configuração da profundidade do balde para o equivalente a um pacote. A taxa de suavização individual por fluxo é definida como a taxa resultante que seria obtida por cada componente da agregação, se estes fossem igualmente afetados pela suavização da agregação. Portanto, a taxa de reposição de créditos adotada no suavizador da agregação de tráfego EF, é o produto da taxa de suavização individual por fluxo e o número de fluxos EF ativos. Estes variam com a quantidade de fontes *On-Off* localizadas em Aracaju e Tefé, que por sua vez varia de acordo com o codificador utilizado.

Cada simulação teve a duração de cem segundos (100 s). Tempo suficiente para alcançar uma simulação estável e obter resultados expressivos. As fontes *On-Off* e FTP iniciam a transmissão em algum momento entre os tempos zero e um segundo (entre 0 e 1 s), escolhido aleatoriamente de acordo com uma distribuição uniforme.

Nas simulações realizadas foram usados os codificadores de voz mais comuns nas aplicações VoIP que geram quadros de tamanho fixo em uma unidade de tempo também fixa, apresentados na Tabela 1.

### 6.1. Métricas Utilizadas

Os parâmetros de QoS relevantes para o tráfego de voz são: o atraso, o *jitter*, a vazão e a taxa de perda de pacotes. Esses parâmetros refletem a continuidade de um fluxo de voz.

Para a manutenção de uma boa qualidade em uma conversação normal, o atraso fim-a-fim deve estar abaixo dos 300 ms [Goyal et al. 1999]. Um baixo *jitter* também é bastante desejável, pois reduz a necessidade da capacidade de armazenamento nos receptores de forma a compensar estas variações no atraso [Ziviani, Rezende e Duarte 2000]. De acordo com [MCK Communications, Inc. 2001], valores aceitáveis para o *jitter* devem estar entre 0 e 75 ms, acima do qual é considerado de qualidade inaceitável. Uma baixa taxa para a perda de pacotes também é altamente desejável, devendo a mesma atingir no máximo 10% ou estar entre 3% e 5%, para neste caso, ser compensada por esquemas de recuperação de dados existentes nos codificadores [Brito 1999]. Além disso, deve ser mantida uma boa taxa para a vazão das fontes de voz.

Para este trabalho é utilizada, também, como métrica de qualidade a quantidade de carga útil recebida no destino, sendo considerado como carga útil, os quadros de dados de voz contidos em um pacote, excluindo-se o cabeçalho IP/UDP/RTP.

## 6.2. Análise de Desempenho

Esta seção avalia o desempenho do algoritmo APSM-X em uma rede pública de dados com QoS. O objetivo da avaliação é comprovar a eficiência do algoritmo nas mais variadas situações de carga em uma rede com QoS, através da análise das métricas de qualidade apresentadas anteriormente. Uma comparação entre o APSM-X e o APSM também é realizada.

Para este artigo são apresentados apenas os resultados da avaliação realizada com o codificador G.728. É importante destacar que as mesmas avaliações foram feitas também para os codificadores G.723.1 e G.729.A que obtiveram comportamento semelhante ao G.728 em todas as métricas avaliadas.

Para o G.728 são avaliados três cenários e para cada um deles são geradas situações de baixa, de média e de alta carga. Os três cenários simulados e suas respectivas representações (usadas nas legendas dos gráficos) são:

- Rede apenas com DiffServ (DS);
- Rede com DiffServ e com o original APSM (DS\_APSM);
- Rede com DiffServ e APSM-X (DS\_APSM-X);

Para obter informações para o atraso e o *jitter* foram realizadas coletas de amostras destes valores a cada período de 0,5 s. Para a carga útil foi contabilizada a quantidade de dados de voz recebida durante todo o tempo da simulação, enquanto que para a vazão foi contabilizada a quantidade de pacotes recebidos no destino durante o tempo total de simulação.

O codificador G.728 envia dados a uma taxa de 16 Kbps e utiliza 8 quadros de 5 bytes de voz por pacote. Todas as informações necessárias para a avaliação do G.728 com ou sem o uso do APSM-X estão resumidas na Tabela 2.

Para as simulações com o G.728 foram utilizadas 16 fontes *On-Off* para o tráfego de voz entre Aracaju/Belo Horizonte e 4 fontes *On-Off* para o tráfego de voz entre Tefé/Salvador. Com esses valores é garantida para este codificador a total utilização do enlace de saída das fontes, que são de 256 Kbps e 64 Kbps para Aracaju e Tefé, respectivamente.

**Tabela 2. Resumo dos dados para o G.728 com e sem o uso do APSM-X.**

| Codificador G.728                  | Sem APSM-X | Com APSM | Com APSM-X |
|------------------------------------|------------|----------|------------|
| Total de Quadros no Pacote         | 8          | 16       | 24         |
| Tamanho Total dos Quadros em bytes | 40         | 80       | 120        |
| Tamanho Total do Pacote em bytes   | 80         | 120      | 160        |
| Atraso Total de Codificação em ms  | 20         | 40       | 60         |
| Atraso de Decodificação em ms      | 10         | 20       | 30         |
| Atraso de Empacotamento em ms      | 30         | 60       | 90         |

## 6.3. Carga Útil

O aumento da carga útil transmitida em um mesmo intervalo de tempo é o principal objetivo do algoritmo APSM-X. A quantidade de carga útil é expressa em bytes de dados recebidos pelo destino. Os resultados obtidos na avaliação podem ser visualizados do Gráfico 1 ao Gráfico 6 e estão explicados nas tabelas a seguir.

A Tabela 3 apresenta o aumento de carga útil para as fontes de voz analisadas em Aracaju e Tefé nos três ambientes de carga analisados (baixa carga, média carga e alta carga) quando foi utilizado o APSM-X, comparando-se aos valores obtidos nos mesmos cenários sem a utilização de nenhum algoritmo de adaptação de carga útil. A Tabela 4 apresenta o aumento de carga útil resultante da comparação entre os cenários que utilizaram o algoritmo proposto APSM-X e o algoritmo original APSM.

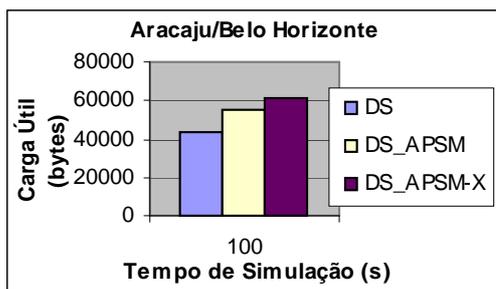
**Tabela 3. Avaliação da carga útil para os cenários com APSM-X.**

| Carga Útil | Baixa Carga | Média Carga | Alta Carga |
|------------|-------------|-------------|------------|
| Aracaju    | 40,49%      | 32,94%      | 18,14%     |
| Tefé       | 33,91%      | 48,03%      | 27,91%     |

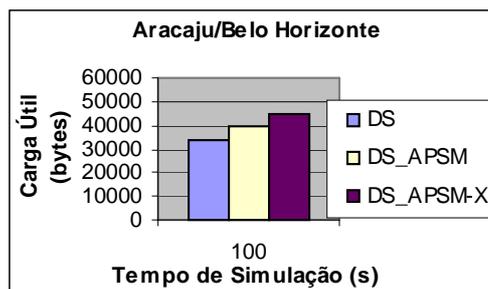
**Tabela 4. Avaliação da carga útil entre os cenários com APSM e APSM-X.**

| Carga Útil | Baixa Carga | Média Carga | Alta Carga |
|------------|-------------|-------------|------------|
| Aracaju    | 10,87%      | 11,98%      | 2,86%      |
| Tefé       | 9,45%       | 21,24%      | 3,61%      |

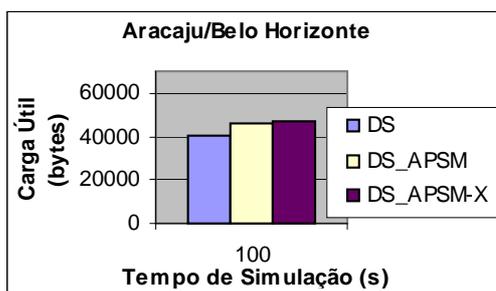
Através dos resultados apresentados, conclui-se que o APSM-X se apresenta bastante viável para o codificador G.728, pois é capaz de aumentar a carga útil transportada pelas fontes de voz analisadas em cenários com diferentes níveis de carga.



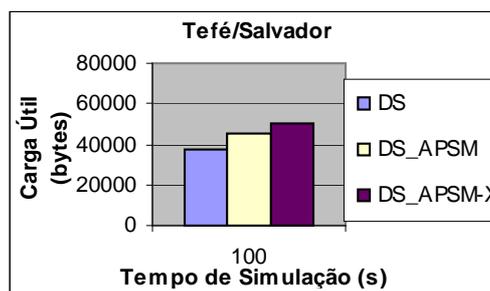
**Gráfico 1. Carga Útil para a Fonte em Aracaju (Baixa Carga).**



**Gráfico 2. Carga Útil para a Fonte em Aracaju (Média Carga).**



**Gráfico 3. Carga Útil para a Fonte em Aracaju (Alta Carga).**



**Gráfico 4. Carga Útil para a Fonte em Tefé (Baixa Carga).**

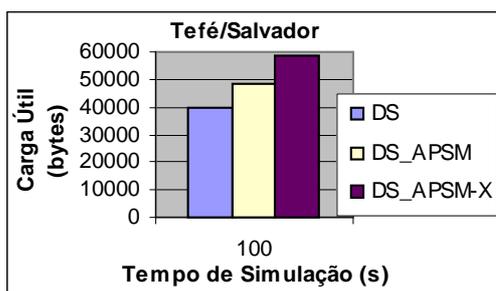


Gráfico 5. Carga Útil para a Fonte em Tefé (Média Carga).

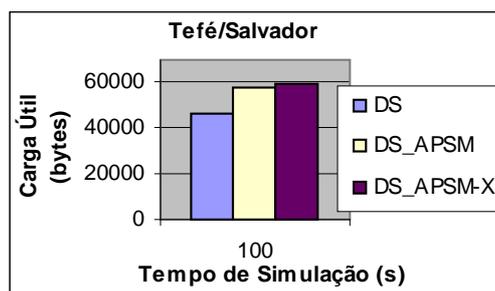


Gráfico 6. Carga Útil para a Fonte em Tefé (Alta Carga).

#### 6.4. Vazão

A vazão das fontes de voz localizadas em Aracaju e Tefé enviando para Belo Horizonte e Salvador, respectivamente foi também analisada. A vazão é descrita na forma de pacotes recebidos no destino, durante o tempo de simulação. O Gráfico 7, Gráfico 8 e Gráfico 9 se referem a vazão da fonte em Aracaju, enquanto o Gráfico 10, Gráfico 11 e Gráfico 12 se referem a vazão da fonte em Tefé para os cenários avaliados.

Através da análise dos gráficos é possível notar uma diminuição da quantidade de pacotes recebidos no destino para ambas as fontes à medida que o APSM-X atua para os três ambientes de carga analisados. Esta diminuição é devida ao aumento do tamanho do pacote de voz com o uso do algoritmo, o qual conduz a um incremento do tempo gasto no empacotamento e na transmissão dos pacotes, causando, assim, uma diminuição na quantidade de pacotes enviados pelas fontes e, conseqüentemente, na quantidade total de pacotes recebidos no destino dos tráfegos de voz. Apesar desta diminuição, foi visto que a quantidade de carga útil total enviada aumenta durante o período de simulação com o uso do APSM-X.

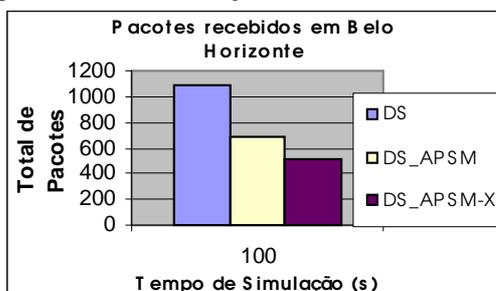


Gráfico 7. Pacotes recebidos em Belo Horizonte (Baixa Carga).

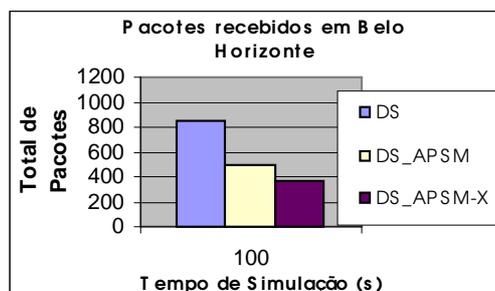


Gráfico 8. Pacotes recebidos em Belo Horizonte (Média Carga).

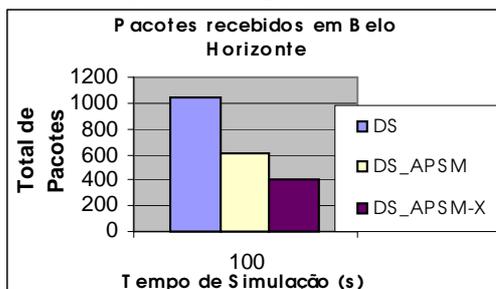


Gráfico 9. Pacotes recebidos em Belo Horizonte (Alta Carga).

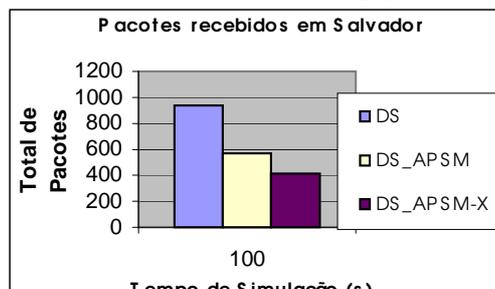


Gráfico 10. Pacotes recebidos em Salvador (Baixa Carga).

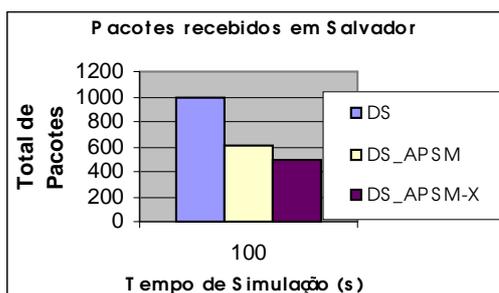


Gráfico 11. Pacotes recebidos em Salvador (Média Carga).

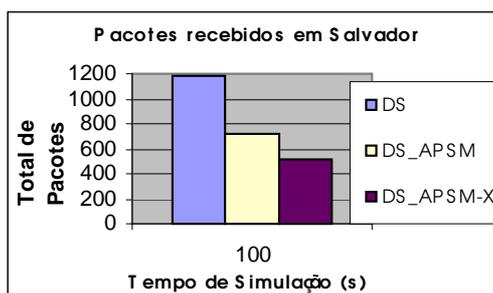


Gráfico 12. Pacotes recebidos em Salvador (Alta Carga).

### 6.5. Variação do Atraso (*Jitter*).

Em todos os cenários dos ambientes de média e de alta carga (Gráfico 13 ao Gráfico 18) o valor para o *jitter* sofre um aumento quando utiliza-se o APSM-X, mas mesmo assim, o valor final não ultrapassa o limite máximo tolerado, de 75 ms.

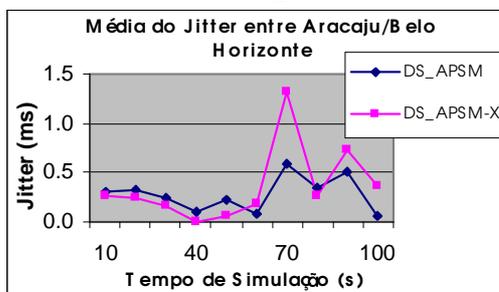


Gráfico 13. Média do *Jitter* entre Aracaju e Belo Horizonte (Baixa Carga).

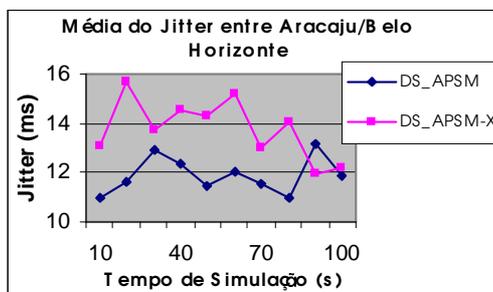


Gráfico 14. Média do *Jitter* entre Aracaju e Belo Horizonte (Média Carga).

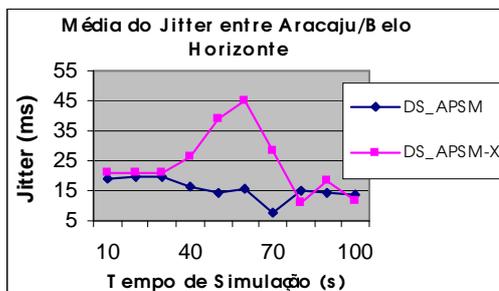


Gráfico 15. Média do *Jitter* entre Aracaju e Belo Horizonte (Alta Carga).

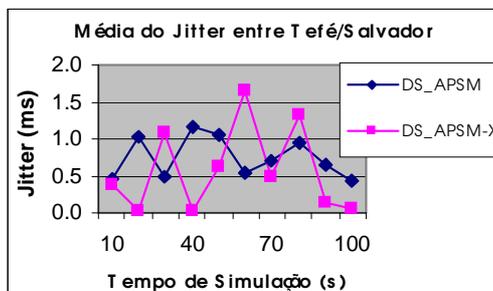


Gráfico 16. Média do *Jitter* entre Tefé e Salvador (Baixa Carga).

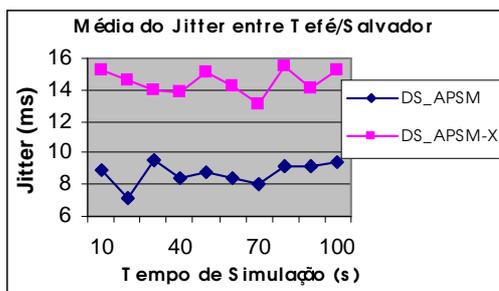


Gráfico 17. Média do *Jitter* entre Tefé e Salvador (Média Carga).

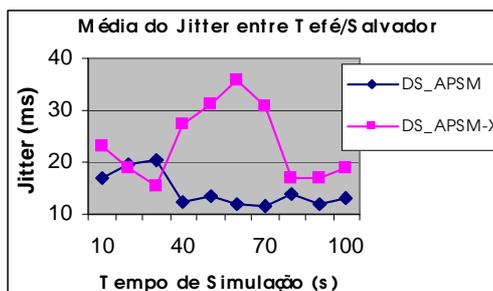


Gráfico 18. Média do *Jitter* entre Tefé e Salvador (Alta Carga).

## 6.6. Atraso

O atraso médio dos pacotes de voz do G.728 aumenta para ambas as fontes em Aracaju e Tefé, em todos os cenários que usam o APSM-X. Este aumento é devido ao aumento do número de quadros contido nos pacotes, fazendo com que mais tempo seja gasto no seu processo de empacotamento e de transmissão na rede. Através dos gráficos (Gráfico 19 ao Gráfico 24) é possível observar que mesmo com este incremento, o atraso médio dos pacotes em todos os casos permanece dentro do intervalo aceitável para uma boa qualidade de uma conversação, entre 0 e 300 ms.

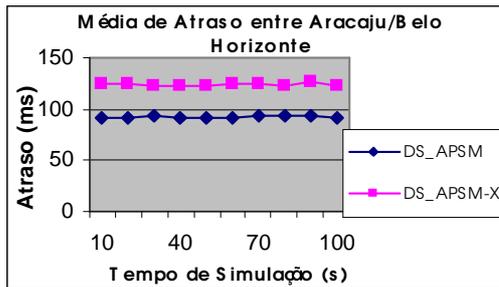


Gráfico 19. Média de Atraso entre Aracaju e Belo Horizonte (Baixa Carga).

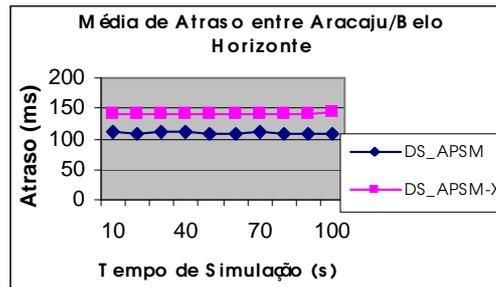


Gráfico 20. Média de Atraso entre Aracaju e Belo Horizonte (Média Carga).

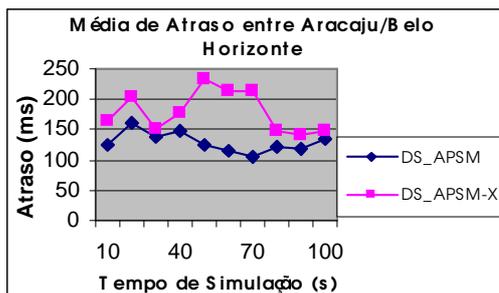


Gráfico 21. Média de Atraso entre Aracaju e Belo Horizonte (Alta Carga).

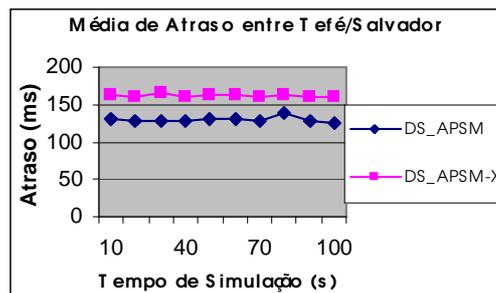


Gráfico 22. Média de Atraso entre Tefé e Salvador (Baixa Carga).

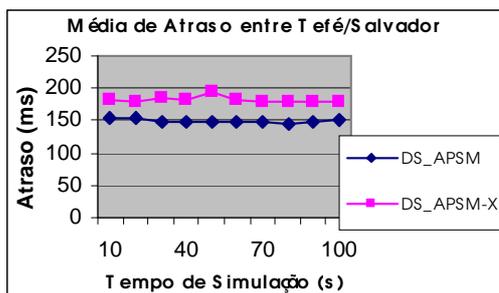


Gráfico 23. Média de Atraso entre Tefé e Salvador (Média Carga).

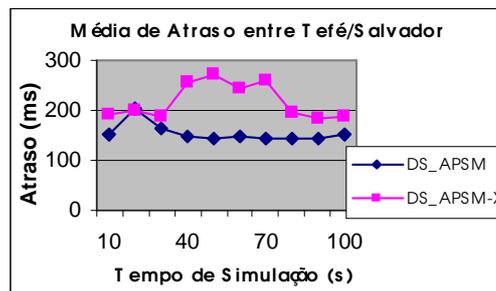


Gráfico 24. Média de Atraso entre Tefé e Salvador (Alta Carga).

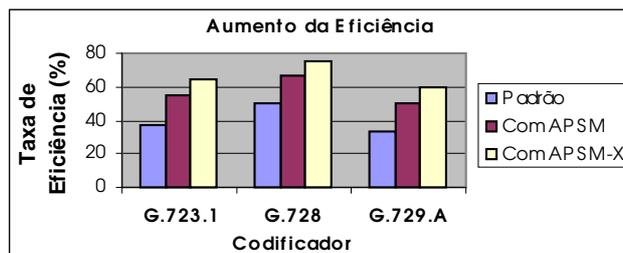
## 6.7. Perda de Pacotes

Para o codificador G.728 apenas ocorreu perda de pacotes nos cenários simulados em ambientes de alta carga. A maior porcentagem de perda foi de aproximadamente 4,63%, para o tráfego de voz entre Aracaju e Belo Horizonte, no cenário com o APSM (com

uma iteração) em um ambiente de alta carga. Dessa forma, a porcentagem de perda permanece inferior ao limite máximo suportado para uma aplicação de voz, que é 10%, além de estar dentro do intervalo no qual os próprios codificadores podem usar seus mecanismos de recuperação de perda, entre 3% e 5%.

## 7. Comparativo entre os Codificadores Utilizados

Para finalizar a avaliação do APSM-X, nesta seção é verificada a eficiência dos pacotes de voz dos codificadores utilizados nas simulações com e sem o uso do APSM-X.



**Gráfico 25. Comparativo da Taxa de Eficiência dos Codificadores utilizados nas Simulações do APSM-X.**

Através da análise do Gráfico 25, é possível perceber o aumento de eficiência dos pacotes de voz para os codificadores quando usaram o APSM-X e que este aumento é ainda maior do que quando utilizando o APSM original. Para o G.723.1, o aumento da taxa de eficiência é de 17% com APSM e de 26,8% com APSM-X. O G.728 consegue um aumento de 16,7% com APSM e 25% com APSM-X, enquanto o G.729.A obtém um aumento de 16,7% com APSM e 26,7% com APSM-X.

## 8. Conclusão

Este trabalho mostrou que é possível obter aumentos expressivos de eficiência ao se utilizar codificadores de voz adaptáveis. Este aumento de eficiência foi percebido através de aumentos expressivos de carga útil em todos os cenários simulados, de baixa carga a alta carga, além de serem mantidos níveis aceitáveis para as demais métricas de avaliação. Portanto, a solução proposta para melhorar a eficiência dos pacotes de voz em uma rede com QoS foi validada para os principais codificadores de voz utilizados para aplicações de VoIP.

## 9. Referências

- Black, D. (1998) "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC 2475, December.
- Brito, J. M. C. (1999) "Voz sobre IP, Tecnologias e Aplicações", Apostila de Curso da Inatel, [http://www.inatel.br/docentes/brito/Voz\\_sobre\\_IP.pdf](http://www.inatel.br/docentes/brito/Voz_sobre_IP.pdf).
- Ferguson, P., and Huston, G. (1998) "Quality of Service in the Internet: Fact, Fiction, or Compromise?", INET'98, Geneva, Switzerland, [http://www.employees.org/~ferguson/inet\\_qos.htm](http://www.employees.org/~ferguson/inet_qos.htm), July.
- Flanagan, T. (1998) "Understanding VoIP Packetization & Transmission", Telogy Networks Inc., <http://vc.cs.nthu.edu.tw/~sllee/InternetPhone/docs/understanding.ppt>, September.

- Goyal, P. et al. (1999) "Integration of Call Signaling and Resource Management for IP Telephony", IEEE Network Magazine, Vol. 13, N. 3, p. 24-32, May/June.
- Hassan, M., Nayandoro, A., and Atiquzzaman, M. (2000) "Internet Telephony: Services, Technical Challenges, and Products", IEEE Communications Magazine, Vol. 38, N. 4, p. 96-103, April.
- Heinanen, J. et al. (1999) "Assured Forwarding PHB Group", IETF RFC 2597, June.
- ITU-T (1992) "ITU-T Recommendation G.728 – Coding of Speech at 16 kbit/s Using Low-Delay Code Excited Linear Prediction", September.
- ITU-T (1996a) "ITU-T Recommendation G.114 – General Characteristics of International Telephone Connections and International Telephone Circuits: One-Way Transmission Time, February.
- ITU-T (1996b) "ITU-T Recommendation G.723.1 – Speech Coders: Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s", March.
- ITU-T (1996c) "ITU-T Recommendation G.729.A – Reduced Complexity 8 kbit/s CS-ACELP Speech Codec", November.
- Jacobson, V., Nichols, K., and Poduri, K. (1999) "An Expedited Forwarding PHB", IETF RFC 2598, June.
- Kamienski, C. A. et al. (2002) "Simulando a Internet: Aplicações na Pesquisa e no Ensino", 21ª JAI (Jornada de Atualização em Informática), Congresso da SBC, Florianópolis, Santa Catarina, Julho.
- Kostas, T. J. et al. (1998) "Real-Time Voice Over Packet-Switched Networks", IEEE Network, Vol.12, N. 1, p. 18-27, January/February.
- Kurose, J. F., and Ross, K. W. (2001) "Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet", Addison Wesley.
- MCK Communications, Inc. (2001) "MCK & Voice Testing Quality (VQT)", <http://www.mck.com/html/support/MCK%20Voice%20Quality%20Paper.pdf>.
- Mehta, C. P., and Udani, S. (2001) "Overview of Voice over IP", Technical Report MS-CIS-01-31, University of Pennsylvania, <http://www.cis.upenn.edu/~udani/papers/OverviewVoIP.pdf>, February.
- Nichols, K., and Carpenter, B. (2001) "Definition of the Differentiated Services Per Domain Behaviors and Rules for their Specification", IETF RFC 3086, April.
- Nóbrega, O. et al. (2001) "Um Algoritmo Adaptativo de Transmissão para Serviços de Voz sobre Redes IP", 19ª SBRC, p. 559-573, Florianópolis, Santa Catarina, Maio.
- Schulzrinne, H. (1996) "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", IETF RFC 1890, January.
- Ziviani, A., Rezende, J. F., e Duarte, O. C. M. B. (2000) "Avaliando o Suporte ao Tráfego de Voz em um Ambiente de Diferenciação de Serviços", VI SBMIDIA, p. 341-356, Natal, Rio Grande do Norte, Junho.