

Gerenciamento de Qualidade de Serviço em Sistemas WCDMA Utilizando Controle de Admissão de Chamadas e Adaptação de Taxa

Emanuel B. Rodrigues, Vicente A. de Sousa Jr., Carlos H. M. de Lima e Francisco R. P. Cavalcanti

Resumo— Este artigo apresenta uma solução de gerenciamento de Qualidade de Serviço (QoS) para o enlace direto do sistema WCDMA baseada nas funcionalidades dos algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) e Adaptação de Taxa (AT) da classe de serviço de voz. Fazendo uso de diferentes modos do codificador de voz AMR (Adaptive Multi-Rate), o algoritmo de AT foi utilizado em conjunto com o algoritmo de CAC para flexibilizar a (re)admissão de chamadas novas, de *handover* e conexões retornando de períodos de inatividade de tráfego. Os resultados de desempenho foram coletados utilizando um simulador dinâmico de nível sistêmico, e mostraram que a interação entre os algoritmos de CAC e AT apresentaram ganho de eficiência espectral.

Palavras-Chave— Gerenciamento de QoS, WCDMA, Controle de Admissão de Chamadas, Adaptação de Taxa.

Abstract— This paper presents a Quality of Service (QoS) management solution for the forward link of the WCDMA system based on the functionalities of the Call Admission Control (CAC) and Rate Adaptation (RA) algorithms considering the voice service class. Using different modes of the Adaptive Multi-Rate (AMR) voice codec, the RA algorithm was used in conjunction with the CAC in order to facilitate the (re)admission of new calls, handover connections and calls coming back from voice traffic inactive periods. The performance results were collected using a dynamic system level simulator and they show that the interaction between the CAC and RA techniques presented spectral efficiency gains.

Keywords— QoS Management, WCDMA, Call Admission Control, Rate Adaptation.

I. INTRODUÇÃO

Qualidade de Serviço (QoS) é um termo ambíguo com interpretações múltiplas, muitas das quais dependentes das particularidades dos problemas enfrentados pela rede. Em geral, QoS refere-se à habilidade de garantir à uma aplicação os recursos requeridos para atender aos atributos de desempenho de rede necessários para servir efetivamente os usuários finais. São os usuários finais quem pagam pelo serviço e cujas perspectivas importam. Da perspectiva do usuário final, QoS é determinado pelas características da distribuição do serviço que impactam mais criticamente a sua percepção. As três principais características referentes à distribuição de QoS da rede para os assinantes são [1]:

- 1) **Disponibilidade de Serviço** - O serviço é disponibilizado imediatamente ou razoavelmente

atrasado dependendo do nível de prioridade da classe de serviço do usuário. A disponibilidade de serviço pode ser sub-dividida em percentagens de bloqueio e interrupção de chamadas;

- 2) **Qualidade da Informação** - A informação não é corrompida e é recebida sem erros, como requerido pelo tipo de serviço. A Probabilidade de Apagamento de Quadro (FEP) enquadra-se nessa categoria;
- 3) **Recepção Consistente** - A informação é recebida ao longo da conexão a uma velocidade e qualidade consistente, garantindo que a percepção do usuário, por exemplo inteligibilidade da voz, seja considerada satisfatória.

Em sistemas WCDMA, algoritmos de Gerenciamento de Recursos de Rádio (RRM) desempenham um papel importante na provisão da garantia de Qualidade de Serviço (QoS), maximização da capacidade do sistema e manutenção da cobertura planejada. Essa tarefa pode ser realizada eficientemente por uma técnica de Gerenciamento de QoS. Este artigo propõe uma estrutura de gerenciamento de qualidade de serviço baseada em prioridades utilizando os algoritmos de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) e Adaptação de Taxa (AT). Os focos de estudo são o enlace direto do sistema WCDMA e a classe de serviço de voz.

O objetivo de esquemas de CAC é regular a operação da rede de tal forma a assegurar a provisão de serviço ininterrupta para as conexões existentes e ao mesmo tempo acomodar de uma maneira eficiente as requisições de novas chamadas, maximizando a capacidade. Isso é feito por meio da gerência dos recursos de rede disponíveis e sua alocação de maneira ótima entre os usuários do sistema [2], [3].

Em [4] foi proposta uma estrutura do algoritmo de Controle de Admissão de Chamadas (CAC) baseada em prioridade e parâmetros que controlam limiares de potência para admissão de usuários novos, alocação de potência de transmissão inicial e reservas de recursos para conexões de *handover* e chamadas que haviam liberado seus recursos de potência no momento em que iniciaram períodos de inatividade de tráfego de voz.

Por sua vez, a flexibilidade da taxa de transmissão de bit para o serviço de voz é altamente desejável, possibilitando dessa forma, encontrar o ponto de equilíbrio do compromisso entre qualidade, capacidade e cobertura e facilitar o gerenciamento eficiente de múltiplos serviços (voz e dados). Tendo isso em vista, o sistema UMTS padronizou o uso do codificador de voz adaptativo de múltiplas taxas (AMR, *Adaptive Multi-Rate*). Alocando-se dinamicamente os

diferentes modos do codificador AMR, um alto desempenho do sistema pode ser atingido para uma larga faixa de carga oferecida. A taxa de transmissão de bit da conexão de voz AMR pode ser controlada pela rede de acesso de rádio dependendo da carga da interface aérea (potência de transmissão total da célula), da qualidade e da potência requerida pelas chamadas [5]–[8].

A investigação presente neste artigo é inovadora, uma vez que analisa o impacto da adaptação da taxa AMR na alocação de potência de transmissão inicial do usuário, flexibilizando a atuação do algoritmo de CAC.

Este artigo é organizado da forma a seguir. A seção II aborda os modelos de simulação que foram utilizados para emular as características mais relevantes do sistema WCDMA. A seção III, por sua vez, versa sobre os algoritmos de Gerenciamento de Qualidade de Serviço (GQoS) que foram considerados neste trabalho. Em seguida, na seção IV, a avaliação e a comprovação dos benefícios das soluções propostas são apresentadas por meio de resultados de simulação. Finalmente, um sumário de conclusões pertinentes é mostrado na seção V.

II. MODELAGEM DO SISTEMA

O desenvolvimento deste trabalho demandou a construção de um simulador dinâmico em tempo discreto que modela o enlace direto do sistema WCDMA. Esse simulador foi denominado *WIDE_{SIM}* (*WCDMA Downlink Dynamic System Level Simulator*) e foi desenvolvido na linguagem de programação orientada a objetos C++.

O ambiente de simulação é composto de múltiplas células de formato hexagonal, sobre as quais os terminais móveis foram uniformemente distribuídos. A área de cobertura é formada por 16 sítios macrocelulares (48 setores), onde todas as células contribuem para a coleta de estatísticas, mas apenas um anel de 21 setores vizinhos são considerados para cálculo de interferência de um usuário em estudo. Dessa forma, assume-se que os resultados obtidos na simulação são estatisticamente confiáveis e podem ser representativos de sistemas celulares práticos.

De forma a assegurar que nas simulações todas as células são analisadas quando posicionadas no centro do sistema celular, e portanto evitar efeitos de borda no cálculo da interferência, uma técnica baseada no universo toroidal de células foi utilizada [9]–[11].

O modelo de tráfego é modelado por uma fonte de voz caracterizada por um padrão de períodos de fala e silêncio. Esse modelo é comumente referenciado como modelo ON-OFF, e é caracterizado pelo fato de que os períodos de atividade (fala) e silêncio são variáveis aleatórias de distribuição exponencial [12]. A taxa de codificação padrão é de 12.2 kbps, porém o codificador de voz AMR possui 8 modos (taxas de fonte) de operação. A pesquisa descrita neste artigo utilizou apenas três deles: AMR-12.2 (12,2 kbps), AMR-7.95 (7,95 kbps) e AMR-4.75 (4,75 kbps).

Utilizou-se um modelo de propagação de canal clássico composto de três manifestações: perda de percurso (modelo de Okumura-Hata [13], [14]), sombreamento (modelo Gaussiano correlacionado [9], [10]) e desvanecimento rápido por

múltiplos percursos (modelo de uma linha de atrasos de *taps* representativo de um Ambiente de Teste Veicular com receptor RAKE [15]).

O controle de potência de laço interno e o controle de *handover* utilizado nas simulações seguem as normas do 3GPP [6], [16]. Contudo, considera-se que o *active set* do *soft handover* é igual a um, focalizando a análise de desempenho nos algoritmos de GQoS propostos.

III. ALGORITMOS DE GERENCIAMENTO DE QUALIDADE DE SERVIÇO

As seções III-A e III-B apresentam as concepções das soluções propostas (Controle de Admissão de Chamadas - CAC e Adaptação de Taxa - AT) e a razão pela qual suas otimizações serem imprescindíveis para que o sistema WCDMA funcione de forma eficiente e estável.

A. Controle de Admissão de Chamadas

Esta contribuição utiliza uma estrutura de CAC flexível, a qual foi apresentada inicialmente em [4], focando na minimização das probabilidades de bloqueio e interrupção de chamadas com garantia de qualidade aceitável para a classe de serviço de voz em canais dedicados (DCH) do enlace direto. Essa estrutura de CAC analisa de uma maneira unificada quatro aspectos principais no tratamento das probabilidades de bloqueio e interrupção de chamadas, e define quatro parâmetros respectivos para tratá-los, como mostrado a seguir:

• Probabilidade de Bloqueio

- Ω - De modo geral, indica o limiar de potência de transmissão do setor da Estação Rádio-Base (ERB) para decisão do algoritmo de CAC para chamadas novas;
- Φ - Fator de ponderação que controla a fração da potência de transmissão inicial que é alocada para o usuário. Esse parâmetro representa um compromisso entre a probabilidade de bloqueio de chamadas novas e a taxa de apagamento de quadro percebida pelo usuário no começo de sua conexão;

• Probabilidade de Interrupção

- Θ - Esse parâmetro define a percentagem da potência de transmissão máxima do setor da ERB que é reservada para as chamadas de *handover*. Ele tem um impacto direto na probabilidade de interrupção de chamadas provenientes de outras células devido à indisponibilidade de potência;
- Ψ - Com o objetivo de se obter ganho de multiplexação estatística com o monitoramento da atividade de tráfego de voz, considera-se que no momento em que uma chamada inicia um período de inatividade de voz (silêncio), a potência que estava alocada para essa conexão é liberada e torna-se disponível. O parâmetro Ψ representa a percentagem da quantidade de potência liberada pelas conexões inativas que é reservada para o momento em que essas chamadas tornam-se ativas novamente (período de fala). Se esse parâmetro for menor que 100%,

existe a possibilidade de que a conexão que está retornando de um período de inatividade de voz seja interrompida por indisponibilidade de potência.

Os parâmetros da estrutura de CAC descritos acima (Ω , Θ , Ψ and Φ) podem ser ajustados dinamicamente de tal forma a adaptar-se a diferentes cargas oferecidas e situações de propagação, ao mesmo tempo em que requisitos de QoS restritos são assegurados. Essa estrutura foi explorada amplamente em [4], e concluiu-se que valores de $\Omega = 100\%$, $\Theta = 5\%$, $\Psi = 100\%$ e $\Phi = 10\%$ possibilitaram um funcionamento otimizado do algoritmo.

Além da configuração otimizada do algoritmo de CAC proposto, será considerado um *Cenário de Referência*, onde um algoritmo de CAC básico é utilizado. Esse cenário é caracterizado pela inexistência de qualquer reserva de potência para as chamadas de *handover* e conexões inativas, e nenhum controle sobre a potência de transmissão inicial destinada aos terminais móveis. Em outras palavras, os usuários são admitidos no sistema contanto que exista qualquer potência disponível na ERB.

B. Adaptação de Taxa

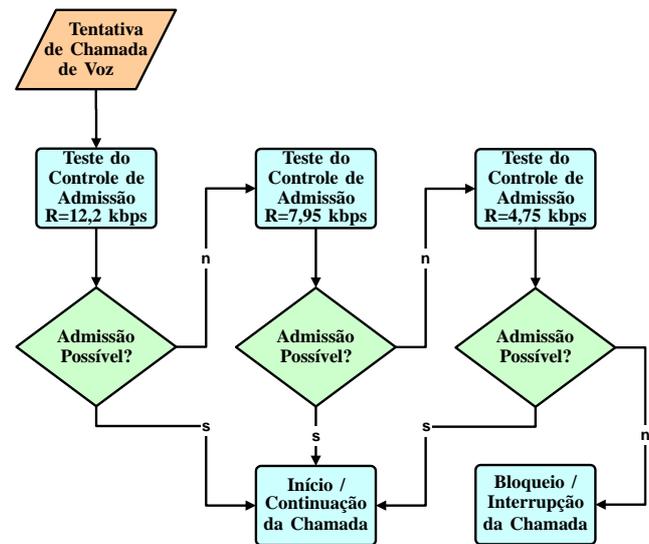
A introdução de um codificador de voz AMR estende a faixa de qualidade percebida pelo serviço de voz. A qualidade atingida pelo codificador AMR varia desde muito alta para o modo AMR-12.2 até uma qualidade aceitável para o modo AMR-4.75.

A potência de transmissão é o recurso de rádio mais importante no enlace direto dos sistemas WCDMA, e modos AMR diferentes requerem níveis de potência distintos. Quanto menor o modo AMR, menor a taxa de transmissão, e portanto, maior o ganho de processamento. Esse aumento do ganho de processamento será mais significativo do que o aumento de requisito de E_b/N_0 para taxas de transmissão menores. Dessa forma, a SINR do usuário melhora, ocasionando economia do consumo de potência de transmissão. Os requisitos de E_b/N_0 utilizados nas simulações foram 7,0 dB (12,2 kbps), 7,5 dB (7,95 kbps) e 8,0 dB (4,75 kbps).

Dependendo do nível da potência de transmissão requisitada por um usuário tentando admissão no sistema (chamada nova, *handover*, ou chamada retornando de período de inatividade de voz), o algoritmo AT será acionado para diminuir as chances de rejeição dessa chamada. Primeiramente, o teste de admissão será realizado com o modo AMR mais elevado (AMR-12.2). Se o nível de potência de transmissão requisitado for muito alto, de tal forma que o setor não possua recursos suficientes para aceitar essa chamada, o algoritmo AT irá diminuir o modo AMR e repetir o teste sucessivamente até se atingir o modo AMR-4.75. Se nesse último caso, a tentativa de conexão não for bem sucedida, a chamada é bloqueada (chamada nova) ou interrompida (chamada em curso). O algoritmo 1 demonstra esse procedimento.

Uma análise sistêmica da aplicação da adaptação de taxa usando AMR em um sistema WCDMA foi abordada em [7]. Três modos de alocação dos modos AMR foram consideradas: alocação estática, alocação baseada na carga da célula e alocação baseada na carga da célula e na condição do enlace

Algoritmo 1 Adaptação de Taxa aplicada à admissão de usuários.



de rádio do usuário. A investigação presente nesta contribuição é inovadora, uma vez que analisa o impacto da adaptação da taxa AMR na alocação de potência de transmissão inicial do usuário, flexibilizando a atuação do algoritmo de CAC.

IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Comparações relativas serão apresentadas considerando a capacidade da rede celular utilizar combinações diferentes de modos AMR:

- 1) **AMR-12.2** - O codificador de voz AMR não utiliza a capacidade de variação de taxa. Somente a taxa de transmissão de 12,2 kbps é considerada;
- 2) **AMR-12.2 / AMR-7.95** - Existem duas opções de taxas de transmissão (12,2 e 7,95 kbps);
- 3) **AMR-12.2 / AMR-7.95 / AMR-4.75** - Todos os três modos AMR disponíveis no estudo podem ser utilizados na adaptação da taxa de transmissão.

As seguintes métricas são utilizadas na avaliação de desempenho dos algoritmos estudados [15], [17]:

- 1) O **Grau de Serviço** é uma medida representada por uma função ponderada das métricas de probabilidade de bloqueio e probabilidade de interrupção de chamadas ($GoS = P_{bloqueio} + 2 \cdot P_{interrup}$). Assume-se como limite aceitável de Qualidade de Serviço (QoS), um valor de $GoS = 5\%$.
 - a) A **Probabilidade de Bloqueio** de chamadas ($P_{bloqueio}$) é a razão entre o número de chamadas novas que foram impedidas de acessarem o sistema e o número de tentativas de conexões novas.
 - b) A **Probabilidade de Interrupção** de chamadas pode ser ocasionada por dois fatores: falha no procedimento de *handover* ($P_{interrup}^{handover}$) e falta de potência para chamadas que estão retornando de períodos de inatividade de tráfego ($P_{interrup}^{trafego}$).

Portanto, tem-se que $P_{interrup} = P_{interrup}^{handover} + P_{interrup}^{trafego}$.

2) A **Probabilidade de Apagamento de Quadro (FEP)** pode ser considerada uma estimativa confiável da Taxa de Apagamento de Quadro (FER). Assume-se que o sistema possui um QoS aceitável quando pelo menos 95% (95º percentil) dos usuários apresentam FEP média menor que o limite de $FEP = 2\%$.

Esta seção é organizada em duas sub-seções. Primeiramente na seção IV-A, os benefícios da adaptação de taxa na admissão dos usuários serão demonstrados com a aplicação da técnica no *Cenário de Referência* (CAC básico), descrito no final da seção III-A. Por fim na seção IV-B, a mesma investigação será estendida à configuração otimizada da estrutura de CAC proposta em [4] e descrita na seção III-A.

Os gráficos apresentados a seguir devem ser analisados sob a ótica que os resultados de simulação evidenciam comparações relativas e não representam indicadores de capacidade e qualidade absolutos.

A. *Cenário de Referência (CAC Básico)*

As duas configurações de modos AMR que permitem adaptação de taxa (AMR-12.2 / AMR-7.95 ou AMR-12.2 / AMR-7.95 / AMR-4.75) são analisadas na figura 1 do ponto de vista de distribuição das taxas de transmissão. A mediana da distribuição de amostras de taxas de transmissão coletadas durante o curso das chamadas é apresentado. Verifica-se que a disponibilidade do terceiro modo AMR (AMR-4.75), tem um impacto significativo no sistema: a utilização do modo AMR-7.95 decresce substancialmente, enquanto que mais usuários podem utilizar o modo AMR-12.2, o qual possibilita uma melhor inteligibilidade de voz, devido ao consumo mais eficiente da potência de transmissão do setor. Outro fato que deve ser constatado é o comportamento decrescente da utilização do modo AMR-12.2 e a tendência de crescimento da utilização dos modos AMR-7.95 e AMR-4.75 à medida que a carga oferecida é aumentada. Quanto maior a carga, mais usuários são admitidos no sistema, e portanto, maior a possibilidade do algoritmo de adaptação de taxa alocar um modo AMR inferior para as conexões.

A alocação do recurso potência influencia consideravelmente ambas as métricas de QoS (GoS e FEP). Dessa forma, antes de exibir os resultados referentes a essas métricas, é relevante ilustrar o 95º percentil da utilização de potência de transmissão ativa normalizada do setor. Deduz-se da figura 2 que quanto maior a quantidade de taxas de transmissão disponíveis, mais eficiente é o consumo de potência de transmissão, pois o sistema utiliza menos potência para uma mesma carga oferecida, ou suporta maior capacidade para um dado consumo de potência.

A maior disponibilidade de potência de transmissão pode ser revertida em uma menor probabilidade de bloqueio e interrupção de chamadas. Aliado a isso, existe o próprio mecanismo de flexibilização da admissão de chamadas novas, de *handover* ou chamadas inativas devido à adaptação dos modos AMR.

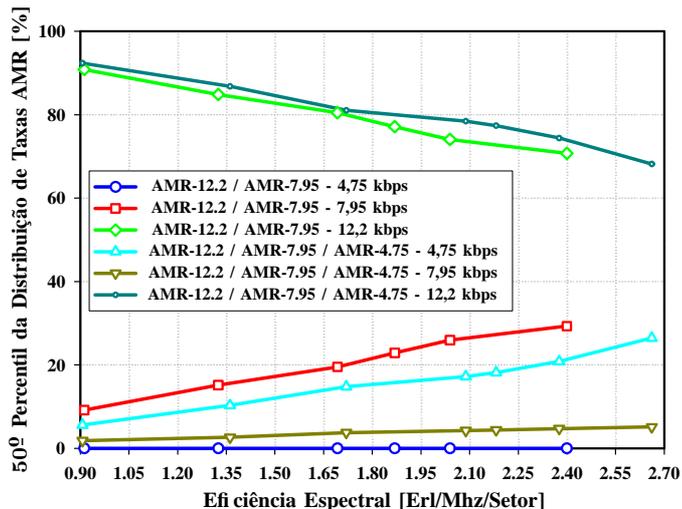


Fig. 1. Mediana da distribuição de taxas de transmissão no Cenário de Referência (CAC Básico) com a presença de dois (AMR-12.2 e AMR-7.95) ou três (AMR-12.2, AMR-7.95 e AMR-4.75) modos AMR.

Como os percentuais de chamadas novas bloqueadas mostraram-se baixos, o Grau de Serviço (GoS) foi fortemente influenciado pela probabilidade de interrupção total ($P_{interrup} = P_{interrup}^{handover} + P_{interrup}^{trafego}$), como mostra a figura 3.

Finalmente, a outra faceta da qualidade de serviço do sistema (FEP), visualizada na forma de satisfação de usuários, é investigada na figura 4. Um usuário é considerado satisfeito se ele for capaz de finalizar naturalmente a sua conexão e experimentar uma qualidade em termos de FEP média menor ou igual a 2%. Além disso o sistema requer que 95% dos usuários estejam satisfeitos. Avaliando as figuras 3 e 4, conclui-se que o sistema teve sua capacidade limitada pelo limite de QoS referente à métrica GoS (5%), visto que não

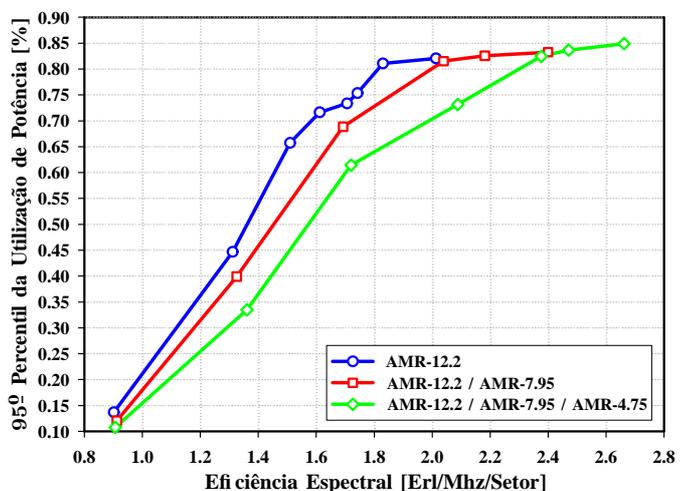


Fig. 2. 95º percentil da utilização de potência de transmissão ativa normalizada do setor (valor máximo = 20 W) no Cenário de Referência (CAC Básico) com a presença de diferentes modos AMR.

foi verificado níveis de satisfação menores do que 95% na faixa de cargas simuladas.

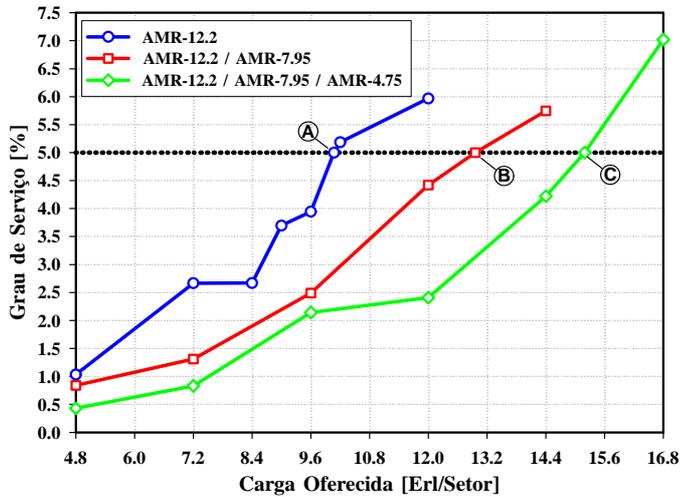


Fig. 3. Grauf de Serviço (GoS) no Cenário de Referência (CAC Básico) com a presença de diferentes modos AMR.

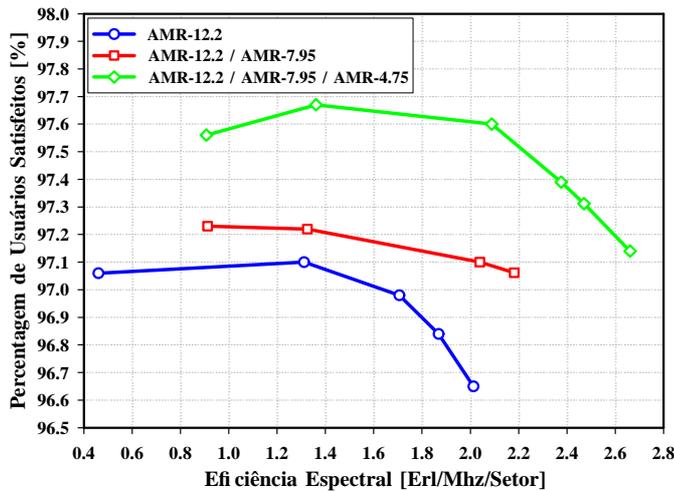


Fig. 4. Percentagem de usuários satisfeitos ($FEP \leq 2\%$) no Cenário de Referência (CAC Básico) com a presença de diferentes modos AMR.

O limite de $GoS = 5\%$ é indicado pelos pontos A, B e C da figura 3, cujas eficiências espectrais estão disponibilizadas na tabela I. Verifica-se ganhos de capacidade com a adição de novas taxas de transmissão para serem utilizadas na seleção adaptativa de modos AMR.

TABELA I

EFICIÊNCIA ESPECTRAL NOS PONTOS DE LIMITE DE QoS ($GoS = 5\%$) (PONTOS A, B, E C DA FIGURA 3).

Pontos de Limite de QoS	Eficiência Espectral [Erl/Mhz/Setor]
Ponto A	1,869
Ponto B	2,181
Ponto C	2,471

B. Estrutura Otimizada do Algoritmo de CAC Proposto

A maior eficiência na alocação da potência de transmissão quando o sistema utiliza a adaptação de taxa via AMR é demonstrada com menores taxas de bloqueio e de interrupção de chamadas que tentam efetuar um *handover*. Conseqüentemente, a GoS melhora e maiores capacidades são atingidas. O cenário caracterizado pela presença somente do modo AMR-12.2 é limitado pela métrica $GoS = 5\%$. Esse limite de QoS é indicado no ponto A da figura 5.

No entanto, os cenários com dois (AMR-12.2 / AMR-7.95) e três (AMR-12.2 / AMR-7.95 / AMR-4.75) modos suportam cargas oferecidas tão elevadas que o sistema torna-se limitado pela métrica $FEP = 2\%$, devido ao nível de interferência presente na rede. Esses limites de FEP são indicados pelos pontos B e C, ilustrados nas curvas de 95º percentil da FEP (figura 6) e satisfação de usuários (figura 7).

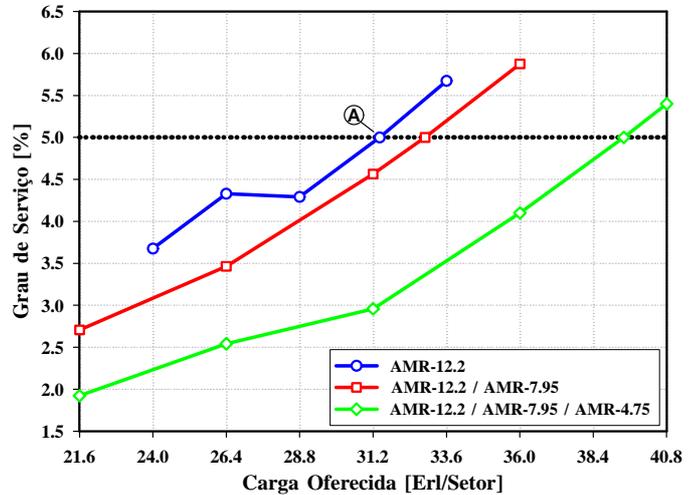


Fig. 5. Grauf de Serviço (GoS) na estrutura de CAC proposta ($\Omega = 100\%$, $\Theta = 5\%$, $\Psi = 100\%$ e $\Phi = 10\%$) com a presença de diferentes modos AMR.

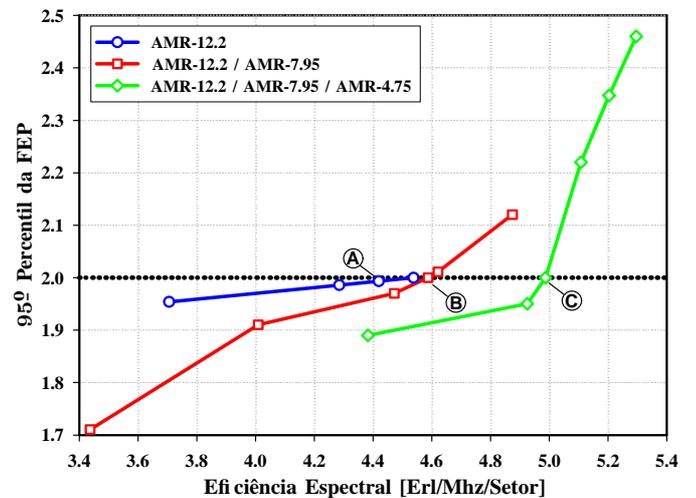


Fig. 6. 95º percentil da FEP na estrutura de CAC proposta ($\Omega = 100\%$, $\Theta = 5\%$, $\Psi = 100\%$ e $\Phi = 10\%$) com a presença de diferentes modos AMR.

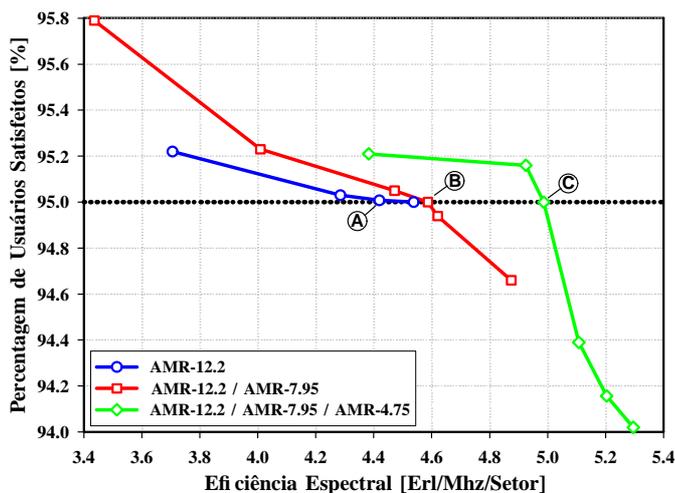


Fig. 7. Percentual de usuários satisfeitos ($FEP \leq 2\%$) na estrutura de CAC proposta ($\Omega = 100\%$, $\Theta = 5\%$, $\Psi = 100\%$ e $\Phi = 10\%$) com a presença de diferentes modos AMR.

A tabela II concentra os resultados de eficiências espectrais atingidas nos vários cenários considerados (um, dois ou três modos AMR).

TABELA II

EFICIÊNCIA ESPECTRAL NOS PONTOS DE LIMITE DE QoS ($GoS = 5\%$ e $FEP = 2\%$) (PONTOS A, B, E C DAS FIGURAS 5, 6 E 7).

Pontos de Limite de QoS	Eficiência Espectral [Erl/Mhz/Setor]
Ponto A	4,419
Ponto B	4,587
Ponto C	4,987

V. CONCLUSÕES

Supondo que os usuários estão dispostos a suportar níveis de inteligibilidade de voz razoáveis ao invés de terem suas conexões bloqueadas ou interrompidas, o trabalho em conjunto dos algoritmos de CAC e AT acarretou benefícios, tais como a eficiência na utilização de potência de transmissão do setor, maior eficiência espectral (capacidade) e melhor qualidade das chamadas em termos de Probabilidade de Apagamento de Quadro (FEP).

Quanto maior a quantidade de taxas de transmissão disponíveis para a adaptação dos modos AMR, melhor será o desempenho do sistema em termos de GoS e FEP , maximizando a capacidade do sistema e mantendo a qualidade de serviço em patamares aceitáveis.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da cooperação técnico-científica entre Ericsson e UFC por meio do Grupo de Pesquisa em Telecomunicações Sem-Fio, GTEL (ERBB/UFC.07 - URL: <http://www.ericsson.ufc.br>). Emanuel B. Rodrigues teve o suporte financeiro da CAPES - Brasil. Carlos H. M. de Lima e Vicente A. de Sousa Jr. tiveram suporte financeiro da FUNCAP - Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Kumar and M. Huang, "Quality of Service in UMTS Wireless Networks," *Bell Labs Technical Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 49–66, 2002.
- [2] N. Dimitriou and R. Tafazolli, "Resource Management Issues for UMTS," *First International Conference on 3G Mobile Communication Technologies / IEE Conference Publication*, no. 471, pp. 401–405, Março 2000.
- [3] J. Korhonen, *Introduction to 3G Mobile Communications*, 2nd ed., ser. Mobile Communications Series. Artech House Publishers, 2003.
- [4] E. B. Rodrigues, C. H. M. de Lima, V. A. de Sousa Jr., F. R. P. Cavalcanti, A. R. Braga, and T. F. Maciel, "QoS and Load Management via Admission Control in UMTS Forward Link," *59th IEEE Vehicular Technology Conference - VTC Spring*, Maio 2004.
- [5] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS - Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2002.
- [6] 3GPP, "Radio Resource Management Strategies," *3rd Generation Partnership Project, Sophia Antipolis, França, Tech. Rep. TR 25.922 v5.2.0 - Release 5*, Dezembro 2003.
- [7] M. Karlsson, M. Almgren, S. Bruhn, K. Larsson, and M. Sundelin, "Joint Capacity and Quality Evaluation for AMR Telephony Speech in WCDMA Systems," *56th IEEE Vehicular Technology Conference - VTC Fall*, vol. 4, pp. 2046–2050, Setembro 2002.
- [8] R. Lloyd-Evans, *QoS in Integrated 3G Networks*, ser. Mobile Communications Series. Artech House Publishers, 2002.
- [9] J. Zander, S.-L. Kim, M. Almgren, and O. Queseth, *Radio Resource Management for Wireless Networks*, ser. Mobile Communications Series. Artech House Publishers, 2001.
- [10] P. Cardieri, "Resource Allocation and Adaptive Antennas in Cellular Communications," Ph.D. dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virgínia, Estados Unidos da América, Setembro 2000.
- [11] A. Lozano, "Integrated Dynamic Channel Assignment and Power Control in Mobile Wireless Communication Systems," Ph.D. dissertation, Stanford University, Stanford, Califórnia, Estados Unidos da América, December 1998.
- [12] S. Nanda, D. J. Goodman, and U. Timor, "Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 3, pp. 584–598, Agosto 1991.
- [13] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd ed., ser. Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series. Prentice Hall PTR, 2002.
- [14] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2nd ed. Prentice Hall PTR, 2000.
- [15] ETSI, "Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS," European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, França, Tech. Rep. TR 101.112 v3.2.0 - UMTS 30.03 - Anex B, Abril 1998.
- [16] 3GPP, "Physical Layer Procedures (FDD)," *3rd Generation Partnership Project, Sophia Antipolis, França, Tech. Rep. TS 25.214 v6.0.0 - Release 6*, Dezembro 2003.
- [17] —, "Services and Service Capabilities," *3rd Generation Partnership Project, Sophia Antipolis, França, Tech. Rep. TS 22.105 v6.2.0 - Release 6*, Junho 2003.