

5 Análise do PoC nas Redes EGPRS

Muitas operadoras em todo mundo escolheram um caminho evolutivo para a terceira geração passando pelo EDGE. No Brasil, as redes EGPRS já foram implantadas em muitos centros urbanos, mas ainda estão em estágio inicial de utilização principalmente por questões de custos do serviço para o usuário final.

Neste capítulo será apresentada a ferramenta de simulação, além dos dois modelos gerados através desta ferramenta e que foram utilizados para obtenção e análise de resultados. O primeiro modelo, denominado *EDGE_Channel*, valida os parâmetros utilizados para simular a interface aérea do EDGE. O segundo modelo, denominado *PoC_Max*, permite simular o tráfego gerado por sessões PoC com dois participantes. A partir dos resultados será analisado o desempenho não só desta aplicação, mas também da própria tecnologia EDGE.

5.1. A Ferramenta de Simulação

O TANGRAM é uma ferramenta de simulação resultante de mais de 10 anos de trabalho e pesquisa científica e permite resolver sistemas *Markovianos* de forma analítica ou, no caso de sistemas mais complexos, através da análise de resultados por simulação. A versão original desta ferramenta foi apresentada em 1991 e vem sendo continuamente aperfeiçoada desde então [6]. A partir do segundo semestre de 2000, já em sua segunda versão, o Tangram-II passou a ser gratuitamente distribuído pela Internet juntamente com seu código-fonte [14].

Toda simulação no TANGRAM é baseada no paradigma de desenvolvimento orientado a objetos. Cada modelo é construído através de uma ferramenta gráfica de criação e manipulação de objetos denominada TGIF (*Tangram Graphic Interface Facility*). A TGIF, apesar de sua denominação, é uma ferramenta de propósito geral e de domínio público distribuída separadamente [23].

Cada objeto é definido por um conjunto de variáveis e constantes e por eventos que manipulam as variáveis. Os “eventos” alteram variáveis através da abstração de

“mensagens” trocadas entre os objetos. O estado do sistema é definido a partir do conjunto de valores atribuídos às variáveis que compõem os objetos pertencentes ao modelo. A alteração destes valores (passagem de estado) acontece somente de acordo com o processamento dos eventos. Maiores detalhes sobre o ambiente de simulação do Tangram-II podem ser obtidas em [15].

5.2. Interface Aérea do EGPRS

5.2.1. Relação C/I

Sabemos que é praticamente impossível reproduzir fielmente em um ambiente de simulação todas as condições reais que afetam a comunicação celular. Por vezes a adoção de um modelo computacional próximo da realidade, mas cujas imperfeições sejam consideradas na discussão dos resultados, pode fornecer informações muito úteis. Vários trabalhos utilizaram modelos para simular o desempenho da transmissão via rádio, essencial em um sistema celular, com base em resultados de rádio propagação em cenários típicos como, por exemplo, o TU-3 (*Typical Urban at 3 Km/h*).

Um exemplo comum utilizado na implantação de redes EGPRS é o arranjo em *clusters* de 04 células com 03 setores por célula (fator de reuso 4/12). Este tipo de configuração pode ser implementada, por exemplo, com a alocação de 2,4 MHz do espectro em cada sentido (direto e reverso) o que resulta em uma portadora de 200 KHz em cada setor (2,4 MHz / 12 setores).

A figura 10 mostra uma curva que representa o cenário de distribuição da relação C/I em um ambiente TU-3 com arranjo 4/12 obtida em [1] (3GPP). A figura 11, obtida em [16] (LUCENT), contém outro exemplo de distribuição da razão C/I para o mesmo ambiente. Na prática este cenário irá variar de forma bem aleatória até mesmo dentro de uma mesma localidade. Pode-se observar que o cenário proposto em [1] é bem mais otimista admitindo que a estação transmite/recebe a razões de C/I maiores que **24 dB** com 50% de probabilidade. Já em [16] este valor cai para aproximadamente **17 dB**.

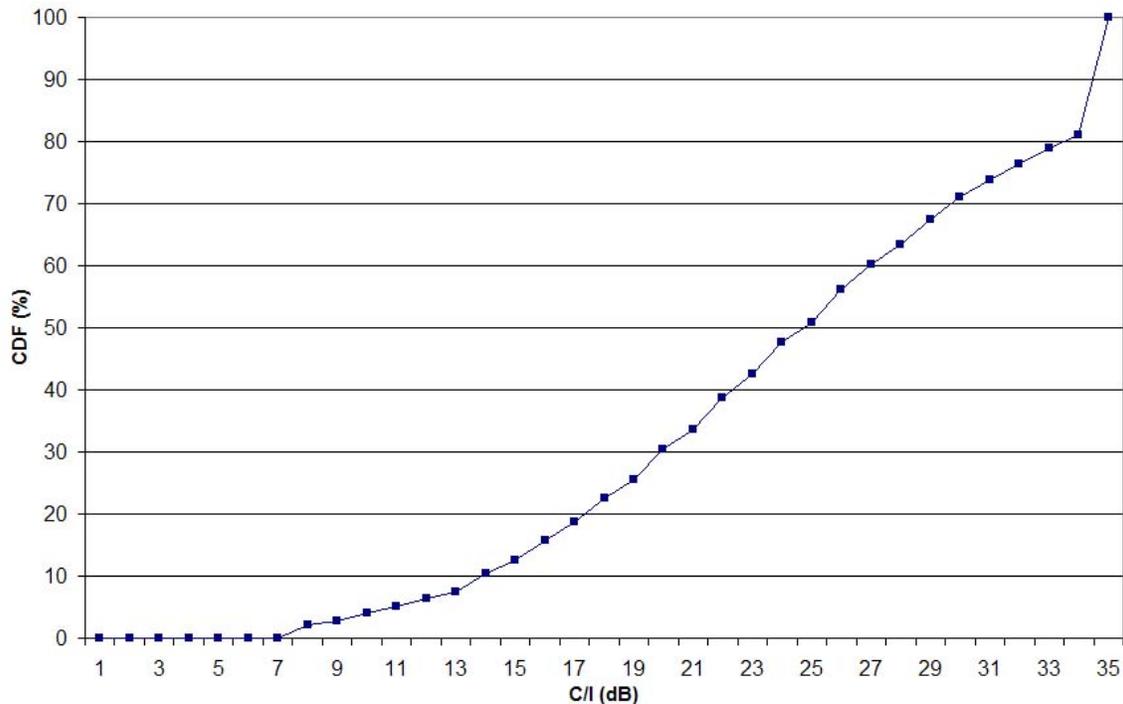


Figura 10: Curva C/I de 3GPP para o TU-3 (fator de reuso 4/12) com perda por sombreamento *log-normal* (desvio igual a 6 dB) e perda por propagação igual a 38 dB/década [1].

Em [26] (YALLAPRAGADA) são feitas observações salientando a importância de **não** se desprezar o ruído térmico e outras componentes de degradação do sinal. Segundo os autores, resultados que levam em consideração apenas a interferência causada pelas células adjacentes (relação C/I) subestimam as perdas por outros tipos de interferência como o ruído térmico e o ruído de processamento (C/N). Deste modo, a partir de informações da razão C/I fornecidas em [16], considerando valores típicos para a razão C/N, os autores derivaram uma curva C/[I+N] que pode ser utilizada para a análise de desempenho do EDGE. Os resultados de [26] estão na figura 12.

Considerando um mecanismo perfeito de adaptação de canal, YALLAPRAGADA [26] propõe analiticamente que, em condições de propagação normalmente encontradas na prática, cada canal EDGE pode oferecer uma **vazão média** em torno de no máximo 25 kbps. Estes resultados foram obtidos considerando transmissão *mode 0* (a estação não transmite sob condições muito ruins a fim de não contribuir para maior degradação do meio). Na curva de YALLAPRAGADA [26] a probabilidade de a estação transmitir/receber com relação C/[I+N] entre 8.5 e 17 dB é de aproximadamente 50% e a de transmitir/receber com C/[I+N] maior que 25.5 dB é nula.

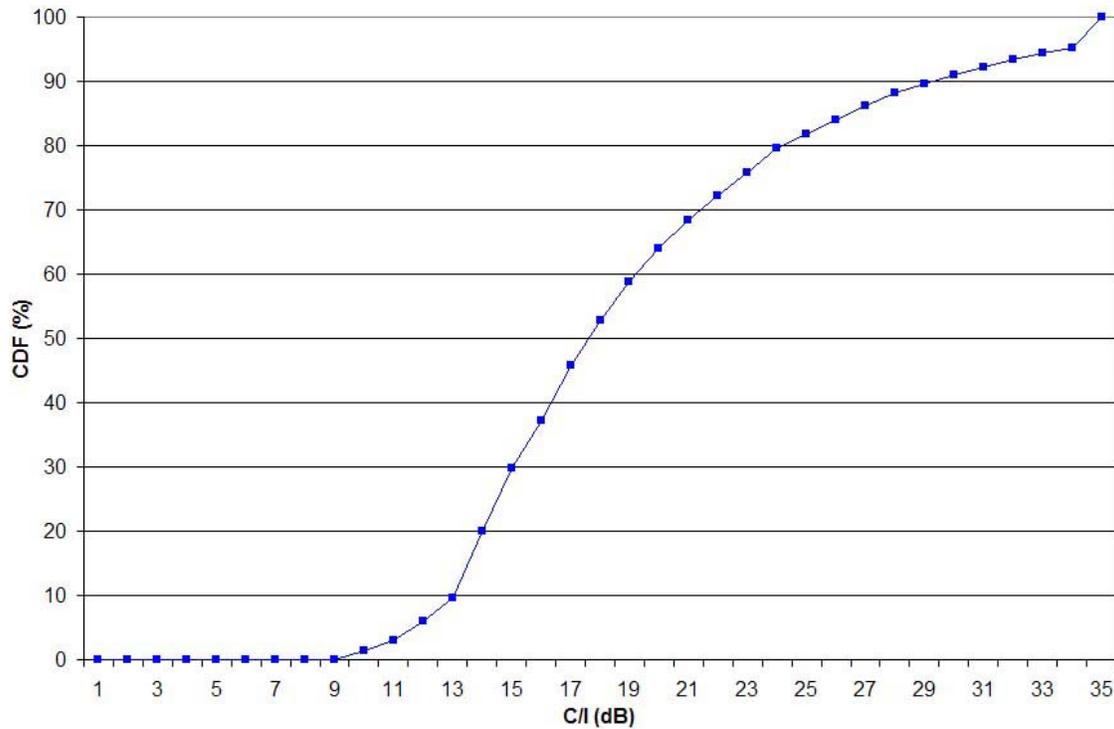


Figura 11: Curva C/I de LUCENT para o TU-3 (fator de reuso 4/12) com perda por sombreamento *log-normal* (desvio igual a 7 dB) e perda por propagação igual a 35 dB/década [16].

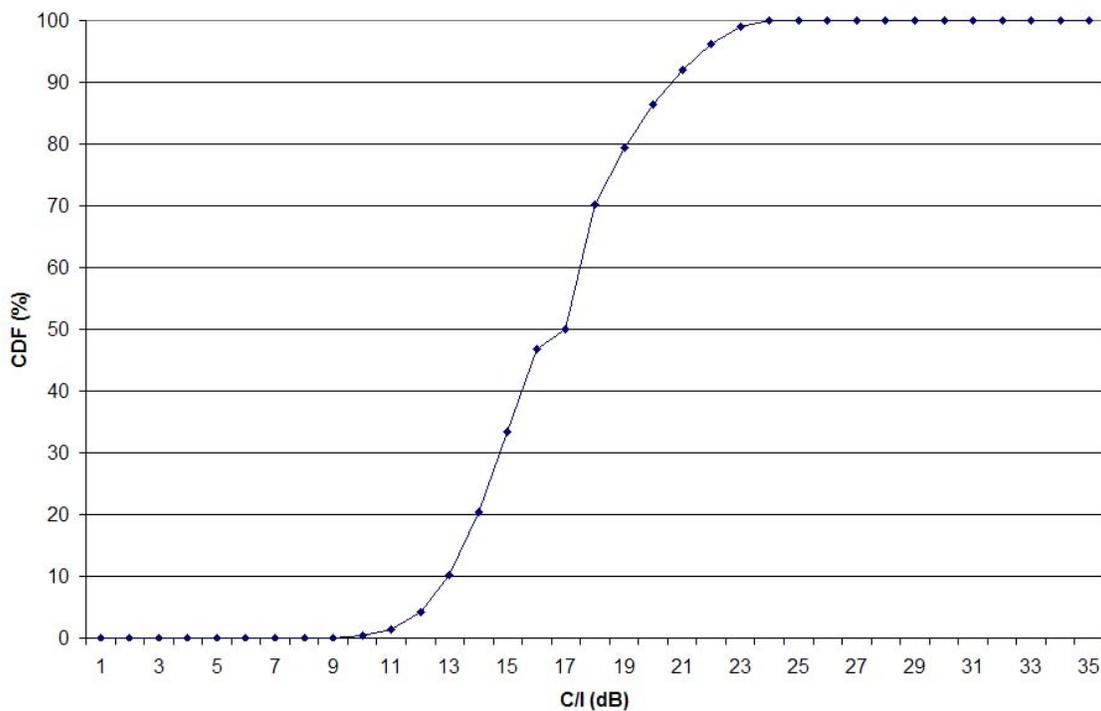


Figura 12: Curva C/[I+N] de YALLAPRAGADA para o TU-3 (fator de reuso 4/12), C/N igual a 24 dB com perda por sombreamento *log-normal* (desvio igual a 6 dB) [26].

5.2.2. Adaptação de Canal

No primeiro modelo (*EDGE_Channel*) uma adaptação de canal ideal foi considerada. Neste tipo de abordagem, o primeiro passo é obter as curvas de desempenho isolado de cada MCS, ou seja, o sistema é configurado para trabalhar sem nenhum tipo de adaptação mantendo sempre um mesmo MCS durante as medições. A performance de cada MCS é então medida isoladamente de acordo com a variação da razão C/I o que fornece 09 curvas de desempenho distintas.

A figura 13 mostra a variação da taxa de blocos errados (BLER) em um ambiente TU-3 sem salto em frequência.

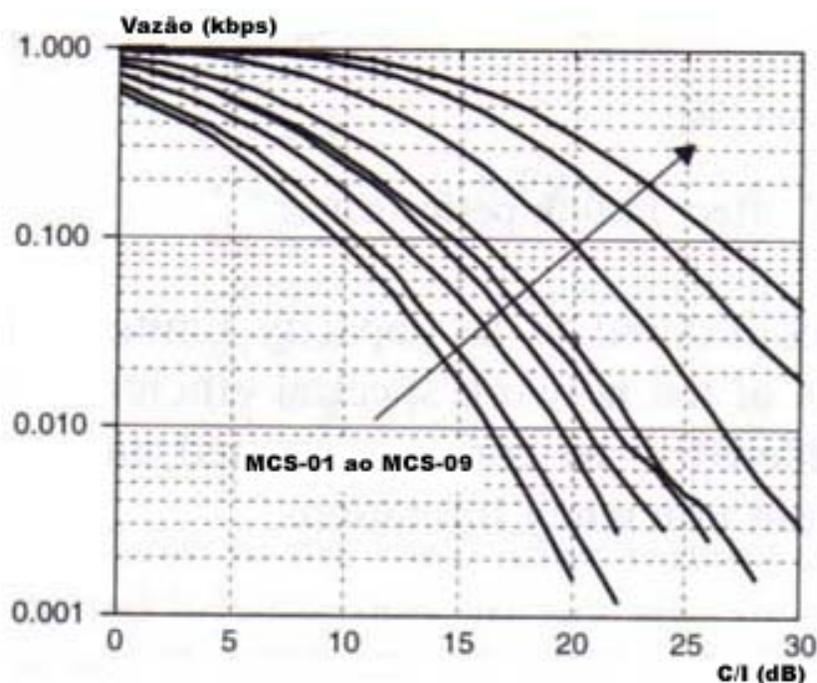


Figura 13: Desempenho do EDGE: BLER [8].

A partir da figura 13, a vazão média por canal fornecida por MCS pode ser obtida através da eq. (4), conforme é mostrado na figura 14. No final, considerando uma LA ideal, a envoltória deste conjunto de curvas fornecerá o máximo desempenho teórico possível para o EDGE.

$$Vazão = Vazão_Máxima \times (1 - BLER) \quad (4)$$

Porém, cada curva MCS já considera um certo nível de erro. Dependendo do ponto, o MCS que fornece maior vazão não é, necessariamente, o MCS que fornece menor taxa de blocos errados. Na prática, o mecanismo de LA depende da confiabilidade das medidas de estimação do canal e da rapidez com que a BSS e as estações se ajustam à nova circunstância. Em redes EGPRS esta adaptação pode acontecer a cada 40 ms [10].

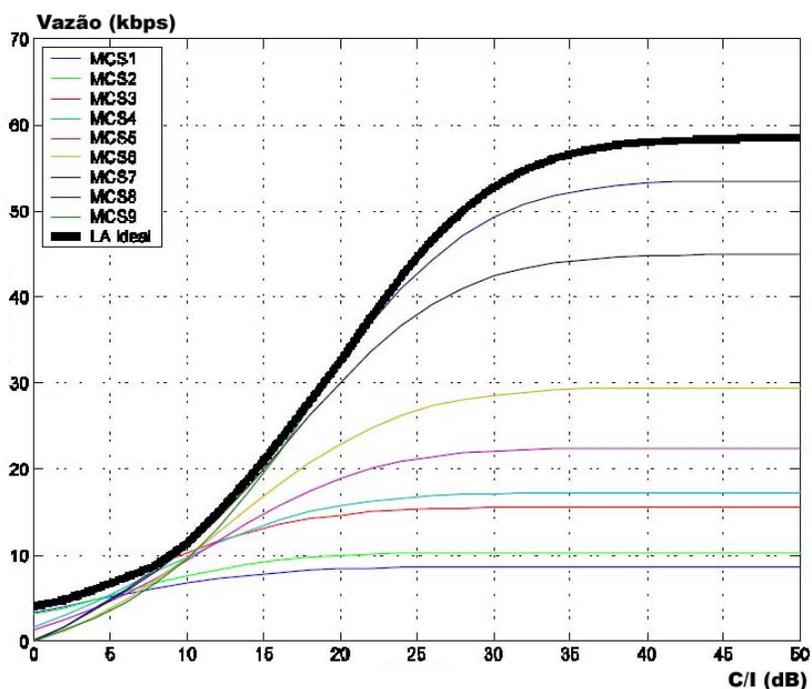


Figura 14: Desempenho do EDGE: Vazão [20].

Na figura 15 são mostradas as envoltórias obtidas em [7] (ERICSSON) e em [24] (UWCC) para os MCS do EDGE, em ambientes TU-3, com adaptação de canal ideal (iLA). Para o caso de [7] ainda é mostrada a envoltória quando os níveis da BLER são mantidos abaixo de 3%. Para manter uma taxa de blocos errados satisfatória, a taxa de transmissão média por canal deverá ser **bem menor** que a taxa máxima possível para cada valor da razão de C/I. As curvas iLA foram utilizadas nas simulações do modelo *EDGE_Channel*. As curvas limitadas à BLER abaixo de 3% foram utilizadas em algumas simulações do modelo *PoC_Max*.

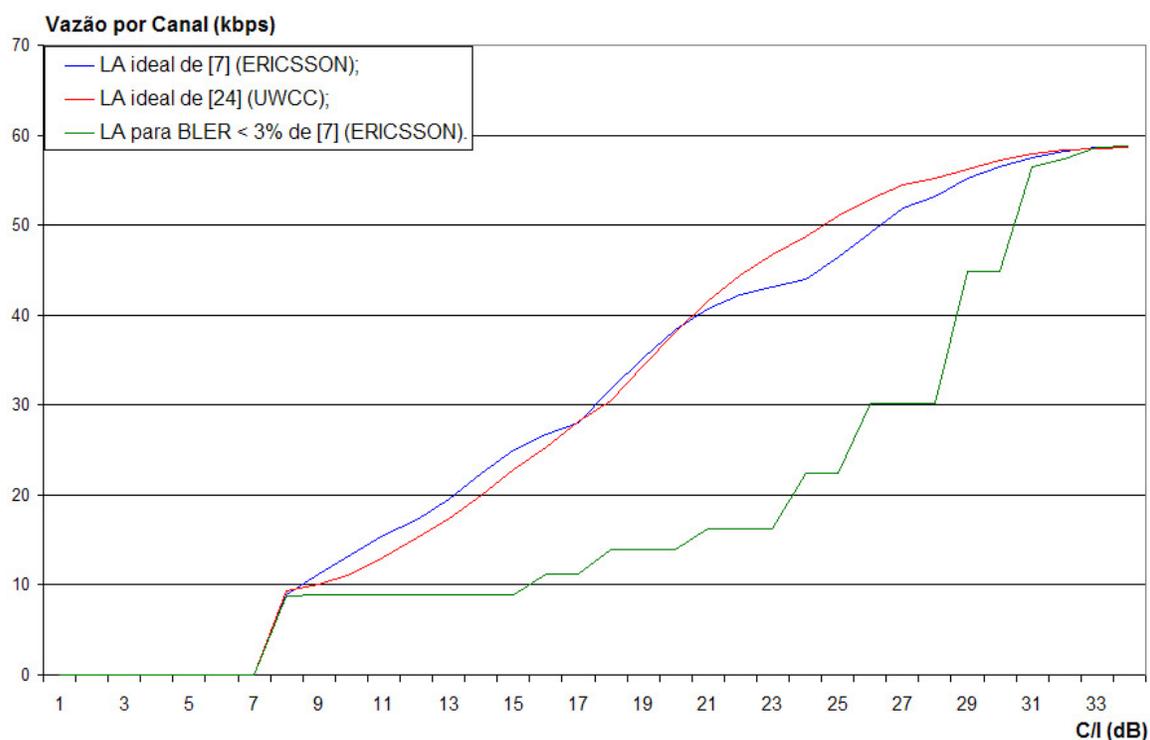


Figura 15: Envoltórias de desempenho do EDGE [7, 24].

5.3. Modelos Desenvolvidos

Dois modelos foram desenvolvidos neste trabalho usando o ambiente de simulação do Tangram-II. O primeiro, denominado *EDGE_Channel*, visa à validação das considerações feitas na representação da interface aérea do EDGE. O segundo, denominado *PoC_Max*, implementa usuários envolvidos em sessões *PoC* simultâneas. O objetivo deste último modelo foi o de analisar a capacidade máxima de sustentar sessões entre dois participantes com uma qualidade aceitável dentro da rede EGPRS sem considerar outros tipos de tráfegos em paralelo.

5.3.1. Modelo para o canal (*EDGE_Channel*)

O modelo *EDGE_Channel* é composto por 3 objetos. O primeiro objeto modela o comportamento da ERB e da BSC (BSS), o segundo define o comportamento da interface aérea (CH) e o terceiro define o comportamento das estações clientes (MS).

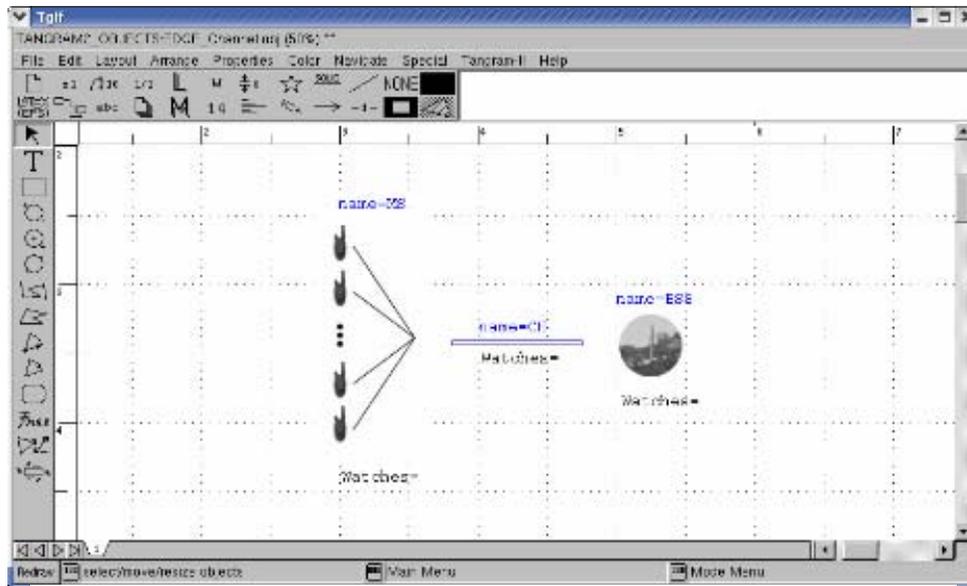


Figura 16: Imagem do modelo *EDGE_Channel* na plataforma TANGRAM.

Neste primeiro modelo, as estações compartilham um canal (PDTCH) de forma justa no que diz respeito à quantidade de dados transmitidos, ou seja, caso haja “n” estações compartilhando o mesmo canal de tráfego, para um tempo de simulação suficientemente grande, todas elas terão transmitido a mesma quantidade de dados. A fim de analisar a capacidade de um canal EDGE, a BSS garante que sempre há pacotes a serem enviados para as estações no enlace de descida (*downlink*), ou seja, ela gera rajadas continuamente com tamanho variável segundo uma distribuição exponencial.

Admite-se que o sistema suporte TBFs estendidos que, uma vez ativado para uma estação, ele tenha a duração da rajada “mais antiga” (há mais tempo em *buffer*) gerada pela BSS para aquela estação. Após a recepção completa desta rajada, a estação terá direito a um novo TBF (naquele mesmo canal) somente quando todas as outras estações que o compartilham (e que tenham dados a receber) também tenham utilizado um TBF (e somente um). Embora a sinalização para o estabelecimento do TBF não consuma recursos do canal (uma vez que ocorre em canais de sinalização específicos), o tempo despendido nesta sinalização deve ser computado no cálculo do atraso fim-a-fim de cada pacote. Como veremos, o fato de o TBF ficar ativo durante todo o tempo de uma rajada tem um impacto significativo na diminuição do *jitter*. Porém, sem QoS o atraso fim-a-fim ainda pode ser grande dependendo das condições da rede. Durante a simulação as estações são divididas em dois grupos: G1 (estado bom) e G2 (estado ruim).

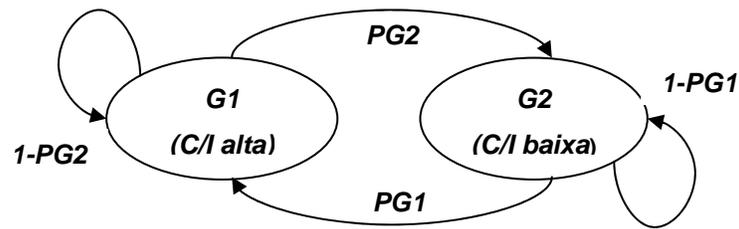


Figura 17: Alternância entre os grupos durante a simulação.

Estes dois grupos simulam boas ou más condições de propagação e interferência, respectivamente. Ou seja, dependendo do grupo em que estiver, a estação estará transmitindo/recebendo de acordo com uma razão C/I alta ou baixa. Sendo P_B e P_R as probabilidades estacionárias relacionadas aos grupos G1 e G2, respectivamente, e PG1 e PG2 as probabilidades de transição entre os dois grupos, conforme a figura 17, em um dado momento, temos:

$$\frac{P_B}{P_R} = \frac{PG1}{PG2} \quad (5)$$

$$P_B = \frac{PG1}{PG1 + PG2} \quad \text{e} \quad P_R = \frac{PG2}{PG1 + PG2} \quad (6)$$

Por exemplo, se $PG1 = 0.9$ e $PG2 = 0.1$, então $P_B = 0.9$ e $P_R = 0.1$. Se $PG1 = PG2 = 0.2$, então $P_B = P_R = 0.5$. E assim por diante.

Neste trabalho, a razão C/I na figura 10 foi considerada alta quando seu valor foi maior que 24 dB e, nas figuras 11 e 12, quando seu valor foi maior que 17 dB. Isto porque, tais valores dividem a curva em duas regiões de igual probabilidade, ou seja, o valor da razão C/I possui a mesma probabilidade de estar tanto acima quanto abaixo destes pontos.

A mudança entre os grupos G1 e G2 acontece uma vez por segundo (aproximadamente a cada “passo” do usuário no TU-3) de forma independente para cada estação e é definida a partir dos valores das probabilidades de transição PG1 e PG2 que

são parâmetros de entrada do modelo. Estes valores definem a dinâmica da simulação do seguinte modo: se PG1 é maior que PG2, as condições de propagação notadas pelas estações durante a simulação tendem a estar dentro do grupo G1 na maior parte do tempo (o usuário se movimenta próximo à BTS, por exemplo). O raciocínio inverso, PG2 maior que PG1, refere-se à situação em que as estações estão sob condições de propagação próprias do grupo G2 na maior parte do tempo (o usuário se movimenta nas fronteiras da célula, por exemplo). Ou seja, “passar ao grupo G1 estando no grupo G2” e “passar ao grupo G2 estando no grupo G1” são eventos independentes cuja ocorrência obedece apenas às probabilidades de transição PG1 e PG2.

Além da alternância entre os grupos G1 e G2, que acontece de acordo com as probabilidades de transição e modela o posicionamento geográfico dos usuários, durante o tempo em que uma estação permanece dentro de um grupo (01 segundo), o simulador também escolhe, a cada intervalo de 40 ms, ou manter a velocidade de transmissão corrente ou mudá-la de acordo com os valores de C/I próprios daquele grupo. Para isso as probabilidades das curvas de distribuição C/I foram normalizadas. Como neste caso, a definição de alto e baixo divide a curva C/I em duas partes “igualmente prováveis” ($P_B = P_R = 0.5$) a normalização é feita através da divisão das probabilidades de cada valor de C/I por 0.5. O que representa o evento “transmitir a um determinado valor de C/I condicionado ao fato de que a estação está em uma das duas partes igualmente prováveis da curva”. Estas duas partes são representadas pelos grupos G1 e G2.

Tabela 3: Parâmetros para simulação do modelo *EDGE_Channel*.

Parâmetro	Descrição	Valor
Ativação do TBF	No sentido do downlink (DL TBF) [8].	EXP (280 ms)
Duração do TBF	Restabelecido um novo TBF a cada rajada.	01 rajada
Geração das rajadas	Contínua de forma que a BSS sempre tenha dados a enviar para as estações.	DET (20 ms)
Tamanho das rajadas	06 segundos de voz com AMR 5.15 (10 quadros por pacote, 40 bytes de cabeçalho e 60% de silêncio).	EXP (29 kbits)
PG1 e PG2	PG1 é a probabilidade de a estação passar para o grupo G1 estando no grupo G2.	0.9, 0.8, ..., 0.1
	PG2 é a probabilidade de a estação passar para o grupo G2 estando no grupo G1.	0.1, 0.2, ..., 0.9

# de Estações	Crescente até o máximo de 06 estações por PDTCH ou à saturação do setor.	02, 04, ..., 12
# de Canais	Número de canais (PDTCHs) dedicados ao PoC.	02
Duração da simulação	Tempo total para a simulação das condições de cada ponto do gráfico.	450 s

5.3.1.1. Resultados

A fim de validar o modelo *EDGE_Channel*, foram realizadas simulações utilizando as referências de entrada para os valores de C/I [1, 16, 26] e para os valores de desempenho dos MCS [7, 24]. Os parâmetros de entrada para as simulações do *EDGE_Channel* estão definidos na tabela 3. **No início da simulação as estações são igualmente distribuídas entre os dois grupos G1 e G2**, ou seja, metade observará boas condições de propagação na maior parte do tempo e a outra metade, más condições.

A vazão média por canal é o somatório dos dados recebidos por todas as estações dividido pelo número de blocos RLC enviados nos PDTCHs e pelo tempo total da simulação.

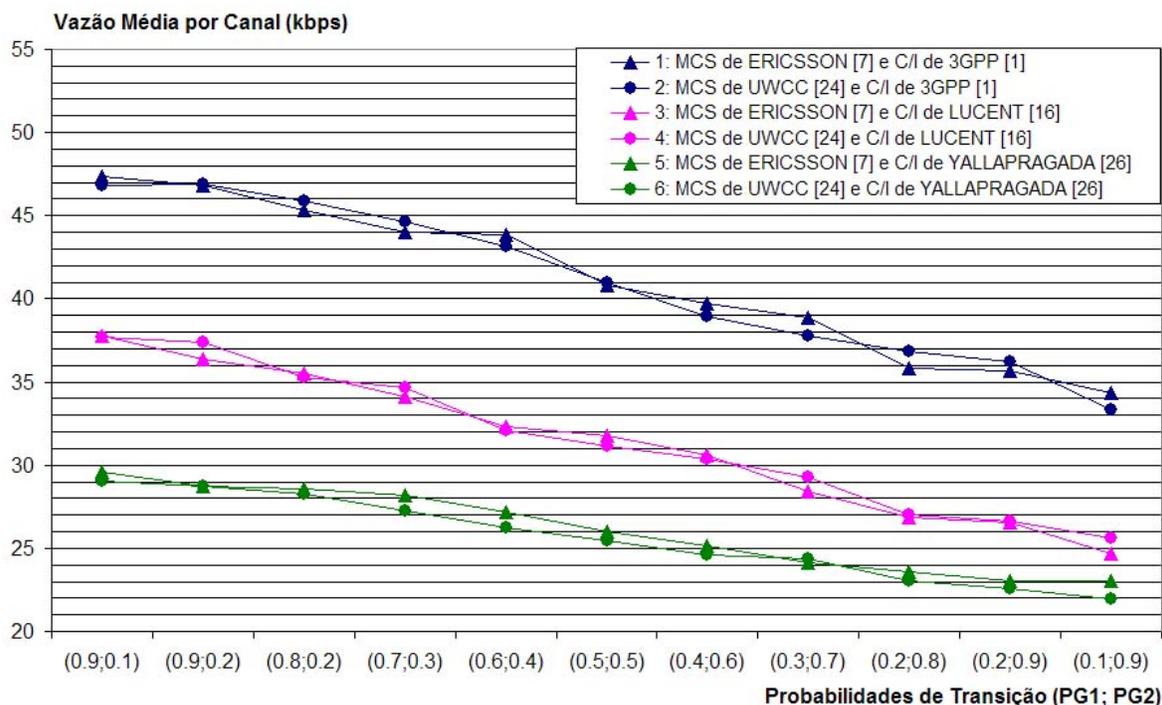


Figura 18: Vazão do EDGE com PG1 e PG2 variando (02 PDTCHs, TU-3 e arranjo 4/12).

Os resultados da figura 18 permitem inferir o comportamento do desempenho médio do EDGE na medida em que o usuário se desloca entre pontos próximos à BTS e pontos distantes a ela. Nele, as probabilidades de transição variaram gradativamente a fim de gerar 11 situações distintas. Durante a simulação, quanto maior é a relação PG1/PG2, maior é o tempo de permanência das estações no grupo G1, ou seja, maiores são as médias da razão C/I observadas e, conseqüentemente, melhor é o desempenho do sistema.

Em resumo, pode-se dizer que os canais simulados no modelo *EDGE_Channel* devem oferecer taxas que variam de **22 e 47 kbps** dependendo da localização do usuário no setor e das condições de interferência do meio.

Para as simulações das curvas da figura 19, as probabilidades de transição PG1 e PG2 permaneceram fixas em 0.1. Tais probabilidades refletem a tendência normal de um usuário que se desloca a pé que é a de não observar grandes variações nas condições de propagação com relação às suas condições iniciais.

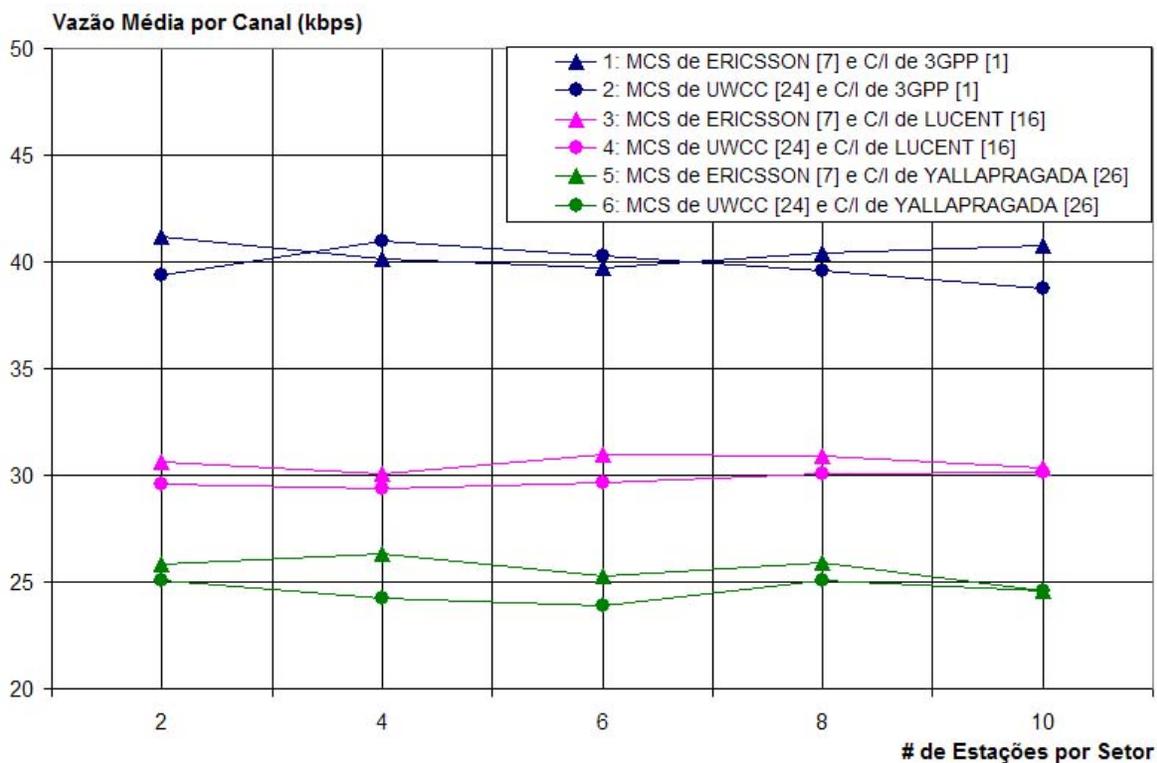


Figura 19: Vazão do EDGE com PG1 e PG2 fixas em 0.1 (02 PDTCHs, TU-3, arranjo 4/12).

O aumento do número de estações que compartilham os recursos da célula tende a aumentar os níveis de interferência. Tal degradação é mais sentida em arranjos críticos como o 1/3 e 3/9. Para o arranjo 4/12, admitiu-se que o único efeito da inclusão de uma nova estação na célula é a diminuição proporcional do número de *slots* por unidade de tempo disponível por estação. A vazão média do sistema permanece praticamente constante como pode ser visto acima. É claro que a escolha da curva que define a distribuição dos valores de C/I tem influência determinante no desempenho medido. Por outro lado, a escolha da curva de desempenho do MCS não possui grande influência no resultado, uma vez que seus valores não devem variar muito de uma fonte para outra [7, 8, 24].

Tendo o modelo *EDGE_Channel* apresentado resultados satisfatórios, o próximo passo foi simular a aplicação através do modelo *PoC_Max*.

5.3.2. Modelo para o serviço *Push-to-Talk over Cellular (PoC_Max)*

O modelo *PoC_Max* é composto por 04 tipos de objetos. O primeiro objeto modela o comportamento da infra-estrutura de rede terrestre (*Core*), o segundo, define o comportamento das ERBs e BSCs (*BSS*), o terceiro, baseado no modelo *EDGE_Channel*, define o comportamento da interface aérea EDGE (*CH*) e, finalmente, o quarto objeto define o comportamento das estações clientes (*MS*). Na figura 20, duas células da rede EGPRS simulada estão representadas.

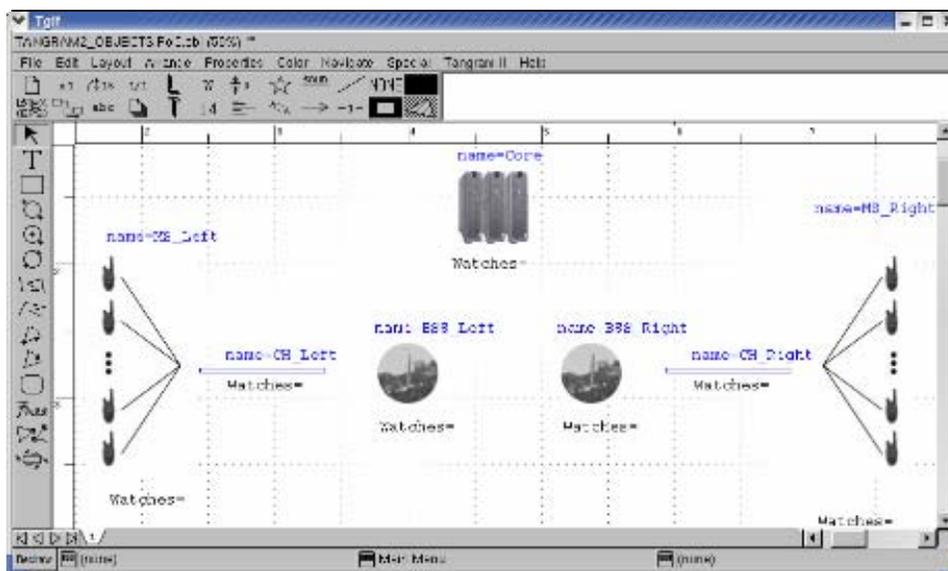


Figura 20: Imagem do modelo *PoC_Max* na plataforma TANGRAM.

Considera-se que a simulação começa do ponto em que todas as estações já estão conectadas à rede (autenticadas, etc) e que já existe um contexto PDP criado para sinalização e troca de mensagens de voz. As simulações foram feitas de forma que cada sessão PoC tivesse apenas 02 estações participantes, uma em cada célula do modelo. *MS_Left* é o objeto que modela o comportamento de todas as estações que pertencem à célula da esquerda e *MS_Right* é o objeto que modela o comportamento de todas as estações que pertencem à célula da direita.

5.3.2.1. Simulação das Sessões

Os eventos e mensagens da simulação foram modelados no *Tangram-II* com base na sinalização recomendada pela padronização deste serviço [19].

No início todas as estações, em ambas as células, estão livres para iniciar uma sessão, ou seja, as estações estão no estado *INACTIVE*. Algumas estações solicitam permissão para falar à rede através do evento *push_button* e passam ao estado *WAIT_TBF_ASSIGN*. Após a ativação do TBF, a estação solicita permissão de acesso ao meio através do evento *floor_request* e passa ao estado *REQUEST_PENDING*. O evento *floor_granted* indica que a estação passou para o estado *TALKER*. Além disso, como consequência do evento *push_button*, seus respectivos pares (do outro “lado” do modelo), após receberem da rede uma mensagem *FLOOR_TAKEN*, passam ao estado *LISTENER*.

Um participante no estado *TALKER*, após terminar a transmissão de toda a sua rajada através de sucessivas ocorrências do evento *upload_rlc_blocks*, passa ao estado *WAIT_RESPONSE* e assim permanece até receber uma mensagem *FLOOR_TAKEN* da rede, momento a partir do qual passa ao estado *LISTENER*. Um participante no estado *LISTENER*, após receber uma mensagem *FLOOR_RELEASE* da rede (indicando que o último pacote de um fluxo foi recebido), passa ao estado *RELEASE_PENDING* e, após receber uma mensagem *FLOOR_IDLE* da rede (indicando que o meio está livre), passa ao estado *INACTIVE*. Assim, durante a simulação os papéis de *LISTENER* e *TALKER* se alternam.

As rajadas alternadas vão sendo transmitidas entre as duas células através de sucessivas ocorrências do evento *upload_rlc_blocks* e *download_rlc_blocks*. Estes eventos simulam o processo de envio dos pacotes através da interface aérea com esquemas de codificação e modulação que variam de acordo com as curvas de

distribuição da relação C/I utilizada. O evento *set_talkburst* é responsável pela geração das rajadas e formação dos pacotes nas estações.

Um participante, após L segundos no estado *INACTIVE*, transmite uma rajada de W kbits sendo L modelado por uma variável aleatória com distribuição *log-normal* e W modelado por uma variável aleatória com distribuição *weibull* (tabela 5).

Desta forma o simulador garante as regras da comunicação *PoC* onde um participante, após passar para o estado *LISTENER* não poderá tentar iniciar uma transmissão até retornar ao estado *INACTIVE*. Por outro lado, um participante no estado *TALKER*, após terminar a transmissão de uma rajada, não poderá tentar transmitir outra rajada antes de passar pelo estado *LISTENER*. Apenas no início da simulação, quando todas as estações estão no estado *INACTIVE*, algumas estações passam diretamente deste estado para o estado *LISTENER*. Como não foi implementada a colisão entre chamadas, a mensagem *FLOOR_GRANTED* não existe. Ou seja, quando um evento em uma estação solicita o meio, simultaneamente a estação do outro lado do modelo é bloqueada através de uma mensagem.

Na figura 21, as curvas pontilhadas representam as mensagens enviadas pela rede (BSS) para a estação e as curvas contínuas representam a ocorrência de eventos disparados no terminal (MS) durante a sessão.

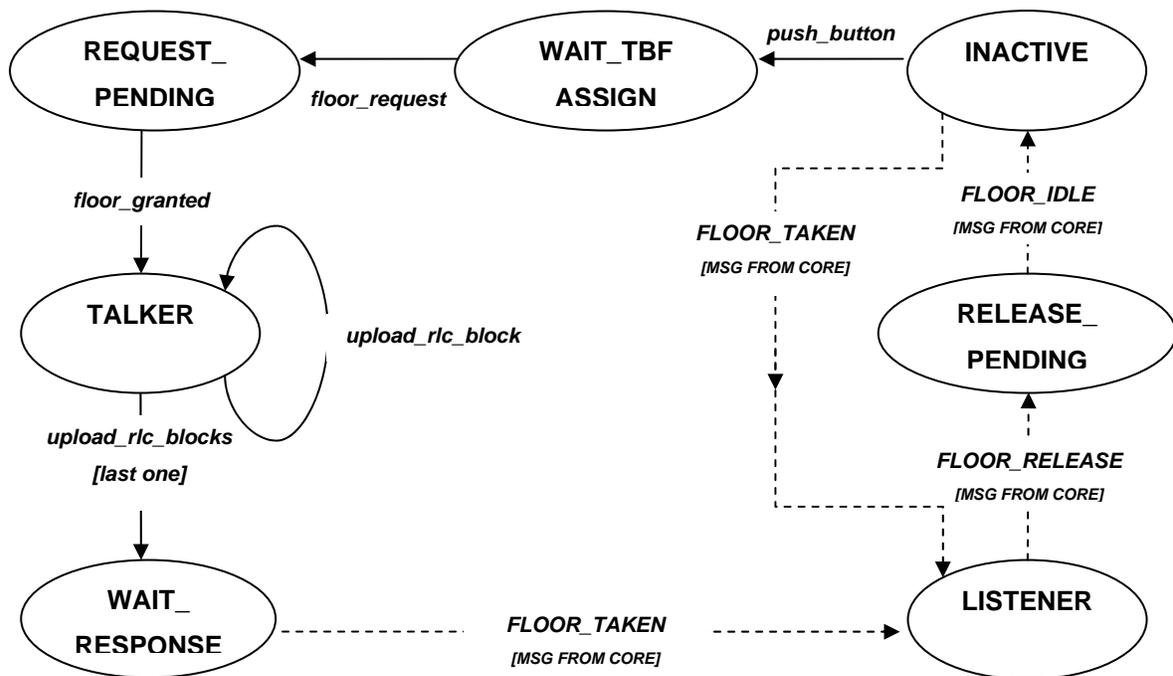


Figura 21: Diagrama de estados das estações em uma sessão PoC.

5.3.2.2. Formação dos Pacotes de Voz

Após a geração da fala, a rajada de tamanho variável é dividida em quadros (ou *frames*) de 20 ms de voz (160 amostras a 08 KHz) que são codificados e agrupados para formar pacotes que receberão cabeçalhos RTP, UDP e IP (com 12, 8 e 20 bytes, respectivamente). O número de quadros enviados por pacote pode variar, mas não deve ser grande a ponto de que o atraso fim-a-fim notado pelos usuários se torne maior que o tolerável. No caso do PoC, os requisitos de atraso são menos rigorosos, o que permite enviar um número maior de quadros de voz por pacote que em aplicações VoIP tradicionais. Segundo BALAZS [2], o número máximo de quadros por pacote, para que os recursos necessários sejam de 01 *slot* GPRS, é de 08. De acordo com o padrão, o número de quadros enviados por pacote em uma sessão PoC (denominado *PTIME*) não deve ser maior que 20 [19].

Outro fator muito importante no modelo é a detecção do silêncio em cada rajada. Neste trabalho o silêncio e a voz em cada *talkburst* são representados de acordo com o modelo de BRADY [3] cujos resultados demonstram que aproximadamente 60% da fala é composta por silêncio. Alguns trabalhos mais recentes procuraram demonstrar que tal abordagem não é adequada para o caso de codificadores mais modernos utilizados em aplicações de voz sobre IP [12]. Por simplicidade, como tal discussão não é o foco deste trabalho, os resultados propostos por BRADY [3] foram utilizados de forma simplificada, de forma semelhante ao que foi feito em [22], o que deve ser considerado na análise dos resultados.

5.3.2.3. Sinalização

Na prática, os principais limites de atraso na sinalização PoC foram definidos conforme a tabela 4.

A qualidade do serviço PoC está diretamente relacionada ao estabelecimento, modificação e finalização das sessões (*session control*). Em especial, o tempo necessário para o estabelecimento das sessões, diretamente ligado à banda requerida pelas mensagens de sinalização SIP, é um fator determinante na qualidade percebida pelos usuários. No caso mais comum, os dados só podem ser enviados depois que o participante “chamado” é atingido pela sinalização (*late media*). Opcionalmente, o padrão admite a implementação de um serviço em que a primeira rajada pode ser enviada durante o processo de sinalização (*early media*) correndo-se o risco de a sessão não ser

de fato estabelecida e de o fluxo inicial não chegar ao destino. A sinalização comprimida com *SigComp* pode chegar à razão de 65 a 76%. Os resultados variam de acordo com a dinâmica das sessões o que influencia o número e o tipo das mensagens SIP.

Tabela 4: Recomendações para o atraso de sinalização no PoC [19].

Descrição do Fluxo de Sinalização		Atraso Máx.
Controle de Sessão	Envio de dados ainda durante a sinalização (<i>early media</i>).	2.0 s
	Envio de dados somente após todo o processo de sinalização (<i>late media</i>).	4.0 s
Acesso ao meio	Requisição do direito de falar (<i>floor request</i>).	1.6 s
	Liberação do meio (<i>floor release</i>).	0.8 s
Outros	Transferência fim-a-fim de cada pacote com voz codificada.	1.6 s
	Espera pela resposta do participante correspondente.	4.0 s

A sinalização necessária para o controle do acesso ao meio (*floor control*) acontece durante o andamento da sessão através de mensagens RTCP. As mensagens deste protocolo são relativamente menores (comparadas às mensagens SIP). Porém, o atraso de sinalização para o controle de qual participante possui o direito de falar (*TALKER*) e aviso a todos os outros (*LISTENERS*) sobre este fato, também é fator determinante na qualidade de uma sessão em andamento.

Para o modelo *PoC_Max* foi admitido que as sessões já estavam estabelecidas no momento inicial de cada simulação. O atraso de sinalização para o controle de acesso ao meio (*floor control*) durante a simulação foi suposto com distribuição exponencial com média igual aos valores obtidos por KIM [13], isto é, 0.7 segundos para a requisição do direito de falar (*floor request*) e 0.6 segundos para a liberação do meio (*floor release*).

5.3.2.4. Resultados

Neste trabalho, o principal resultado a ser obtido a partir do modelo *PoC_Max*, para determinar a capacidade de atender sessões simultâneas, foi o atraso experimentado por pacote desde a sua geração na origem (*TALKER*) até a chegada do último *byte* que o compõe no lado receptor (*LISTENER*). Segundo alguns autores, este é

o principal fator de qualidade de uma sessão PoC [8]. Como foi dito, tal atraso envolve a digitalização da voz, a geração dos pacotes, a cifragem e compactação da informação (na maioria dos casos), a codificação do canal e a transmissão através da rede (além de todo o processo inverso no lado receptor). O padrão recomenda que este atraso total não seja maior que 1.6 s.

A tabela 5 mostra todos os parâmetros utilizados nas simulações para a geração dos gráficos das figuras 22 a 33, cujos resultados permitem analisar o atraso fim-a-fim dos pacotes que compõem sessões *PoC* em uma rede EGPRS sob diferentes condições.

Tabela 5: Parâmetros para simulação do modelo *PoC_Max*.

Parâmetro	Descrição	Valor
Ativação do TBF	No sentido do <i>downlink</i> [8].	EXP (<i>mean</i> = 280 ms)
	No sentido do <i>uplink</i> [8].	EXP (<i>mean</i> = 360 ms)
Duração do TBF	Restabelecimento de um novo TBF a cada rajada.	01 <i>talkburst</i>
Atraso de Processamento	Propagação e processamento na rede terrestre.	EXP (<i>mean</i> = 280 ms)
	Processamento da voz nos terminais [2].	DET (180 ms)
Geração das rajadas de voz	Distribuição do evento “apertar o botão” para falar após passar para o estado INACTIVE (<i>push_button</i>).	LOG-NORMAL (<i>mean</i> = 4.0, <i>variance</i> = 0.5)
Tamanho das rajadas de voz	Distribuição do “tamanho de cada rajada” gerada a cada evento <i>push_button</i> .	WEIBULL (<i>scale</i> = 8.0, <i>shape</i> = 6.0)
Requisição do meio	Sinalização para requisição do “direito de falar” (<i>floor_request</i>) [13].	EXP (<i>mean</i> = 700 ms)
Liberação do meio	Sinalização para a liberação após falar (<i>floor_release</i>) [13].	EXP (<i>mean</i> = 600 ms)
Tamanho do quadro de voz	Quantidade de voz codificada por quadro. Em certas aplicações, pode variar de 10 a 50 ms.	20 ms
PTIME	Quadros de 20 ms de voz enviados por pacote.	08, 12, 16 e 20
Probabilidades PG1 e PG2	PG1 é a probabilidade de a estação passar para o grupo G1 estando no grupo G2.	0.1 e 0.2
	PG2 é a probabilidade de a estação passar para o grupo G2 estando no grupo G1.	0.1 e 0.2

Taxas AMR	Taxas de codificação AMR utilizadas.	4.75, 7.40 e 12.2 kbps
MCS	Referência utilizada para os valores de desempenho dos esquemas de codificação e modulação (MCS).	[7]
Modo DTX	Trechos de voz (<i>talkspurts</i>) em cada rajada (<i>talksburst</i>) codificados com AMR [3].	40%
	Trechos de silêncio (<i>gaps</i>) em cada rajada (<i>talkburst</i>) codificados com SID [3].	60%
# de Sessões	Crescente até a saturação da rede ou até o número máximo de 06 estações por canal.	02 a 12
# de Canais	Número de canais de tráfego por setor reservados às sessões PoC.	02
Duração da Simulação	Tempo total para a simulação das condições de cada ponto do gráfico.	450 s

Os valores médios que definem a “conversação” entre os participantes (médias das distribuições *log-normal* e *weibull*, percentagem de utilização do canal, etc) não devem variar durante as medições. Ou seja, a rigor, o comportamento do usuário durante a sessão (vontade de falar, tempo de reação após ouvir, etc) independe das condições do sistema (pelo menos até o ponto em que estas condições não afetam diretamente a qualidade do serviço). Assim, os valores médios medidos durante as simulações nos pontos abaixo da saturação (atraso menor que 1.6 s) são mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Caracterização da sessão PoC simulada.

Parâmetro	Descrição	Valor
Tempo de reação após ouvir	Valor médio da distribuição <i>log-normal</i> medido durante a simulação.	4,3 s
Tamanho de cada trecho de voz	Valor médio da distribuição <i>weibull</i> medido durante a simulação.	7,4 s
Distribuição do uso do meio (<i>floor</i>) durante a sessão	Tempo em que o participante “A” está falando e o seu par, “B”, está ouvindo.	35 %
	Tempo em que o participante “A” está ouvindo e o seu par, “B”, está falando.	35 %

O objetivo dos resultados apresentados nas figuras 22 e 23 foi o de verificar a diferença de desempenho entre uma adaptação de canal ideal e uma adaptação que

busque manter a BLER abaixo de 3%, mantendo-se constantes todos os outros parâmetros da simulação. Nestes casos, o valor de PTIME foi fixado em 12, a taxa de codificação AMR em 4.75 kbps e as probabilidades de transição em 0.1. A linha azul tracejada indica o ponto onde o atraso médio por pacote ultrapassa o máximo permitido que é de 1.6 segundos. Cada gráfico apresenta três curvas referentes ao comportamento das sessões de acordo com as referências dos valores da razão C/I.

Na figura 22, com LA ideal, a saturação do setor acontece a partir do momento em que há mais de 05 estações compartilhando cada canal, no caso da curva referente a YALLAPRAGADA [26]. Já na figura 23, onde a LA mantém uma BLER menor que 3%, a saturação já começa a ocorrer quando há 02 estações por canal. Ou seja, no gráfico da figura 23, mesmo para as melhores condições de propagação propostas por 3GPP em [1], o número máximo de estações por canal envolvidas em uma sessão PoC não pode ser maior que 03.

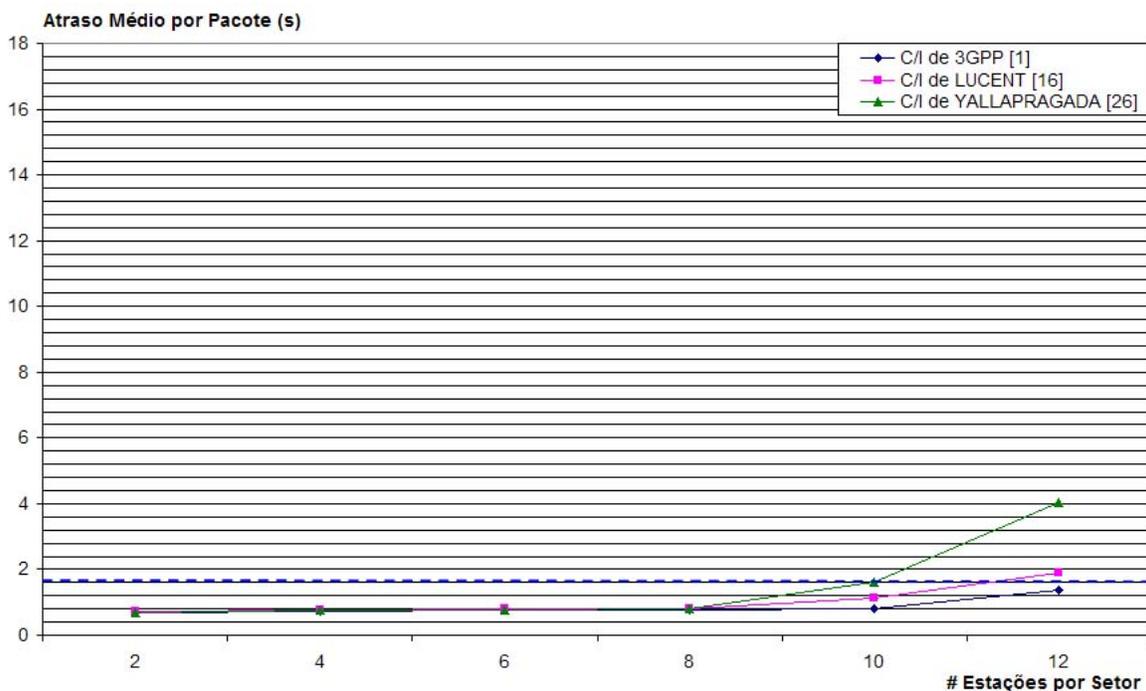


Figura 22: Sessões com AMR a 4.75 kbps, PTIME=12, PG1=PG2=0.1 e LA ideal.

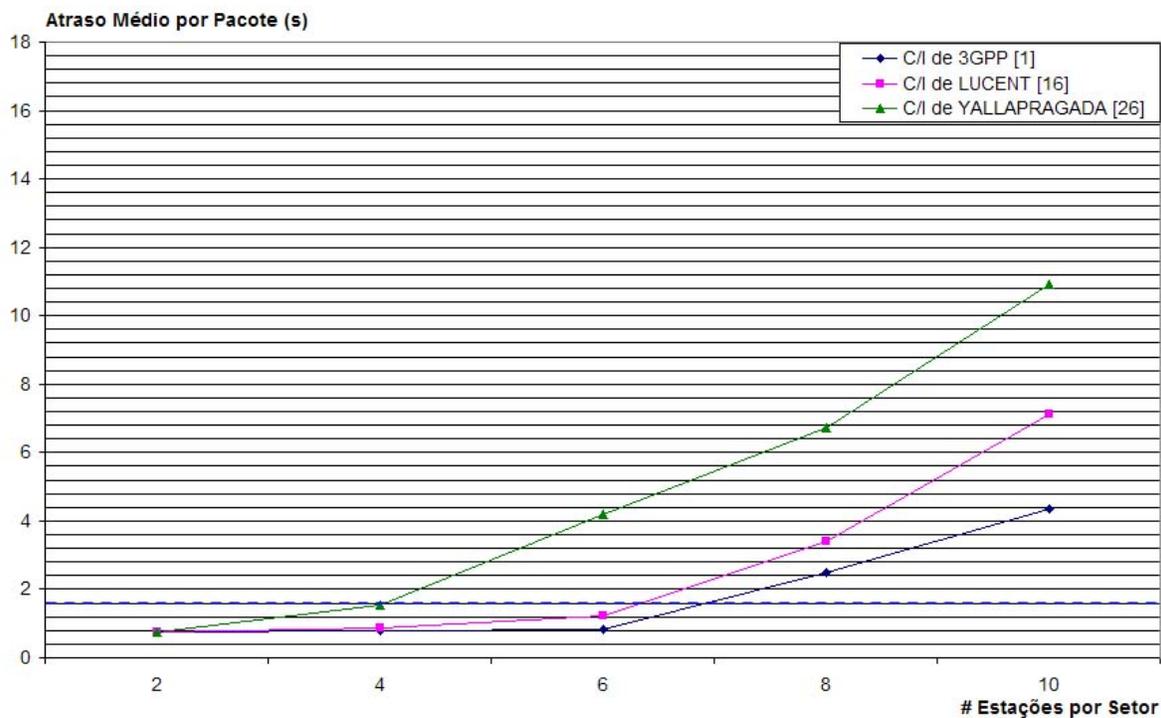


Figura 23: Sessões com AMR a 4.75 kbps, PTIME=12, PG1=PG2=0.1 e BLER < 3%.

O objetivo dos resultados apresentados nas figuras 24 a 27 foi observar o comportamento das sessões de acordo com o tamanho dos pacotes. Neste caso, os valores de PTIME variam entre 08, 12, 16 e 20, respectivamente. Em todos os gráficos as probabilidades de transição continuaram fixadas em 0.1 e foi considerada **LA ideal**. Cada gráfico apresenta três curvas referentes ao comportamento das sessões de acordo com as taxas de codificação AMR de 4.75, 7.40 e 12.2 kbps. Nos quatro casos, apenas a referência de LUCENT [16] para os valores de C/I foi utilizada.

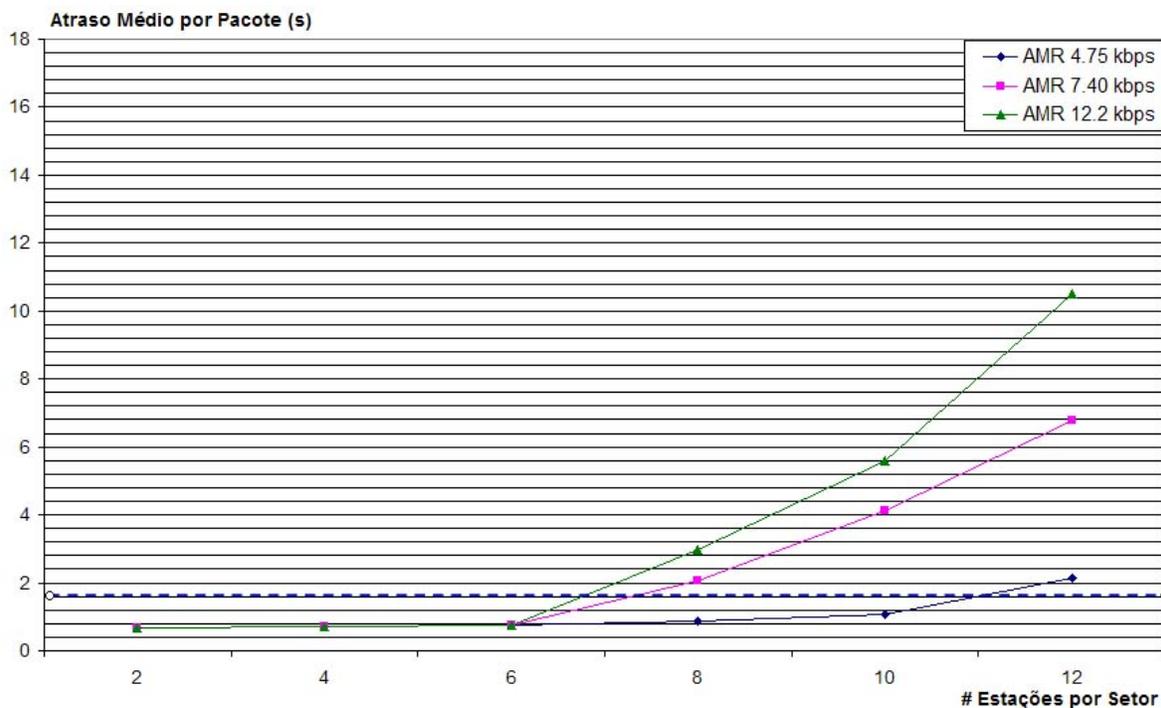


Figura 24: Sessões com PTIME=08, PG1=PG2=0.1, LA ideal e C/I de LUCENT [16].

Analisando estes resultados (figuras 24 a 27), pode-se notar que, na medida em que o PTIME cresce, os pacotes experimentam atrasos médios menores, mesmo acima do ponto de saturação. Com PTIME pequeno, o número de pacotes necessário para enviar a mesma quantidade de quadros de voz é maior. Isso implica diminuição na vazão média “útil” disponível por estação principalmente por causa do *overhead* dos cabeçalhos extras. Assim, nas condições das simulações destes quatro casos, o efeito benéfico da diminuição do *overhead* através do envio de quantidades maiores de quadros por pacote é maior que o efeito prejudicial causado pelo aumento do tamanho dos pacotes.

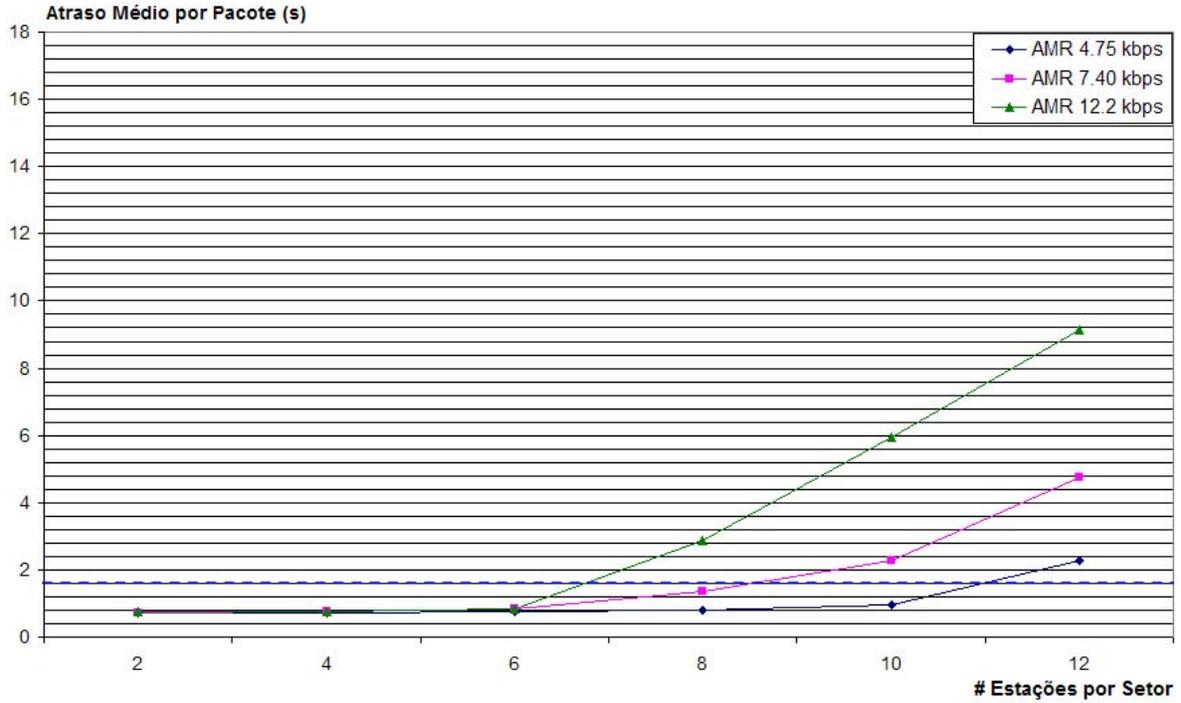


Figura 25: Sessões com PTIME=12, PG1=PG2=0.1, LA ideal e C/I de LUCENT [16].

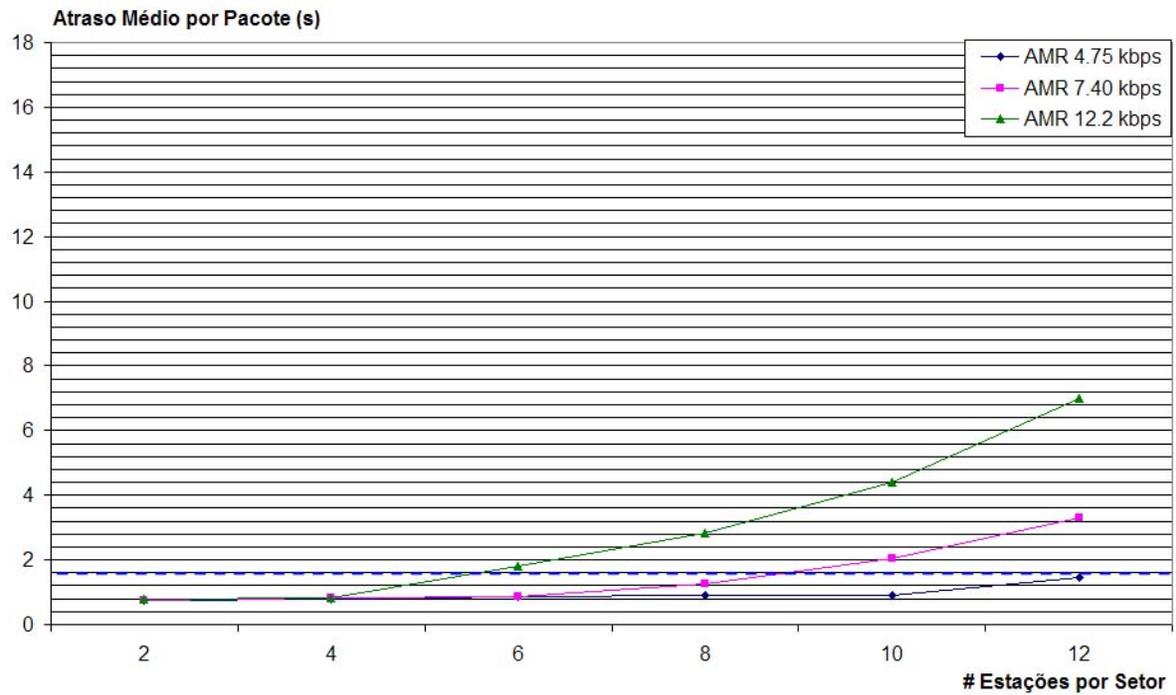


Figura 26: Sessões com PTIME=16, PG1=PG2=0.1, LA ideal e C/I de LUCENT [16].

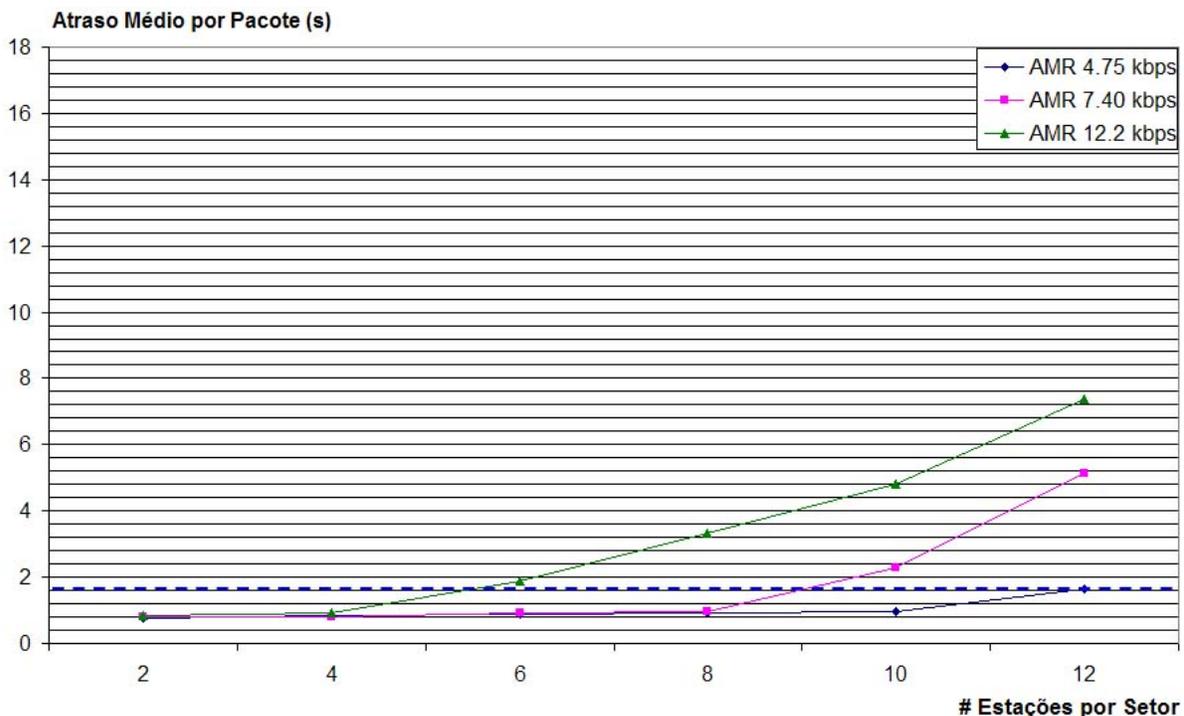


Figura 27: Sessões com PTIME=20, PG1=PG2=0.1, LA ideal e C/I de LUCENT [16].

As mesmas condições das figuras 24 a 27 foram implementadas nas figuras 28 a 31. Entretanto, nestes casos foi considerada adaptação de canal para uma **BLER menor que 3%** em vez da LA ideal. Pode-se chegar às mesmas duas conclusões já mencionadas acima: Em primeiro lugar, o aumento do PTIME continua sendo benéfico, pois os atrasos médios por pacote diminuem na medida em que ele cresce (ainda que de maneira menos sensível nestes quatro últimos gráficos). Em segundo lugar, a adaptação de canal visando a uma BLER menor que 3% diminui o número de estações possíveis compartilhando o mesmo canal EDGE dentro de uma sessão PoC.

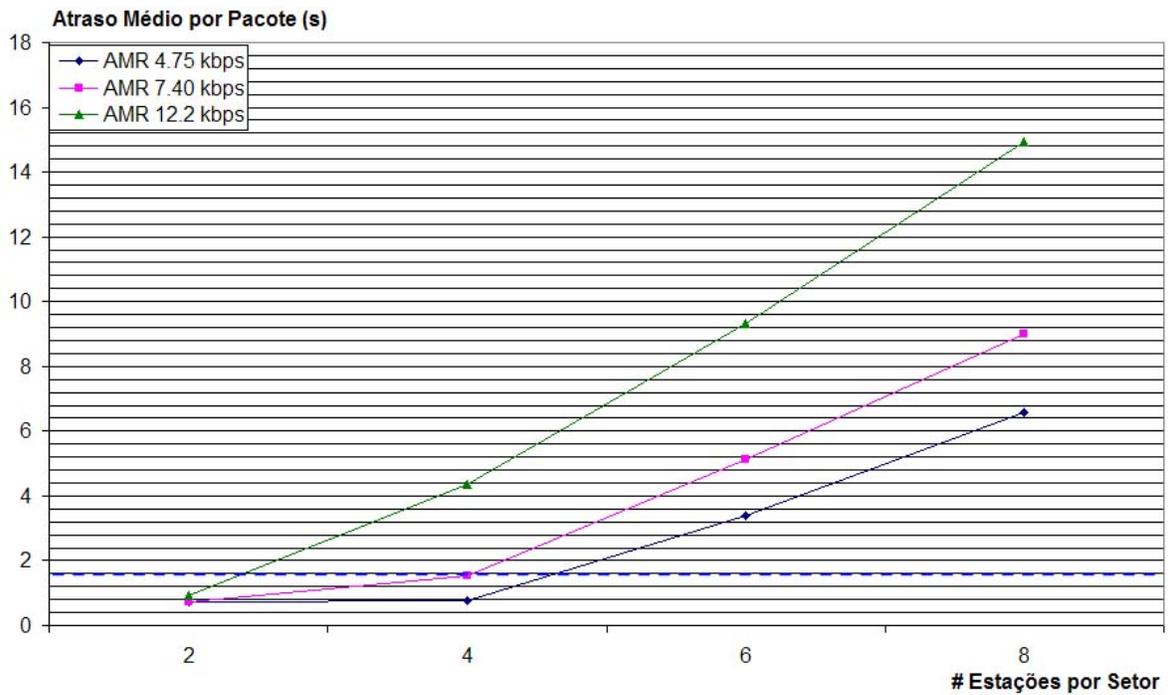


Figura 28: Sessões com PTIME=08, PG1=PG2=0.1, BLER < 3% e C/I de LUCENT [16].

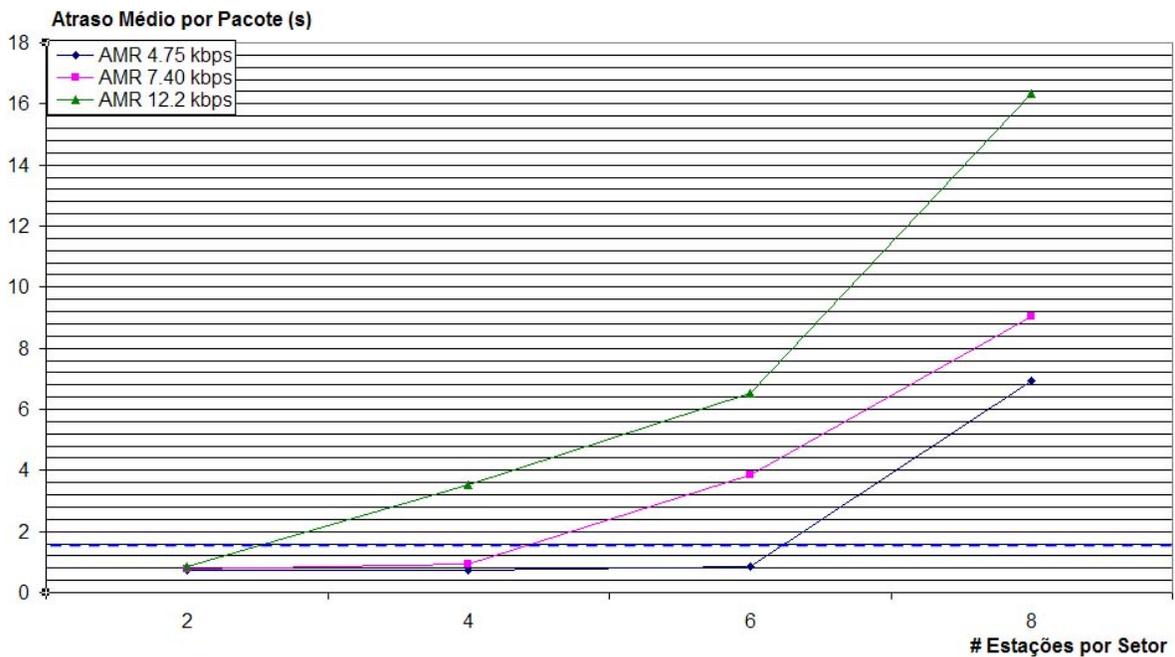


Figura 29: Sessões com PTIME=12, PG1=PG2=0.1, BLER < 3% e C/I de LUCENT [16].

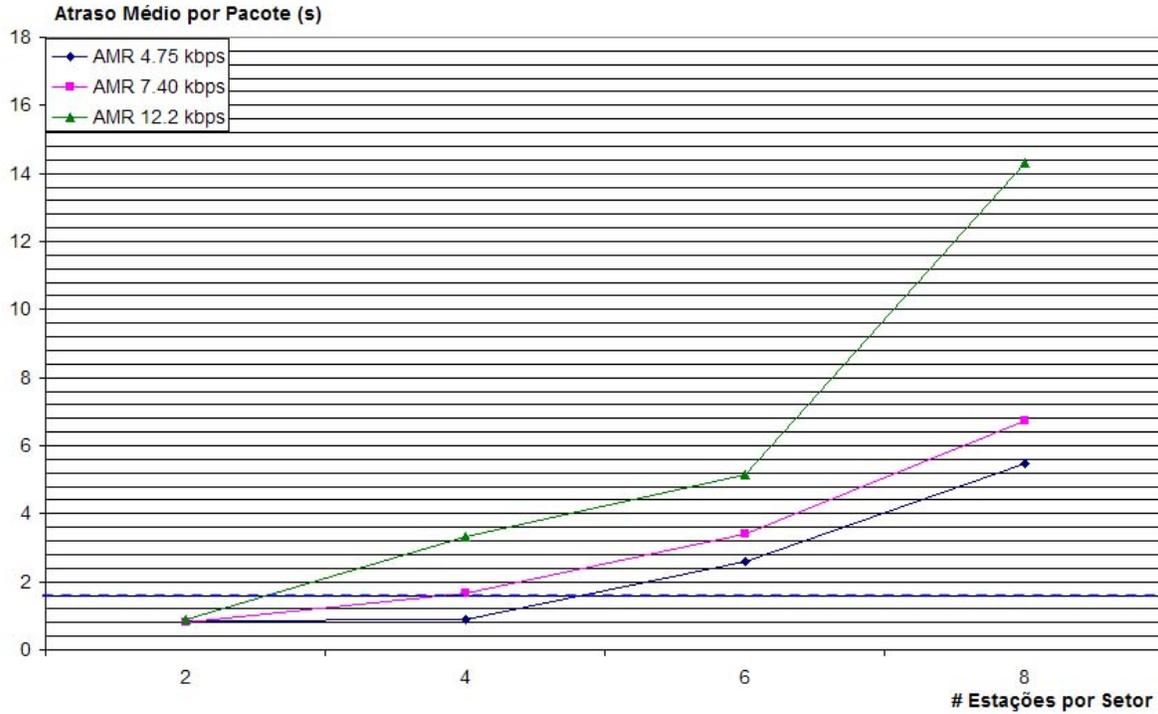


Figura 30: Sessões com PTIME=16, PG1=PG2=0.1, BLER < 3% e C/I de LUCENT [16].

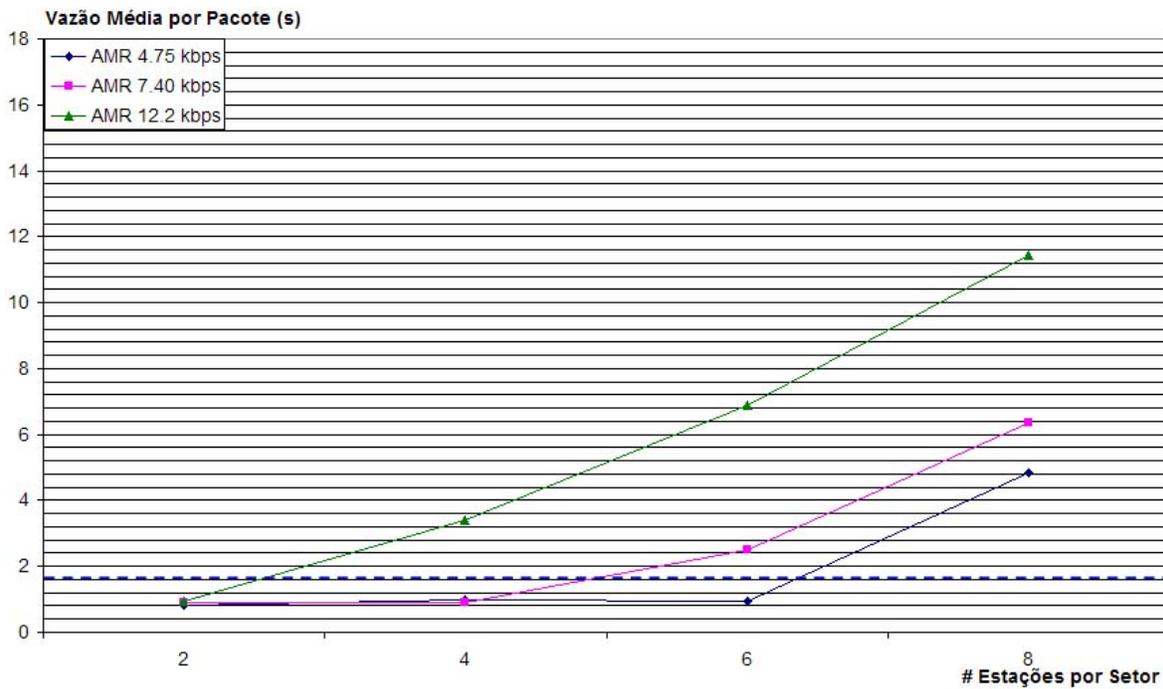


Figura 31: Sessões com PTIME=20, PG1=PG2=0.1, BLER < 3% e C/I de LUCENT [16].

O objetivo dos resultados apresentados nas figuras 32 e 33 foi o de observar o desempenho do sistema quando se varia a taxa de codificação AMR de acordo com as condições do meio. Para tanto, levou-se em consideração os valores da razão C/I fornecidos por LUCENT [16]. O valor do PTIME foi fixado em 12 e a taxa de codificação AMR variou entre os valores 4.75, 7.40 e 12.2 kbps. Cada gráfico possui duas curvas nas quais o que diferencia o comportamento das sessões é a escolha das probabilidades de transição (0.1 e 0.2).

Tabela 7: Pontos de chaveamento das taxas AMR de acordo com a razão C/I.

Taxa AMR (kbps)	Intervalo
AMR 4.75	$C/I \leq 14$
AMR 7.40	$14 < C/I < 21$
AMR 12.2	$21 \leq C/I$

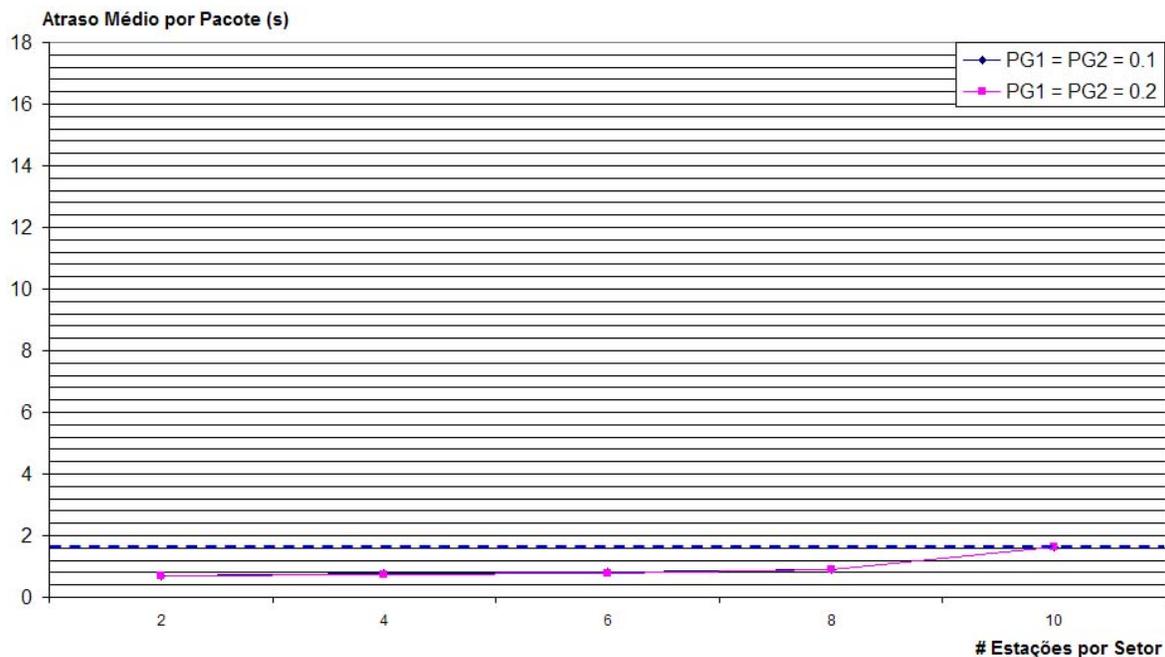


Figura 32: Sessões com AMR variável, PTIME=12, LA ideal e C/I de LUCENT [16].

Em ambos os casos, pode-se verificar que a utilização de AMR variável acaba por aumentar o atraso médio experimentado por pacote. Isso pode ser observado, por exemplo, comparando-se os resultados dos gráficos das figuras 32 e 33 com os resultados obtidos nos gráficos das figuras 22 e 23 considerando, naqueles casos, somente a curva referente aos valores de C/I dados por LUCENT [16]. Lá foi utilizado AMR fixo à taxa de 4.75 kbps, ou seja, baixa codificação mesmo com relação C/I alta.

Aqui, a qualidade das chamadas foi dinamicamente melhorada aproveitando-se as boas condições de propagação para enviar quadros com codificação mais alta. Porém, as taxas de codificação mais elevadas implicam pacotes maiores o que aumenta o atraso.

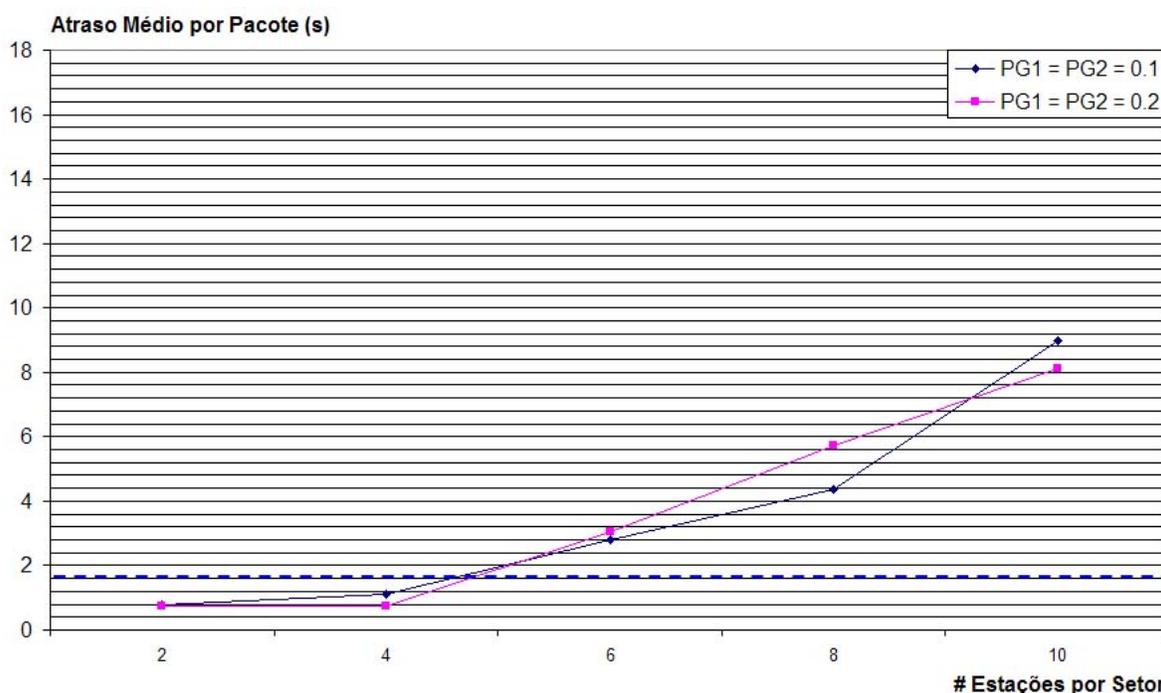


Figura 33: Sessões com AMR variável, PTIME=12, BLER < 3% e C/I de LUCENT [16].

Comparando-se os resultados dos gráficos das figuras 22 e 32 (ambos com **LA ideal**), vê-se que o número máximo de estações por canal foi igual a 05 no primeiro caso e 04 no segundo caso. Do mesmo modo, comparando-se os resultados dos gráficos das figuras 23 e 33 (**LA** para manter a **BLER abaixo de 3%**), o número máximo de estações por canal foi igual a 03 no primeiro caso e igual a 02 no segundo caso.

Todos os resultados apresentados até aqui se basearam no fato de que o evento *push_button* é modelado por uma função *log-normal* com média igual a 4.0 e variância igual a 0.5. Estes valores refletem uma alta interatividade entre os participantes da

sessão. As simulações demonstraram que neste caso o usuário ou está ouvindo ou está falando em aproximadamente 70% do tempo.

Além disso, segundo JARVINEN [27], a codificação AMR à taxa de 12.2 kbps pode ser utilizada em meios onde a razão C/I é igual ou maior a 12 oferecendo níveis satisfatórios de qualidade na chamada.

Tabela 8: Pontos de chaveamento das taxas AMR de acordo com a razão C/I [27].

Taxa AMR (kbps)	Intervalo
AMR 4.75	$C/I < 07$
AMR 7.40	$07 \leq C/I < 12$
AMR 12.2	$12 \leq C/I$

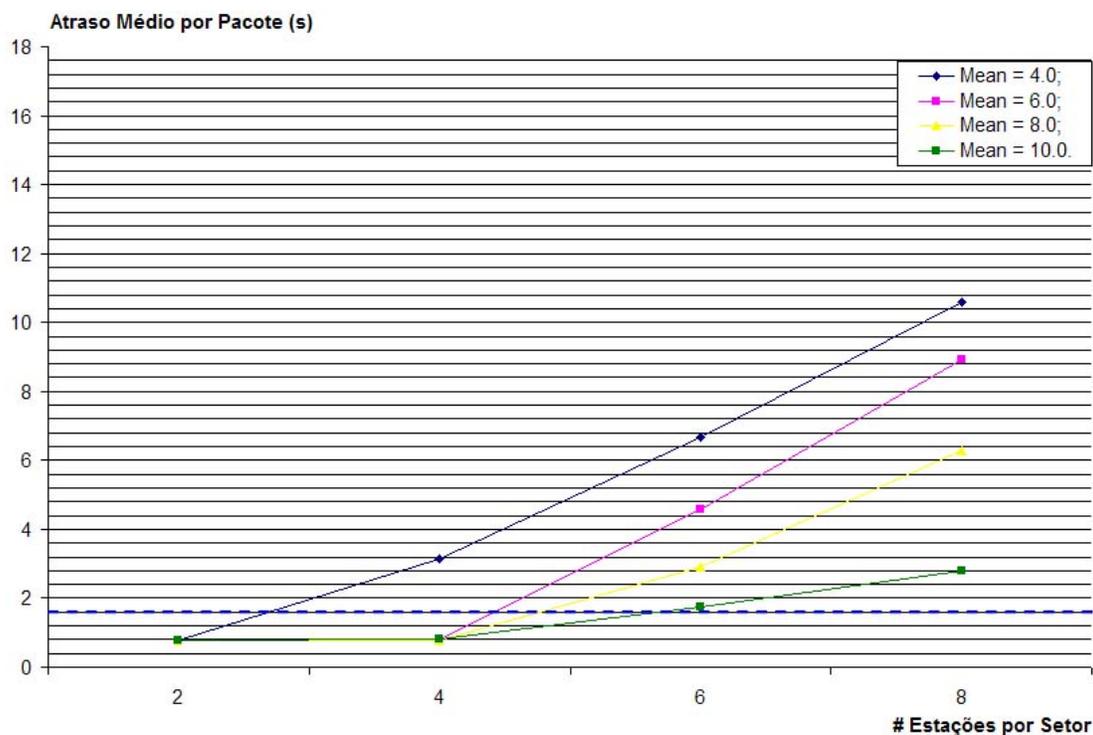


Figura 34 Sessões com taxa de codificação AMR variando de acordo com JARVINEN [27] (PG1=PG2=0.1, PTIME=12, BLER < 3% e C/I de LUCENT [16]).

O objetivo dos resultados apresentados na figura 34 foi o de demonstrar o efeito da variação da média da distribuição *log-normal* no desempenho do sistema. Assim, os pontos de chaveamento da tabela 7 foram substituídos pelos os pontos de chaveamento da tabela 8.

Comparando-se a curva azul (*mean* = 4.0) das figuras 33 e 34 (BLER menor que 3%), vê-se que o número máximo de estações por canal diminui de 02 para apenas 01 por causa do maior tráfego gerado quando se utiliza a taxa de 12.2 kbps por mais tempo.

Por outro lado, na medida em que a interatividade entre os usuários diminui, o atraso médio por pacote também diminui. Esse comportamento é modelado através do aumento na média da distribuição *log-normal*. Na figura 34, quando este parâmetro é igual a 10.0 (curva verde), o número de estações permitidas por canal volta a ser igual a 02 por causa do fato de que os usuários estão gerando um número menor de rajadas de voz (*talkbursts*) por unidade de tempo.