

Avaliando a Capacidade de uma Rede de Terceira Geração UMTS/WCDMA quando Submetida a Tráfego Multimídia

Paulyne Jucá¹, Arthur Callado¹, Judith Kelner¹, Djamel Sadok¹

¹Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Caixa Postal 7.851 – 50.732-970 – Recife – PE – Brazil

{pmj, acc2, jk, jamel}@cin.ufpe.br

Abstract. *This paper presents a study on the behavior of the UMTS third generation cellular system using the WCDMA interface with multimedia applications. A simulator was developed and its main characteristics are described. Based on the simulator, an evaluation of the capacity of a one-cell UMTS network with multimedia traffic was performed, involving variable number of users, types of network traffic (voice, video and Web) and different speeds.*

Resumo. *Este artigo apresenta um estudo sobre o comportamento de uma rede de sistemas celulares de terceira geração UMTS com interface aérea WCDMA quando submetida a tráfego multimídia. Um simulador foi desenvolvido e suas principais características estão descritas nesse trabalho. Baseada no simulador, foi feita uma avaliação da capacidade de uma célula de uma rede UMTS com tráfego multimídia, com um número variável de usuários, sendo estes com diferentes características de tráfego (voz, vídeo e Web) e velocidade.*

Palavras-chave. *WCDMA, UMTS, simulador.*

1. Introdução

Na sociedade atual, o celular é um artigo comum na maioria das casas. Seu uso está difundido até nas camadas sociais mais baixas. Mas os aparelhos atuais ainda estão longe de ser os comunicadores exibidos nos seriados dos anos 70. As telas, em sua maioria, ainda não são coloridas e ainda não se pode ver o rosto da pessoa com quem falamos. Isso ocorre, pois a capacidade de transmissão das redes atuais ainda é muito limitada e a memória dos aparelhos também é restrita. Aplicações que geram grande quantidade de dados em tempo-real não podem funcionar nos celulares atuais.

Para suportar o uso de aplicações que necessitam de mais capacidade, os sistemas celulares evoluíram. Novas aplicações surgiram e vários novos serviços ainda estão por vir. Os aparelhos estão evoluindo rapidamente e já se vêem vários aparelhos que são uma mistura de celulares com outros dispositivos, tais como: computadores de mão (PDA/Palmtop), câmeras fotográficas, GPS.

O objetivo desse trabalho é fazer uma avaliação do comportamento de um sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) [6], [14] utilizando a interface aérea WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) com tráfego

multimídia (voz, vídeo ou web). Para isso, um simulador UMTS com interface aérea (WCDMA) foi construído utilizando a ferramenta de simulação SIMSCRIPT II.5 [4].

A principal contribuição desse trabalho é possibilitar uma avaliação prévia do comportamento das novas aplicações no UMTS, sem que para isso seja necessária a implantação efetiva da rede, reduzindo custo e tempo.

2. Trabalhos Relacionados

Alguns dos maiores centros de pesquisa do mundo na área de telecomunicações possuem trabalhos relacionados com o WCDMA. Entretanto, infelizmente vários trabalhos [15], [9], [16] são anteriores ao início da padronização do WCDMA, portanto incompletos ou incorretos, enquanto outros [2], [10] são patrocinados ou produzidos pelas grandes empresas (e.g., Nokia e Ericsson) e são ferramentas proprietárias, de código fechado, dos quais apenas alguns resultados obtidos foram publicados.

Um objetivo secundário deste estudo é a produção de uma ferramenta de avaliação de código aberto passível de expansão e evolução, disponível em [12].

Este trabalho foi principalmente baseado nas especificações do sistema UMTS [6] e da interface aérea WCDMA [6][10]. O sistema UMTS como um todo, sua arquitetura, os tipos de canais e seus mapeamentos em canais de transporte, os tipos de modulação empregados, o funcionamento da camada MAC, da camada RLC (*Radio Link Control*) e da camada PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) são definidos por diversos documentos de especificação e serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho. Por falta de espaço, as especificações utilizadas não serão citadas, mas podem ser encontradas em [6] e sua relação com o trabalho é explicitada em [12].

3. O Simulador Implementado

O simulador implementado é um subconjunto de um sistema UMTS/WCDMA. Como a interface aérea representa o grande gargalo da rede em se tratando de limite de capacidade, de forma a simplificar o modelo somente os canais utilizados pelos elementos dessa simulação foram implementados, já que os demais ficariam sem uso.

A idéia deste simulador é avaliar o comportamento da rede quando um usuário começa a receber tráfego diferente de voz. Isto consiste em receber o usuário de teste na célula, que pode ser o receptor de tráfego de vídeo ou web, e só a partir daí receber os usuários de voz que serão admitidos conforme a capacidade que ainda esteja disponível na rede. Nesta versão do simulador, apenas os canais utilizados pelos tráfegos de voz, vídeo e *web* no sentido *downlink* foram implementados. Tanto usuários de teste quanto usuários de voz num cenário trafegam na mesma velocidade.

Este trabalho não fez uso do controle de mobilidade porque considera uma célula para efeito de suas simulações. Dessa forma, a sinalização é considerada um percentual do tráfego [10] e assim foi tratada nesse trabalho. Os usuários foram considerados sempre a uma distância uniforme da antena eliminando o controle de potência.

O controle de admissão de usuários merece ser detalhado (seção 3.3.), pois o número de usuário admitido varia segundo diversos parâmetros (ver Tabela 2). Assim, o número máximo de usuário de voz simultâneo aceito pelo sistema cai quando um usuário de dados (vídeo ou web) aumenta a taxa de transmissão ou a velocidade.

Na literatura [2], [9], [10], [6] encontram-se várias tabelas de erro específicas para o tipo de tráfego e a velocidade do usuário utilizados, levando em consideração também o fator de espalhamento usado e a quantidade de usuários ativos num determinado instante no cenário. Para otimizar o espaço neste artigo, as tabelas foram retiradas e podem ser visualizadas em sua totalidade em [12].

É interessante notar que para usuários do tipo vídeo ou web, não existe controle de admissão. Eles são considerados usuários de teste e existe apenas um funcionando do início até o fim da simulação. Os usuários do tipo voz existem para representar a carga do sistema e são considerados como tráfego de segundo plano (*background*). Assim, o usuário de teste age durante toda a simulação e os usuários de voz têm um tempo certo (distribuição exponencial com média de 2 minutos) de funcionamento. Os detalhes dos modelos de tráfego utilizados serão descritos na próxima seção.

3.1. Tipos de Tráfego Utilizados

Os tráfegos considerados no modelo são de três tipos:

- Voz [1]: Fonte Markoviana de dois estados: On/Off – (12,2 Kbps para On, 0 para Off, com duração média de 3 segundos em cada fase). A chamada tem duração média de 120 segundos e mínima de 10 segundos.
- Vídeo (Baseado em [3], [7]): 64Kbps Variable Bit Rate (VBR), com cada base gerada em intervalos de 1 segundo.
- Web [1]: Modelo Pareto (segundo a distribuição de Pareto). O tamanho do arquivo varia de 1858 bytes a 5.000.000 bytes, com média de 12.000 bytes. O arquivo é dividido em pacotes IP de tamanho máximo 1500 bytes. O intervalo entre os pacotes IP segue uma distribuição exponencial de média 50 ms; isso permite uma taxa de transmissão de até 240 kbps. O tempo de leitura da página pelo usuário (tempo entre requisições) segue uma distribuição exponencial com média de 12 segundos (é possível que mais de 1 arquivo esteja sendo baixado num dado instante).

3.2. Mapeamento de Tráfego nos Canais Implementados

A Tabela 1 ilustra o mapeamento dos diversos tipos de tráfego em canais lógicos, canais de transporte e canais físicos.

Tabela 1: Mapeamento de Tráfego em Canais

| Tipo de Canal | Voz e Vídeo | WEB |
|---------------------|--|---|
| Canal Lógico | Dedicated Traffic Channel (DTCH) | Dedicated Traffic Channel (DTCH) |
| Canal de Transporte | Dedicated Channel (DCH) | Forward Access Channel (FACH) |
| Canal Físico | Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)/Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) | Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH) |

A probabilidade de que um pacote seja recebido com erro varia dependendo da velocidade do usuário, do fator de espalhamento e do canal físico utilizado. As tabelas utilizadas foram baseadas no estudo de [8] e na capacidade de transmissão de cada *slot* segundo o fator de espalhamento utilizado. Para maiores detalhes ver [12].

3.3. Capacidade e Taxa de Bloqueio

A capacidade do sistema WCDMA varia de acordo com as características da célula no momento. Vários fatores influenciam a capacidade total da célula e entre elas estão: o número de usuários ativos na célula, o tipo de tráfego desses usuários, a velocidade de locomoção desses usuários, o ruído e a interferência na célula entre outros. Com base nesses fatores é possível saber qual é a carga atual na célula e decidir se chamadas de novos usuários podem ser aceitas.

O fator de carga no *downlink* na célula pode ser calculado pela fórmula [10]:

$$F_c = \sum_{j=1}^N v_j \cdot \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} \cdot [(1 - \bar{\alpha}) + \bar{i}]$$

A Tabela 2 mostra os parâmetros do cálculo do fator de carga, e os valores utilizados por este simulador. Esses valores foram baseados nos trabalhos de [10], [13].

Tabela 2: Parâmetros de Definições do Cálculo do Fator de Carga

| Parâmetro | Definição | Valor Utilizado | | |
|----------------|---|---|--|--|
| N | Número de usuários ativos na célula | Variável em cada instante dentro da simulação. | | |
| v_j | Atividade do usuário j na camada física | 0.5 – voz 1.0 – vídeo 0.8 – <i>web</i> | | |
| E_b/N_0 | Relação sinal/ruído | Voz | Vídeo | WEB |
| | | A Pé: 6,5 ± 0,5 Carro: 5,5 ± 0,5 F1: 4,5 ± 0,5 | A Pé: 4 ± 0,5 Carro: 3 ± 0,5 F1: 2 ± 0,5 | A Pé: 3 ± 0,5 Carro: 2 ± 0,5 F1: 1 ± 0,5 |
| W | Taxa de <i>chips</i> do WCDMA | 3,84 Mcps | | |
| R_j | Taxa de bits do usuário j | 12.2 Kbps – voz 64 Kbps – vídeo 240 Kbps – <i>web</i> | | |
| α_j | Ortogonalidade do canal do usuário j | Depende da propagação (1: totalmente ortogonal e 0: não ortogonal) A Pé (0-10km/h): 0,9 ± 0,05 Carro (10-120km/h): 0,75 ± 0,05 F1 (>120km/h): 0,6 ± 0,05 | | |
| i_j | Interferência de outra célula sentida pelo usuário j | Depende da localização na célula. Aleatório entre 0,3 e 0,8. | | |
| $\bar{\alpha}$ | Média da ortogonalidade na célula | Calcular segundo os valores α_j | | |
| \bar{i} | Média da interferência de outra célula sentida pelo usuário | Calcular segundos os valores i_j | | |
| Carga | Carga máxima permitida para a célula | Pico – 2Mbps. Micro – 1560 Kbps. Macro – 660 Kbps. | | |

De acordo com [10], 20% da capacidade do downlink é alocada para canais de sinalização. O tamanho da célula tem relação com a velocidade máxima permitida e foi dessa forma percebida por este simulador. Assim, picocélulas estão relacionadas aos usuários de baixa mobilidade, i.e. a pé; microcélulas estão relacionadas aos usuários em veículos de baixa velocidade e macrocélulas aos veículos com velocidades mais altas.

Em qualquer sistema derivado do CDMA, cada usuário ativo utiliza um código de acesso ao sistema, de forma a filtrar do sinal recebido a mensagem destinada a ele. O número de códigos disponíveis é um fator limitante no controle de admissão de usuários. Como os usuários de voz (*background*) têm fator de espalhamento fixo em 128, o número de códigos disponíveis para todos os tipos de canais será 128. O número de códigos disponíveis para canais de tráfego de usuário assumido por este simulador foi de 100, devido à necessidade do uso de alguns códigos por canais de controle, além da necessidade de códigos livres para *handoff* (troca de célula). Assim, o simulador não admite um novo usuário (um usuário que tenta iniciar uma ligação na célula) quando houver 100 usuários ativos. Quando esse número for atingido, os novos usuários serão bloqueados independente da ocupação efetiva da célula. Para mais informações sobre a geração de códigos de acesso para usuários, ver [5].

Pela sua característica dinâmica, o controle de admissão foi uma tarefa bastante árdua na implementação desse simulador. Os valores assumidos foram baseados principalmente no trabalho de [10].

4. Avaliação

Utilizando-se o simulador implementado foi feita uma avaliação do comportamento de uma célula submetida a tráfego multimídia.

4.1. Variáveis dos Cenários de Simulação

Os cenários de simulação propostos por esse trabalho levam em consideração algumas premissas:

- Velocidade do usuário: influi na interferência do sinal e é um dos fatores importantes na escolha da tabela de erros a ser utilizada. Tipos: baixa (a pé – baixa interferência), média (veículo de baixa velocidade – considerado carro – interferência mediana) e alta (veículo de alta velocidade – considerado carro de fórmula 1 – alta interferência).

- Fator de espalhamento: Razão pelo qual o sinal vai ser “esticado” depois do processo de espalhamento ou canalização. Indica o número de *chips* por cada bit espalhado e influi na quantidade máxima de dados a ser transmitida por um usuário. Varia de 4 até 128 para usuários de vídeo, de 4 até 64 para usuários *web* e é igual a 128 para usuários de voz. Nesta versão, os fatores de espalhamento acima de 128, que permitiam o tráfego de pouca quantidade de dados úteis, foram desconsiderados. O espalhamento dos usuários de voz é fixo em 128 por duas razões: a primeira é a pequena taxa de transmissão desse tipo de usuário. A segunda é que a quantidade de códigos é um fator limitante do sistema e quanto maior o fator de espalhamento, mais códigos estão disponíveis. Com espalhamento 128, mais usuários de voz poderiam ser aceitos no sistema num mesmo instante.

- Número de usuários no instante: Também influencia na interferência e é um fator importante na determinação da probabilidade de perda (BER – bit error rate, BLER – block error rate) de um determinado usuário.

- Tipo de tráfego: regula a quantidade de dados gerada pelo usuário. Tipos: voz, vídeo e *Web*.

4.2. Os Cenários Utilizados

Os cenários utilizados foram:

- Usuário a pé, de carro e em fórmula 1; transmitindo vídeo com fator de espalhamento 4, 8, 16, 32, 64 e 128;
- Usuário a pé, de carro e em fórmula 1; transmitindo *web* com fator de espalhamento 4, 8, 16, 32, 64;

Todos os cenários foram simulados com carga de 2000, 3000 e 4000 usuários de *background* distribuídos uniformemente no tempo da simulação.

4.3. Obtenção dos Dados

Conforme visto, cada cenário de simulação é composto por variações de diversos parâmetros. Cada parâmetro alterado implica em uma nova rodada de simulações. Assim, foram realizadas dezenas de conjuntos de experimentos. Para cada velocidade dos usuários em cada tipo de tráfego, temos vários fatores de espalhamento possíveis (4, 8, 16, 32, 64 e 128). Cada possibilidade tem que ser simulada várias vezes para obtermos garantias estatísticas, dando coerência e consistência nos resultados [11]. Nesse trabalho, cada possibilidade foi executada 100 vezes para validar estatisticamente os resultados com um nível de confiança de 90% e margem de erro menor que 10%.

Cada ponto nos gráficos que se seguem são resultados da média de 100 iterações. O desvio padrão calculado em função do nível de confiança de 90% é representado pela barra horizontal desenhada sobre o ponto da média de cada variável.

Para a melhor visualização dos resultados os gráficos foram gerados de forma que contivessem os resultados dos diversos cenários com usuários se locomovendo a pé, de carro e em fórmula 1. Assim, a comparação é mais fácil, uma vez que as diferenças são claramente percebidas.

4.4. Resultados Obtidos nos Cenários de Vídeo

Nesta seção mostraremos os resultados dos cenários com Vídeo.

4.4.1. Sobrecarga



Figura 1. Sobrecarga do Usuário de Vídeo com 2000 Usuários de Voz

É possível observar que o fator de espalhamento influencia em muito a sobrecarga (razão entre tamanho dos cabeçalhos e dados transmitidos) do sistema, pois com fator de espalhamento maior, a quantidade de dados enviados diminui, mas o tamanho do cabeçalho pouco se altera. Assim, a quantidade de dados úteis enviados reduz bastante. A velocidade não influi na sobrecarga, pois o tamanho do pacote enviado não varia.

É importante perceber que a sobrecarga de cabeçalhos para o fator de espalhamento 128 é em média igual a 50%, o que é uma taxa muito elevada. Os resultados obtidos com 2000 usuários são idênticos aos dos cenários com 3000 e 4000 usuários, assim estes últimos não são mostrados.

4.4.2. Descarte de Pacotes

A taxa de descarte é a razão entre o número de pacotes perdidos e o número de pacotes enviados. Quando um bit do pacote tem erro, todo o pacote é perdido.

Os gráficos (Figura 3, Figura 4 e Figura 5) demonstram que tanto o fator de espalhamento quanto a velocidade do usuário influenciam na taxa de descarte. A velocidade influencia negativamente na interferência sofrida pelo usuário, nos índices de ruído, na ortogonalidade, na interferência de outras células e na probabilidade de perda.

O fator de espalhamento influi no descarte, pois com fatores de espalhamento menores, maiores são os tamanhos dos pacotes. Os dados então são divididos em menos pacotes e a perda de um desses pacotes causa um aumento na taxa de descarte.

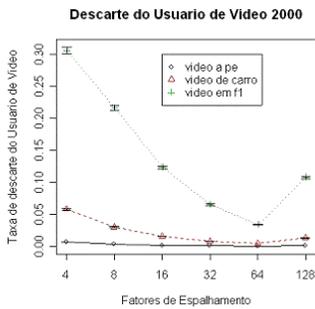


Figura 3. Taxa de descarte do Usuário de Vídeo com 2000 Usuários de Voz

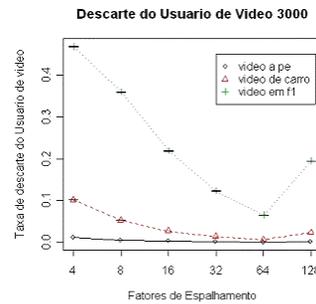


Figura 4. Taxa de descarte do Usuário de Vídeo com 3000 Usuários de Voz

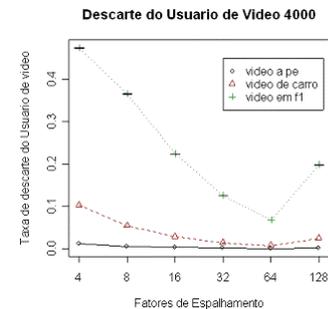


Figura 5. Taxa de descarte do Usuário de Vídeo com 4000 Usuários de Voz

A tendência da curva parece ser de queda, mas o nível de descarte aumenta com espalhamento 128, pois o usuário de vídeo com esse fator de espalhamento transmite os pacotes com bem mais sobrecarga e menos dados úteis, o que aumenta a quantidade de pacotes enviados. Como o número de pacotes transmitidos cresce em uma taxa maior que a probabilidade de perda decresce, o descarte cresce no espalhamento 128.

A diferença dos cenários de 3000 (Figura 4) e 4000 (Figura 5) usuários em relação ao cenário com apenas 2000 usuários (Figura 3) deve-se ao aumento da média de usuários ativos, mostrada a seguir.

4.4.3. Ocupação e Taxa de Bloqueio

A média para usuários a pé e de carro ficou entre 76 e 79 usuários de voz simultâneos (i.e., *ocupação*) nos cenários com 3000 (Figura 8) e 4000 usuários (Figura 10) contra entre 62 e 63 do cenário de 2000 (Figura 6). O aumento também foi percebido nos usuários em fórmula 1, que sofreram alteração de entre 60 e 62 para ficar entre 70 e 71. Os índices foram superiores aos encontrados com carga menor, o que indica que em alguns momentos a probabilidade de perda de pacotes aumentou. Isso acarretou num aumento das taxas de descarte nos cenários (Figura 4 e Figura 5) em relação ao de menor carga (Figura 3). A semelhança entre os gráficos dos cenários com 3000 e 4000 usuários sugere que o de 3000 está próximo do limite de usuários para a célula. A principal diferença é a taxa de bloqueio encontrada (Figura 9 e Figura 11).

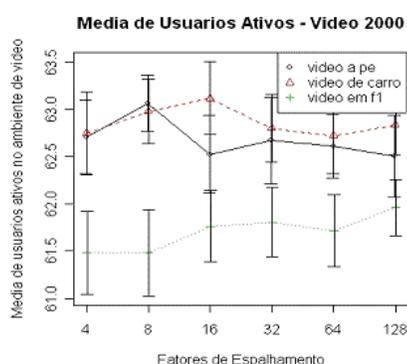


Figura 6. Média de Usuários Ativos com 2000 Usuários

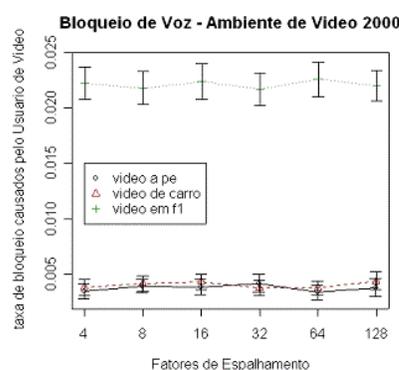


Figura 7. Taxa de Bloqueio de Usuários de Voz com 2000 Usuários

A velocidade do usuário influencia bastante tanto na quantidade de usuários simultâneos em atividade na célula quanto na taxa de bloqueio. Quanto maior a velocidade do usuário, maior é a interferência sofrida e menor é a capacidade da célula. Com uma capacidade menor, menos usuários de voz (background) podem ser aceitos. Isso é facilmente observado com os usuários de fórmula 1. Esses usuários sofreram mais bloqueio que os usuários de carro ou a pé.

Com 2000 usuários distribuídos uniformemente em 1 hora, a carga do sistema é baixa para velocidades menores, e os usuários de voz quase não sofreram bloqueio. Por essa razão, suas faixas (média \pm desvio padrão) ficaram no mesmo patamar. Para usuários em velocidade alta, a célula não suportou todos os usuários e houve bloqueio entre 2% e 2,5% (taxa de usuários que não foram aceitos no sistema) o que é considerado aceitável (Figura 6 e Figura 7).

O comportamento geral dos dois últimos cenários (Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11) foi bastante parecido com o primeiro, havendo diferença apenas nos níveis atingidos. O número de usuários simultâneos cresceu consideravelmente, o que indica que a célula ainda não havia atingido sua capacidade total com 2000 usuários. Em contrapartida, as taxas de bloqueio também sofreram um acréscimo devido ao fato de que com aumento da carga, nos instantes em que o número de usuários simultâneos chegou ao limite de códigos disponíveis, o sistema começou a bloquear novos usuários. Assim o bloqueio médio foi maior em comparação ao cenário com 2000 usuários

(Figura 7), atingindo os 20% para usuários a pé e de carro e de 25% para usuários de fórmula 1 para o cenário de 3000 usuários (Figura 9). No cenário de 4000 observou-se novamente o fato de que os usuários de fórmula 1 sofreram bloqueio pois a carga da célula já estava totalmente ocupada, mas os usuários a pé e de carro foram bloqueados pela falta de códigos disponíveis. Nesses casos, a célula ainda não estava totalmente ocupada.

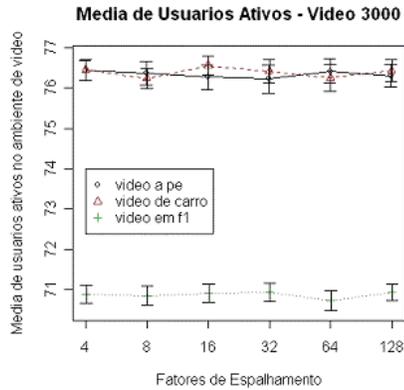


Figura 8. Média de Usuários Ativos com 3000 Usuários

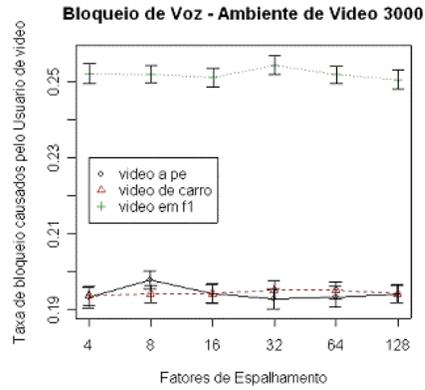


Figura 9. Taxa de Bloqueio de Usuários de Voz com 3000 Usuários

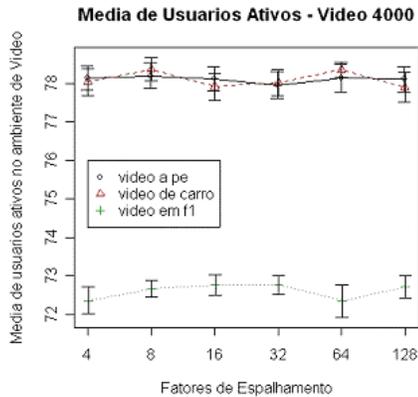


Figura 10. Média de Usuários Ativos com 4000 Usuários

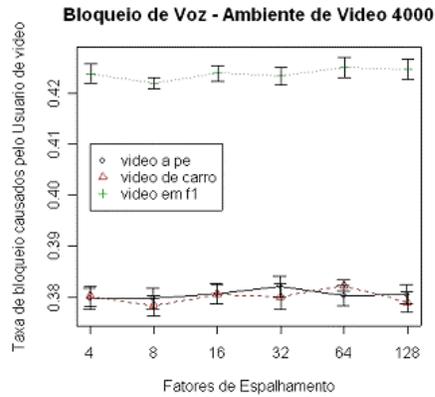


Figura 11. Taxa de Bloqueio de Usuários Ativos com 4000 Usuários

O fator de espalhamento não exerceu grande influência nos resultados de bloqueio medidos, pois não interfere no cálculo do fator de carga do sistema. Entretanto, é importante salientar que, num sistema real, o número de códigos disponíveis aumenta com o fator de espalhamento, ao contrário da capacidade de transmissão, que diminui. No sistema implementado, o fator de espalhamento utilizado pelos usuários de voz era fixo em 128, o que nos fornece cerca de 100 códigos para utilização em canais de tráfego. Assim, outro dado importante é o fato de que para usuários com menores velocidades (carro e a pé) o bloqueio encontrado se deu por falta de código disponível na célula, ao contrário dos usuários de fórmula 1, que sofreram bloqueio pela falta de capacidade da célula.

4.5. Resultados Obtidos no Cenário WEB

Nesta seção mostraremos os resultados dos cenários com tráfego WEB.

4.5.1. Sobrecarga

Nos cenários Web observou-se sobrecarga levemente diferente dos de vídeo, mas idêntica entre 2000, 3000 e 4000 usuários. Apenas o primeiro é apresentado (Figura 12).

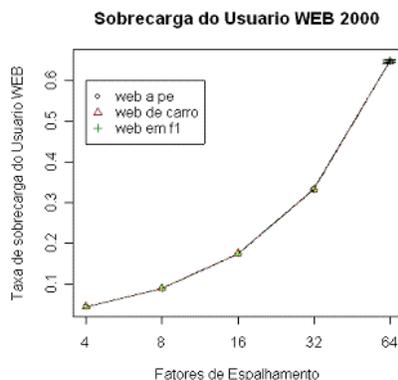


Figura 12. Sobrecarga do Usuário WEB com 2000 Usuários de Voz

Nesse caso, o espalhamento 64 tem o pior rendimento levando em consideração a quantidade de dados úteis enviados. Esse caso chega a ter 60% de sobrecarga nos pacotes e é um fator que deve ser levado em conta no planejamento do sistema. Com maior espalhamento é possível aceitar mais usuários no *downlink*, mas a principal questão a ser discutida é: até que ponto permitir mais usuários é viável, já que isso leva a um pior aproveitamento dos recursos, desperdiçando-os com dados de controle? Fica a cargo do administrador da rede escolher o fator de espalhamento mais adequado.

4.5.2. Descarte de Pacotes

A tendência neste caso é de queda, pois os usuários web utilizam um canal físico diferente do utilizado por usuários de voz. Não há concorrência pelo canal. O cálculo dos índices de perda de pacotes utiliza uma tabela de erros diferente da utilizada pelo cenário de vídeo, e apesar deste caso ter uma maior sobrecarga, a probabilidade de perda do pacote permite que a curva de descarte seja sempre decrescente.

Com o crescimento do número de usuários simultâneos ativos na célula (Figura 13), as taxas de descarte acompanham a tendência e crescem. Com espalhamento menor, menos pacotes são transmitidos, mas a probabilidade de perda é maior, assim, a taxa de descarte no caso do espalhamento 4 atinge um nível fora do aceitável (a partir de 10%).

Como no caso do vídeo, os resultados de descarte obtidos no cenário web com 4000 usuários para as configurações aqui apresentadas não sofreram nenhuma alteração significativa (e, portanto, foi omitida devido à falta de espaço) em relação ao cenário com 3000 usuários (Figura 14), o que sugere que 3000 usuários na célula é o limite superior para esse experimento.

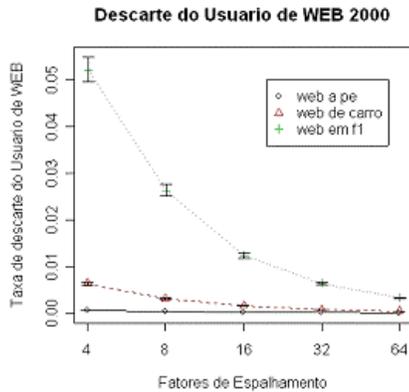


Figura 13. Taxa de Descarte do Usuário WEB com 2000 Usuários de Voz

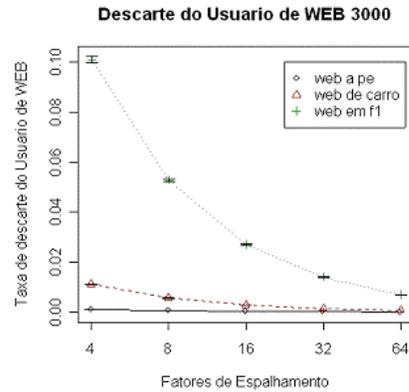


Figura 14. Taxa de Descarte do Usuário WEB com 3000 Usuários de Voz

4.5.3. Ocupação e Taxa de Bloqueio

Com 2000 usuários, a carga do sistema é baixa para velocidades menores, e os usuários de voz quase não foram bloqueados. Por essa razão, suas variações (barra horizontal) ficaram no mesmo patamar. Para usuários com velocidade alta, a célula não suportou todos os usuários e houve bloqueio entre 3% e 4%, nível considerado aceitável (Figura 15 e Figura 16).

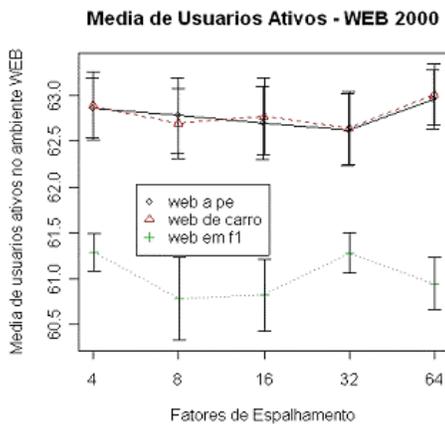


Figura 15. Média de Usuários Ativos com 2000 Usuários

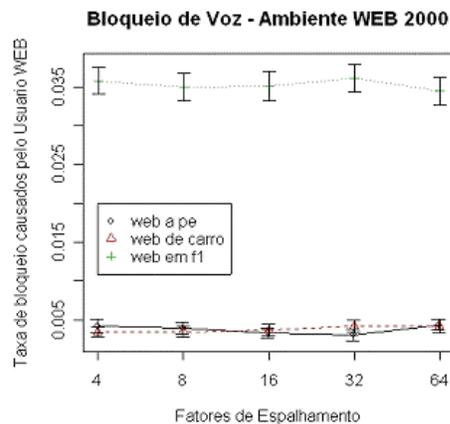


Figura 16. Taxa de Bloqueio de Usuários de Voz com 2000 Usuários

Com 3000 (Figura 17 e Figura 18) e 4000 usuários (Figura 19 e Figura 20), a carga do sistema é razoavelmente alta. Os usuários de carro e a pé, que com 2000 usuários raramente sofriam bloqueio, já o sofrem (20% - Figura 18 e 38% - Figura 20), mas mantiveram-se no mesmo patamar. Os usuários de fórmula 1 sofreram bloqueios ainda maiores (28% - Figura 18 e 44% - Figura 20), considerados elevados. A média de usuários ativos permaneceu a mesma e isso indica que se mais carga fosse adicionada ao sistema, a única alteração seria uma maior taxa de bloqueio.

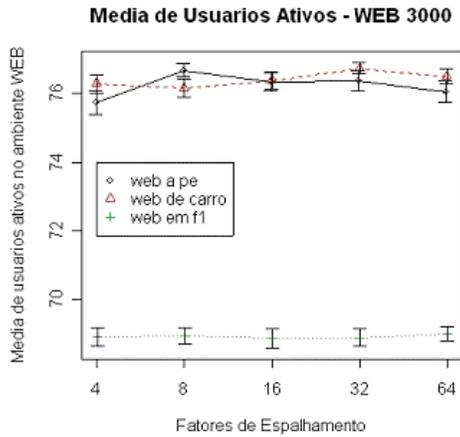


Figura 17. Média de Usuários Ativos com 3000 Usuários

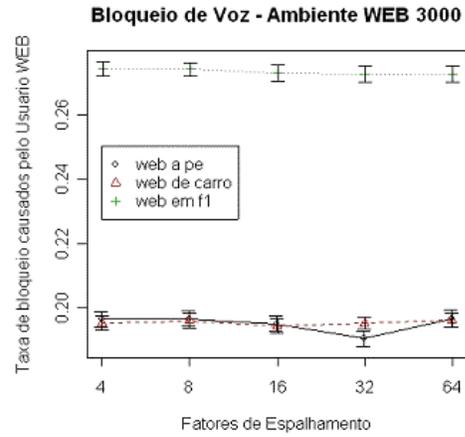


Figura 18. Taxa de Bloqueio de Usuários de Voz com 3000 Usuários

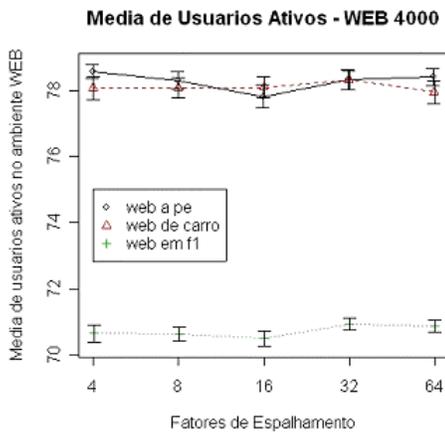


Figura 19. Média de Usuários Ativos com 4000 Usuários

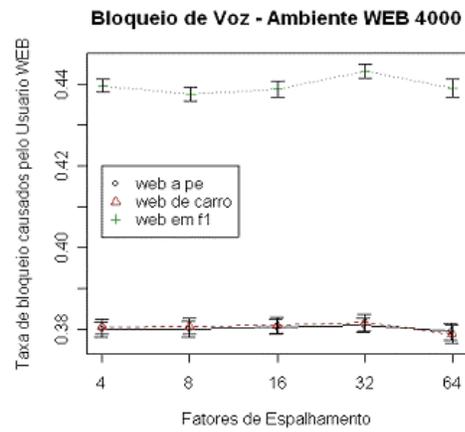


Figura 20. Taxa de Bloqueio de Usuários de Voz com 4000 Usuários

5. Conclusões

A escolha do fator de espalhamento a ser utilizado é uma decisão muito importante no sistema. Esse parâmetro indica a quantidade de códigos que estão disponíveis para utilização do sistema, que no caso do *downlink* indica a quantidade de usuários simultâneos; a sobrecarga do sistema, ou seja, a quantidade de recurso que vai ser desperdiçada com cabeçalho; e a taxa de descarte. Já a velocidade influi na taxa de bloqueio e na média de usuários ativos.

Com base nessas informações e nos resultados desse trabalho é possível dimensionar melhor os parâmetros a fim de escolher os requisitos e os fatores de qualidade de serviço mais importantes para um sistema UMTS/WCDMA em um determinado local ou em um certo horário. Por exemplo, à noite, quando menos usuários estão no sistema, estes poderiam utilizar códigos de fatores de espalhamento

menores, que permitem maiores taxas. Ao contrário, durante o dia, usuários só poderiam se conectar com códigos maiores, o que permitiria o acesso de mais usuários ao sistema. Foi possível perceber nesse trabalho que o número de códigos existente é fator limitante, pois a maioria dos casos de bloqueio com usuários de baixa mobilidade (a pé e de carro) aconteceu por falta de códigos disponíveis e não pela falta de capacidade da célula.

A sobrecarga do sistema com fatores de espalhamento altos (64 e 128) mostrou ser bastante elevada. Isso nos permite sugerir que esses fatores de espalhamento só sejam utilizados nos horários em que exista a necessidade de códigos no sistema. Para um sistema livre ou com baixa ocupação é indicado o uso de fatores de espalhamento menores, como o de 32.

O fator de espalhamento 32 é o que possui melhor custo-benefício, principalmente para usuário com alta velocidade, uma vez que tanto o descarte quanto a sobrecarga do sistema ficam com níveis aceitáveis com a utilização desse fator.

6. Trabalhos Futuros

Este trabalho representa um protótipo de uma ferramenta aberta para teste do sistema UMTS/WCDMA [12], a mais provável tecnologia que virá a ser utilizada pelas empresas de telefonia móvel no Brasil nos próximos anos, principalmente por ser uma evolução do sistema GSM (Global System for Mobile Communication).

Entretanto, algumas características do simulador precisam ser aperfeiçoadas a fim de permitir um futuro planejamento completo de uma rede baseada nessa tecnologia e algumas delas serão citadas a seguir:

- *Mobilidade*: O simulador atualmente possui apenas uma célula e os usuários se movimentam apenas dentro dessa célula sem realizar procedimentos de handoff. A inclusão de novas células é uma capacidade que pode ser agregada, possibilitando a avaliação de cenários com mobilidade total com trocas de células. Essa nova capacidade aumenta muito a complexidade do simulador, mas pode vir a ser amenizada com o uso de modelos de mobilidade.
- *TCP*: O TCP implementado no simulador não leva em consideração a retransmissão dos pacotes pelo TCP. A perda de um pacote não causa como deveria ser a redução da taxa de transmissão. Apenas os pacotes do nível físicos são retransmitidos. Esse problema tem uma solução razoavelmente trabalhosa, pois o SIMSCRIPT não possui implementação nativa do TCP.
- *Inclusão de outros canais WCDMA*: Isso permitiria um funcionamento mais refinado do modelo de sistema real, como por exemplo, uma melhor avaliação da carga de sinalização quando os canais de sinalização estiverem implementados.
- *Teste de novos cenários*: Outros cenários poderiam ser testados e seus resultados poderiam trazer novas conclusões sobre o problema. A inclusão das idéias em [13] sobre a definição de profiles de usuário contribuiriam bastante para o melhor dimensionamento de sistemas UMTS/WCDMA.

7. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo financiamento parcial deste projeto e ao Centro de Informática pelos recursos utilizados para realização dos experimentos.

8. Referências

- [1] 3GPP Technical Specification 25.933 version 5.1.0. "IP Transport in UTRAN", 2002.
- [2] Alam, Fakhrul. "Simulation of Third Generation CDMA Systems". Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute & State University, USA, Master of Science. Dezembro de 1999.
- [3] Bajaj, S., Breslau, L. and Shenker, S. "Uniform versus Priority Dropping for Layered Video". ACM SIGCOMM'98, 1998.
- [4] CACI Products Company. "Simscrip II.5". <http://www.caciasl.com/simscrip.cfm>
- [5] Dinan, E. H., e Jabbari, B.. "Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Networks". IEEE Communication Magazine. Setembro de 1998, pg 48-54.
- [6] Especificações UMTS. <http://www.3gpp.org>.
- [7] Floyd, S. and Jacobson, V. "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance". IEEE/ACM Transactions on Networking, Agosto de 1993.
- [8] Guimaraes, D. "Sistemas de Comunicação Móvel de Terceira Geração". <http://www.inatel.br/docentes/dayani/Publications/ArticleIT/>.
- [9] Haardt, Martin and Mohr, Werner. "The Complete Solution for Third Generation Wireless Communications: Two Modes on Air, One Winning Strategy". Siemens Ag. IEEE Personal Communications, Dezembro de 2000.
- [10] Holma, Harri and Toskala, Antti. "WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications". John Wiley & Sons, LTD. Revised Edition. 2001.
- [11] Jain, Raj. "The Art of Computer Systems Performance Analysis". John Wiley & Sons, INC. 1991.
- [12] Jucá, P. M., "Avaliação de Tráfego Multimídia sobre uma Rede de Terceira Geração UMTS/WCDMA". Dissertação de Mestrado (inclui código fonte), Universidade Federal de Pernambuco, Dezembro de 2002.
- [13] Ribeiro, Leila Z. and DaSilva, Luiz A. "A Framework for the Dimensioning of Broadband Mobile Networks Supporting Wireless Internet Services". IEEE Wireless Communications, Junho de 2002. <http://www.caciasl.com/simscrip.cfm>.
- [14] UMTS Forum Reports, <http://www.umts-forum.org>.
- [15] Zhu, Shihua and Mark, Jon W. "An Exposition on Third Generation CDMA Mobile Communications: Concepts and Technologies". Setembro de 1999.
- [16] Zorzi, M., Mazzini, G., Tralli, V. and Giovanardi, A. "On The Error Statistics over a WCDMA Air Interface". Internal Report, Università di Ferrara. 2000.