

Estudo de Desempenho do Sistema 1xEV-DV no Enlace Direto

Tania Aida Garcia Bassi e Shusaburo Motoyama

Resumo – Neste artigo é apresentado um estudo de desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV. O sistema é estudado através de simulações que permitem analisar o atraso médio dos pacotes, a vazão de saída e a utilização do enlace em função do carregamento de tráfego do sistema. O desempenho do enlace direto é estudado utilizando escalonamento de pacotes sem prioridade, com prioridade de taxas de bits mais alta para mais baixa e também prioridades de usuários. Os resultados das simulações mostraram que o sistema 1xEV-DV permite transmitir altas taxas de bits. Entretanto, o desempenho do sistema pode ser ainda melhorado com a introdução de escalonador de prioridades.

Palavras-Chave – 1xEV-DV, enlace direto, desempenho, prioridade, tempo de atraso de pacote.

Abstract – The forward link performance study of the 1xEV-DV systems is presented in this paper. The system is studied through simulations that allow the analyses of the average packet delay, the throughput of the system and link utilization in function of traffic load. The performance of forward link is studied by using packet schedulers without priority, with priority of higher bit rates to lower as well as user priority. The simulation results showed that the 1xEV-DV system allows transmission of high bit rates. However, the system performance can be still enhanced by introducing priority scheduler.

Index Terms – 1xEV-DV, forward link, performance, priority, packet delay.

I. INTRODUÇÃO

A primeira geração de sistemas de comunicação móvel foi baseada em tecnologia analógica, e tinha como objetivo viabilizar a comunicação de voz com mobilidade. Este também foi o principal objetivo dos sistemas de segunda geração (2G), baseados em tecnologia digital.

Os sistemas de segunda geração foram projetados inicialmente para suportar serviços de transmissão de voz e posteriormente serviços de dados à baixa velocidade [6]. Em seguida, os sistemas de comunicação móvel de geração 2.5G, foram desenvolvidos visando aumentar a capacidade de tráfego dos sistemas 2G, melhorando também a qualidade dos serviços e provendo taxas de transmissão de dados mais altas através da comutação de dados por pacotes.

O maior objetivo dos sistemas de terceira geração é prover além de serviços de voz, serviços de transmissão de dados em alta velocidade. Estes sistemas também são baseados em tecnologias digitais, suportando tráfego de voz, dados e multimídia.

Tania Aida Garcia Bassi, Lucent Technologies, Campinas, Brasil e Shusaburo Motoyama, DT, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
Emails: tbassi@lucent.com e motoyama@dt.fee.unicamp.br

O padrão IS-95A que define a tecnologia CDMA (*Code Division Multiple Access*), foi introduzido comercialmente em 1995 [6], suportando comutação de voz por circuito, e taxas de dados de até 14.4 kbps. Em seguida, o padrão IS-95B mostrou-se capaz de transmitir dados em taxas de até 64 kbps.

O CDMA2000, definido pelo padrão IS-2000, nas revisões 0, A e B, foi projetado para prover tráfego de dados através de comutação por pacote, atingindo taxas de até 153.6 kbps (até revisão A) e de 307.2 kbps (revisão B), mantendo compatibilidade com os sistemas IS-95 [10].

Na linha de evolução do padrão IS-2000, o 1xEV-DV, definido nas revisões C e D do padrão IS-2000, é a tecnologia de terceira geração capaz de prover taxas de transmissão de dados por pacotes de até 3.0912 Mbps no enlace direto [1], e de até 1.8456 Mbps no enlace reverso definida muito recentemente na revisão D [7]. O padrão 1xEV-DV mantém compatibilidade com o CDMA2000 e com o padrão IS-95.

A maioria das referências disponível na literatura descreve o funcionamento do sistema 1xEV-DV [2], [3], [4] e [6]. Outras referências analisam os detalhes do enlace reverso em relação aos problemas de projeto de interface aérea [8] ou em relação ao esquema de controle das taxas para otimizar a utilização do enlace [9]. Em [5] é apresentado um estudo de desempenho do sistema 1xEV-DV no enlace direto quando dois tipos de tráfego (voz e dados) estão presentes em uma mesma portadora.

Neste artigo, o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV considerando somente o tráfego de dados é estudado. Através de simulações, os desempenhos dos atrasos de pacotes, da vazão e da utilização em função do carregamento do sistema são examinados. São considerados vários cenários utilizando escalonamento de pacotes sem prioridade, com prioridade de taxas mais altas para mais baixa e também prioridades de usuários.

Na seção 2 é apresentada a descrição do sistema 1xEV-DV. O modelo de simulação é descrito na seção 3. Na seção 4, são apresentados os resultados obtidos nas simulações e suas análises. As conclusões são apresentadas na seção 5.

II. 1xEV-DV

1xEV-DV é um sistema de comunicações sem fio de terceira geração, baseado em CDMA e desenvolvido com o objetivo de atender altas taxas de transmissão de dados, permitindo a utilização de diversas aplicações de dados, inclusive aplicações em tempo real. O 1xEV-DV é uma evolução do sistema CDMA2000 1X, sendo definido nas revisões C e D do padrão IS-2000.

O padrão IS-2000 revisão C tem a maioria de suas modificações e melhorias concentradas no enlace direto

(comunicação no sentido da estação rádio base para o terminal móvel), permitindo atingir a taxa de dados de pico de até 3.0912 Mbps neste enlace [1].

A revisão D do padrão IS-2000, concentra suas melhorias no enlace reverso (comunicação no sentido do terminal móvel para a estação rádio base), com o objetivo de aumentar a capacidade de transmissão de dados deste enlace [7].

Assim como no CDMA2000 1X, o tráfego de voz no 1xEV-DV é suportado por canais dedicados de divisão por código (CDM), e transportado através do canal fundamental (FCH) em taxas variáveis de até 14.4kbps.

No CDMA2000 1X, o tráfego de dados por pacotes é transportado pelo canal suplementar (SCH) em velocidades de até 307.2 kbps nos enlaces direto e reverso [10].

Para o tráfego de dados por pacotes, o 1xEV-DV introduz o F-PDCH (canal de dados por pacote do enlace direto). Este novo canal compartilhado permite que o 1xEV-DV suporte de forma flexível os serviços de dados através dos canais dedicados (SCH), dos canais compartilhados (F-PDCH), ou de uma combinação de canais dedicados e compartilhados.

Por ser um canal compartilhado, o F-PDCH não pode fazer *soft-handoff*, requer canais de suporte nos enlaces direto e reverso, e para a adaptação do enlace rápido, o tamanho de *timeslot* no F-PDCH é relativamente pequeno, de até 5ms [2]. Entretanto, é através do F-PDCH que o 1xEV-DV consegue atingir altas taxas de transmissão, de até 3.0912 Mbps de pico. No enlace reverso, na revisão C mesmo sem a adição de um novo canal para tráfego de dados, a taxa de pico atinge 451.2 kbps. Já na revisão D do 1xEV-DV, com adição de novos canais, é possível atingir a taxa de pico de 1845.6 kbps no enlace reverso [7].

A especificação do 1xEV-DV revisão C define quatro novos canais na camada física, sendo um canal de tráfego no enlace direto (F-PDCH), um canal de controle também no enlace direto (F-PDCCCH) e dois canais de controle no enlace reverso (R-CQICH e R-ACKCH).

Na revisão D, quatro novos canais são acrescentados ao enlace reverso, incluindo o canal de dados por pacote do enlace reverso (R-PDCH), e três novos canais ao enlace direto, dão suporte ao tráfego de dados do enlace reverso.

As principais técnicas implementadas no 1xEV-DV para aumentar a vazão de dados, incluem a modulação e codificação adaptativa (AMC), alocação e multiplexação adaptativa TDM/CDM, ARQ Híbrido, técnica de troca de setor e controle de pacotes de dados em espera [3], [4].

O 1xEV-DV introduz a multiplexação por divisão de tempo (TDM), que maximiza a utilização de recursos através da alocação de um mesmo recurso de um móvel a outro móvel que esteja trafegando dados, por um período relativamente curto de tempo.

Além disto, para melhorar a eficiência espectral, no 1xEV-DV os recursos podem ser agendados de forma inteligente, porque a informação de qualidade do canal do enlace direto está disponível para a estação base (através do novo canal R-CQICH introduzido no enlace reverso). Desta forma, para um móvel que esteja passando por *fading*, os recursos podem apenas ser alocados quando a qualidade do canal estiver melhor, evitando desperdício de recursos e servindo os móveis com taxas maiores.

O *feedback* da qualidade de canal também é utilizado para ajudar a determinar a taxa de dados ótima para o F-PDCH. Assim, a revisão C do CDMA2000 introduz a adaptação do enlace (ou taxa) através da técnica de Modulação e Codificação Adaptativa (AMC) que altera a modulação e o esquema de codificação de acordo com as variações das condições do enlace direto, ou seja, a modulação e a codificação do enlace direto variam em tempo real para se adaptar às condições de propagação.

A Tab. 2.1 mostra como são atingidas as diferentes taxas de dados nos sistemas 1xEV-DV no que se refere a tamanho de pacotes, quantidade de *timeslots* e modulação:

TABELA 2.1 – TIPO DE MODULAÇÃO POR TAXA DE DADOS DO 1xEV-DV.

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Tamanho do Pacote (bits)	Quantidade de Slots por subpacote	Modulação
81.6	408	4	16-QAM/QPSK
158.4	792	4	16-QAM/QPSK
163.2	408	2	16-QAM/QPSK
312	1560	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
316.8	792	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
326.4	408	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
465.6	2328	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
619.2	3096	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
624	1560	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
633.6	792	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
772.8	3864	4	16-QAM/8-PSK/QPSK
931.2	2328	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1238.4	3096	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1248	1560	1	16-QAM/8-PSK/QPSK
1545.6	3864	2	16-QAM/8-PSK/QPSK
1862.4	2328	1	16-QAM/8-PSK
2476.8	3096	1	16-QAM
3091.2	3864	1	16-QAM

O canal de tráfego de dados F-PDCH permite tanto a multiplexação por divisão no tempo (TDM) entre diferentes estações móveis, como multiplexação por divisão em código (CDM) entre dois móveis simultaneamente.

A técnica TDM permite que uma mesma portadora atenda diferentes usuários, dedicando um instante de tempo ao atendimento de cada um. Já a técnica CDM permite que os dados de diferentes usuários sejam transmitidos em uma mesma portadora ao mesmo tempo, diferenciando os dados dos usuários através de um código associado a cada um.

A habilidade do 1xEV-DV de multiplexação TDM e CDM é particularmente interessante dado que diferentes aplicações de dados demandam diferentes tamanhos de pacotes, assim para a transferência de pacotes grandes, como na transferência de arquivos, o TDM é a melhor opção, já no caso de várias estações móveis transferindo pequenos pacotes, o CDM torna-se mais eficiente.

Utilizando a multiplexação TDM/CDM, a estação base pode compartilhar o F-PDCH com até dois usuários por um ou mais *timeslots*, alocando diferentes códigos Walsh para cada um deles.

Como o canal de pacote de dados F-PDCH é compartilhado e dedicado por pequenos períodos de tempo (1.25, 2.5 ou 5ms), foi providenciado um canal de controle específico no enlace direto, o F-PDCCCH - canal de controle de pacote de dados do enlace direto. O 1xEV-DV suporta até dois canais F-PDCCCH no enlace direto (F-PDCCCH0 e F-PDCCCH1), que são sincronizados com o F-PDCH para que o móvel possa

utilizar facilmente a informação do F-PDCCH, decodificar e demodular corretamente os dados transmitidos no F-PDCH.

O F-PDCH foi projetado para que uma grande quantidade de códigos de comprimento 32 possa ser utilizada. O comprimento 32 para o espaço Walsh foi escolhido visando uma melhor relação custo-benefício entre a vazão e a complexidade do sistema [2]. Para taxa de espalhamento 32 nos códigos Walsh, em um sistema 1xEV-DV sem os serviços de voz e dados do CDMA2000-1X, 28 códigos Walsh estão disponíveis para o F-PDCH e os demais códigos disponíveis para os canais de controle. Quando o sistema suporta serviços de voz e dados do CDMA2000-1X, a quantidade de códigos disponíveis para o F-PDCH é reduzida, assim a taxa máxima de pico atingida também é reduzida.

O padrão IS-2000 revisão C e D, define as possíveis quantidades de códigos Walsh necessárias por taxa de transmissão de dados, como mostra a Tab. 2.2.

TABELA 2.2 – QUANTIDADE DE CÓDIGOS WALSH POR MODULAÇÃO POR TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS.

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Quantidade de códigos Walsh		
	16-QAM	8 - PSK	QPSK
81.6	1	-	4/3/2
158.4	2	-	11/6/4/3
163.2	2	-	8/5/4/3
312	4/3	5	15/9/7/6
316.8	4/3	5	19/11/8/7/6
326.4	4/3	5	19/11/8/7/6
465.6	6/5/4	8/7	20/14/11/9
619.2	6/5/4	8/7	20/16/13/11
624	6/5/4	8/7	20/15/13/11
633.6	6/5/4	8/7	19/15/13/11
772.8	9/8/7	12/11	19/16/14
931.2	11/10/9/8	15/13	23/20/17
1238.4	15/12/11	21/19/17	25/22/13
1248	15/13/12/11	21/19/17	25/22
1545.6	19/17/15/14/13	25/23/21	27
1862.4	23/20/18/16	28/25	-
2476.8	26/23/21	-	-
3091.2	26	-	-

Neste artigo, foi considerado o sistema 1xEV-DV com transmissão de pacotes de dados atingindo altas taxas e sem os serviços de voz e dados do CDMA2000-1X.

III. MODELO DE SIMULAÇÃO

Neste estudo, o desempenho do canal de tráfego de dados F-PDCH do enlace direto do sistema 1xEV-DV é analisado através de simulações realizadas em Matlab.

A simulação considera um *buffer*, onde os pacotes que devem ser transmitidos chegam, são atendidos e enviados para a transmissão na interface aérea. Desta forma esta simulação representa a situação em que os pacotes que devem ser transmitidos a diferentes usuários chegam à estação rádio base, passam por um processamento de atendimento e então são enviados para a interface aérea para transmissão através do canal de tráfego de dados F-PDCH. Este estudo se limita a análise do processamento dos pacotes no enlace direto, ou seja, da estação rádio base para o terminal móvel, considerando diferentes níveis de carregamento no sistema.

O sistema 1xEV-DV permite multiplexação por divisão em código (CDM) entre dois móveis simultaneamente além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) entre diferentes estações móveis.

Assim, foram realizadas simulações para o caso em que o sistema 1xEV-DV tenha esta opção implementada e também para o caso em que não haja a multiplexação por divisão de código para comparação.

O padrão 1xEV-DV define dezoito diferentes taxas de transmissão de dados (Tab. 2.1). Neste estudo foram consideradas nove taxas, selecionadas de forma a representar significativamente a variação entre as taxas.

A Tab. 3.1 mostra a distribuição de probabilidade adotada para as taxas de transmissão de dados consideradas neste estudo. Esta distribuição mostra a situação em que a maioria dos móveis se concentra nas taxas intermediárias. Nesta situação, considera-se que na borda da célula de cobertura há poucas estações móveis, e desta forma menos móveis com taxas baixas, e também menos estações móveis com taxas máximas, já que nestes casos a condição de propagação dos móveis tem que ser muito boa.

TABELA 3.1 – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE POR TAXA DE TRANSMISSÃO DE DADOS.

Taxa de Dados (kbps)	Probabilidade
3091.2	4.0%
2476.8	10.0%
1862.4	15.0%
1238.4	17.0%
931.2	22.9%
624	18.0%
312	8.0%
158.4	3.0%
81.6	2.0%

Algumas simulações realizadas consideram também diferentes níveis de prioridade de usuários, a Tab. 3.2 mostra a distribuição da probabilidade considerada para estes diferentes níveis, sendo P1 o maior nível de prioridade, P2 prioridade intermediária e P3 o menor nível de prioridade.

TABELA 3.2 – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE PARA DIFERENTES NÍVEIS DE PRIORIDADE DE USUÁRIOS.

Nível de Prioridade	Probabilidade
P1	15%
P2	35%
P3	50%

Para as simulações que consideraram a multiplexação por divisão em código (CDM), a quantidade de códigos Walsh necessária para cada taxa de transmissão de dados escolhida, foi sempre o melhor caso das opções definidas no padrão 1xEV-DV, ou seja, a menor quantidade de códigos Walsh necessária para cada taxa de transmissão de dados.

A Tab. 3.3 apresenta a modulação, a quantidades de *timeslots* e a quantidade de códigos Walsh para cada taxa de dados que foram consideradas neste estudo.

TABELA 3.3 – QUANTIDADE DE SLOTS E CÓDIGOS POR TAXA DE DADOS.

Taxa de Dados do subpacote (kbps)	Tamanho do Pacote (bits)	Modulação	Quantidade de Slots por subpacote	Quantidade de Códigos Walsh
81.6	408	QPSK	4	2
158.4	792	QPSK	4	3
312	1560	QPSK	4	6
624	1560	8-PSK	2	9
931.2	2328	8-PSK	2	13
1238.4	3096	8-PSK	2	17
1862.4	2328	16-QAM	1	16
2476.8	3096	16-QAM	1	21
3091.2	3864	16-QAM	1	26

Nas simulações com CDM, foi assumida a disponibilidade de 28 códigos Walsh para o canal de tráfego de dados F-PDCH, ou seja, um sistema puramente de serviços de dados 1xEV-DV, sem os serviços CDMA2000-1X (FCH e SCH), e com alocação dinâmica dos recursos de códigos Walsh.

Nas simulações com prioridades, o estudo considera que o atendimento na estação rádio base é feito por um servidor baseado em prioridade e sem preempção. Os pacotes de maior prioridade são atendidos primeiramente, e quando não há mais pacotes da prioridade mais alta, passa a atender a segunda prioridade e assim por diante. O *buffer* é considerado de tamanho infinito e os pacotes são armazenados por ordem de prioridade e dentro de cada prioridade, por ordem de chegada.

O programa de simulação em Matlab foi feito considerando que a chegada de pacotes segue uma distribuição exponencial negativa, e o λ (taxa de chegada dos pacotes) é calculado de forma a seguir as distribuições de probabilidade de cada taxa e de cada prioridade mostradas nas Tabs. 3.1 e 3.2. O tempo de atendimento ($1/\mu$) por pacote é igual a duração da quantidade de *timeslots* necessários para a transmissão, por exemplo para taxa de 3091.2 kbps o tempo de atendimento é 1.25ms, enquanto que para 312 kbps é de 5ms.

O carregamento do sistema ρ é determinado através da relação entre a taxa de chegada e a taxa de atendimento dos pacotes, assim, para variar o carregamento de tráfego na estação rádio base, a taxa de chegada de pacotes λ foi calculada para cada caso, já que a taxa de atendimento μ mantêm-se fixa dependendo apenas da taxa de transmissão de dados.

Desta forma, variando o carregamento total do sistema 1xEV-DV $\rho(\text{total})$, as taxas de chegada dos pacotes $\lambda(i,n)$ pode ser calculada levando-se em conta a distribuição das probabilidades de cada taxa de dados (Tab. 3.1) e nos casos de diferentes níveis de prioridade por usuário, as probabilidades da Tab. 3.2. Assim:

$$\rho(\text{total}) = \sum \rho(i,n) \quad (1)$$

$$\rho(i,n) = \lambda(i,n) / \mu(i,n) \quad (2)$$

$$Pb(i,n) = \lambda(i,n) / \sum \lambda(i,n) \quad (3)$$

Sendo:

$\lambda(i,n)$ = taxa de chegada dos pacotes para taxa de dados i , e nível de prioridade n (para diferentes prioridade por usuário).

$\mu(i,n)$ = taxa de atendimento dos pacotes para taxa de dados i , e nível de prioridade n (para diferentes prioridade por usuário).

$\rho(i,n)$ = carregamento de tráfego para taxa de dados i ($\lambda(i,n)/\mu(i,n)$), e nível de prioridade n (para diferentes prioridade por usuário).

$Pb(i,n)$ = probabilidade para taxa de dados i , e nível de prioridade n (para diferentes prioridade por usuário).

Os parâmetros de análise de desempenho estudados são: o atraso médio dos pacotes, a vazão de saída e a utilização do enlace em função do carregamento do sistema.

Seguindo as distribuições de probabilidade de taxas da Tab. 3.1 e de prioridade de usuários da Tab. 3.2, foram considerados os seguintes casos de análise de tráfego de dados:

1. Nove taxas de transmissão de dados sem prioridade no esquema FIFO (*first in first out*).

2. Nove taxas de transmissão de dados com prioridade da taxa mais alta para a taxa mais baixa.

3. Nove taxas de transmissão de dados com maior prioridade (da taxa mais alta para a taxa mais baixa) e considerando a multiplexação por divisão em código (CDM).

4. Três níveis de prioridade de usuários, cada um com disponibilidade de nove taxas de transmissão de dados, sendo que dentro de cada nível de prioridade de usuário, há também maior prioridade da taxa mais alta para a taxa mais baixa.

5. Mesmo caso do item anterior (três níveis de prioridade com nove taxas) e com a multiplexação por divisão em código (CDM).

Em todos os casos, as simulações foram realizadas para carregamento do sistema 1xEV-DV de 10% a 90%.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A simulação do sistema 1xEV-DV com nove taxas de dados e sem prioridade (caso 1) apresentou tempos médios de atraso dos pacotes de 0.1628ms a 13.1144ms dependendo do carregamento do sistema. Na média, o desvio padrão foi 1.5% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.17% do valor da média.

A simulação na mesma situação, com nove taxas de dados, considerando-se a prioridade da taxa mais alta para a taxa mais baixa (caso 2), apresentou resultados melhores comparando com a situação sem prioridade, no que diz respeito ao tempo médio de atraso dos pacotes. Isto mostra que para a mesma situação de carregamento de tráfego, é preferível que o sistema tenha um escalonamento que priorize as taxas mais elevadas em relação às taxas de dados mais baixas. Na média, o desvio padrão foi 1.6% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.17% do valor da média, assim como no caso anterior.

Com a mesma distribuição de tráfego e 9 taxas de dados com prioridade das taxas mais altas para as mais baixas, considerando-se a multiplexação por divisão de código CDM (caso 3), os resultados mostraram-se bem mais favoráveis para a média de atraso dos pacotes. A diferença entre os atrasos médios dos pacotes torna-se mais evidente quanto maior for o carregamento do sistema. No caso 3, na média, o desvio padrão foi 0.6% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.08% do valor da média, assim como no caso anterior. A Fig. 4.1 mostra os resultados obtidos nas simulações para estes três casos. Os intervalos de confiança não são visualizados no gráfico porque seus valores são muito pequenos em relação aos valores dos tempos de atraso.

Desta forma, para sistemas com alto carregamento de tráfego de dados, a aplicação da técnica de multiplexação por divisão de código (CDM) traz bastante benefício. Para um carregamento de tráfego de 70%, os atrasos médios diminuem em média 43.5%. Já para sistemas 1xEV-DV com carregamento baixo, os ganhos devido à utilização do CDM são mais discretos, com 30% de carregamento, a diminuição do tempo médio de atraso chega a 11.7%.

Os valores médios da vazão em função do carregamento do

sistema 1xEV-DV para os três casos acima são apresentados na Fig. 4.2.

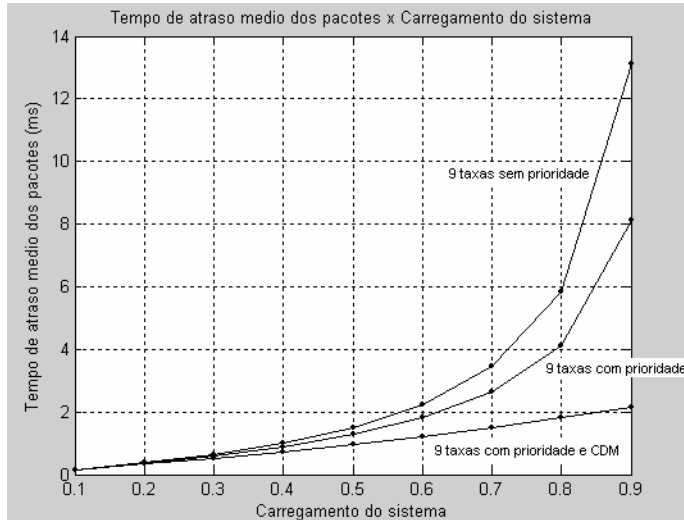


Fig. 4.1 – Tempo de atraso médio dos pacotes em função do carregamento de tráfego para os casos 1, 2 e 3.

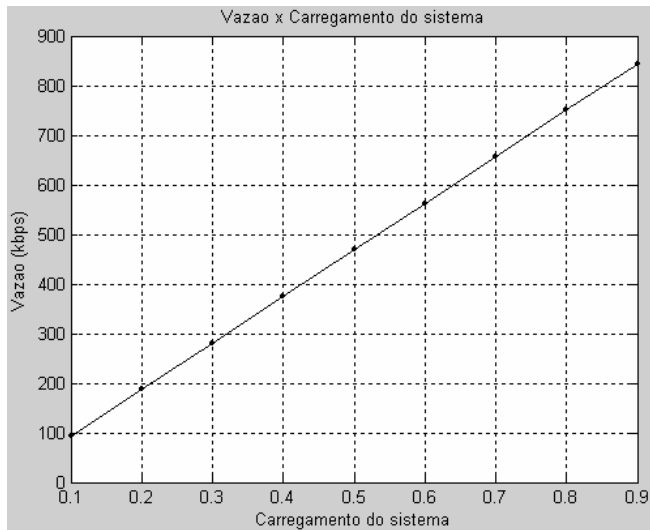


Fig. 4.2 – Vazão do sistema em função do carregamento.

Estes valores são muito próximos para os três casos quando analisados em função do carregamento do sistema como mostrado na Fig. 4.2. Isto ocorre porque a distribuição das probabilidades por taxa de dados é a mesma. Porém quando estes valores são analisados em função da utilização do enlace, pode-se observar (veja Fig. 4.3) que para uma mesma utilização de enlace, a vazão é maior quando se utiliza a técnica CDM, sendo esta diferença mais acentuada quanto maior for o carregamento do sistema. O fator de utilização do enlace é o percentual de ocupação do enlace. Este percentual foi calculado com as medidas de tempo de ocupação do enlace e tempo total livre e ocupado.

Isto ocorre porque a utilização do enlace acompanha o carregamento do sistema nos casos sem CDM, porém com CDM, a utilização do enlace é menor para um mesmo carregamento do sistema. Por exemplo, para carregamento de sistema de 70%, no caso sem CDM, a utilização do enlace é 70%, porém no caso com CDM, a utilização do enlace é apenas 63.8%.

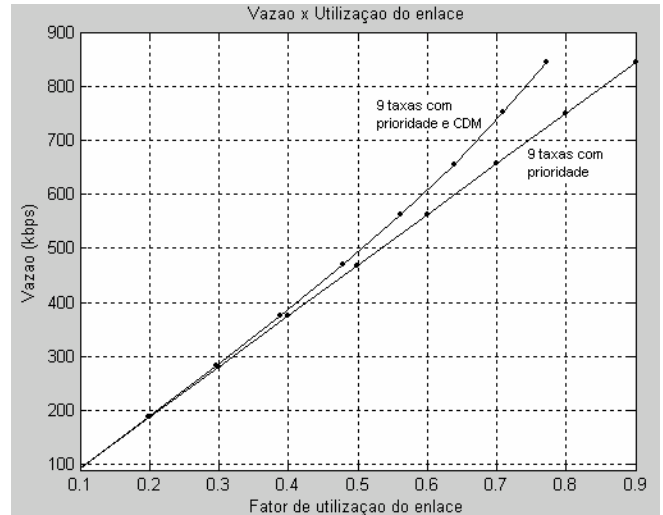


Fig. 4.3 – Vazão em função do fator de utilização para os casos 2 e 3.

A simulação do sistema com nove taxas de transmissão de dados, com prioridade da taxa mais alta para a mais baixa, e com três diferentes prioridades de usuário (caso 4), mostrou em seus resultados que com a priorização de um tipo de usuário em relação a outro, os atrasos médios dos pacotes de usuários P1 (prioridade mais alta), são bem menores que os obtidos no caso 2, onde não havia divisão de tipos de usuários. Os atrasos médios dos usuários P2 também são menores que os atrasos de pacotes obtidos no caso 2, porém os usuários P3 (prioridade mais baixa) são bastante afetados, passando a ter atrasos médios dos pacotes bem maiores que no caso 2. No caso 4, em média, a simulação apresentou o desvio padrão foi 0.66% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.03% do valor da média.

A Fig. 4.4 mostra os resultados obtidos para o caso 4:

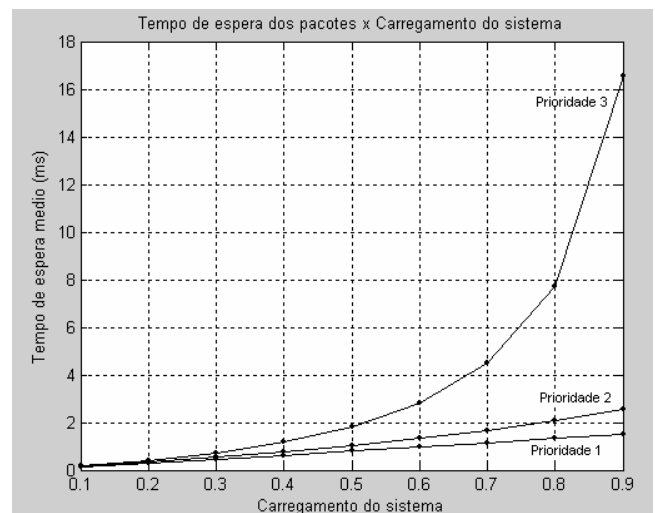


Fig. 4.4 – Tempo de atraso médio dos pacotes de acordo com o carregamento de tráfego do sistema para o caso 4.

No caso 5, temos a mesma situação anterior, porém com a utilização da multiplexação por divisão de código. Nesta simulação, em média, o desvio padrão foi 0.63% do valor da média, e o intervalo de confiança de 95%, apresentou valores pequenos que representam no máximo 0.04% do valor da média. Neste caso, os atrasos médios de pacotes mostraram-se

bem menores que no caso 4, apresentando os ganhos mais significativos para os usuários de prioridade P3 (menor prioridade). Para estes usuários, com um carregamento do sistema de 70%, a diminuição do tempo de atraso médio chega a 34.3%, enquanto que para os usuários P2, com mesmo carregamento, a diminuição é de 14.7% e para usuário P1, a diminuição é de apenas 8.2%.

A Fig. 4.5 mostra os resultados obtidos para o caso 5:

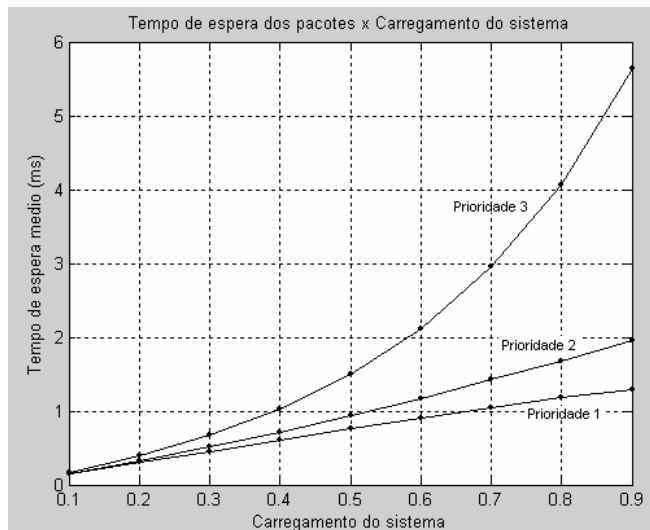


Fig. 4.5 – Tempo de atraso médio dos pacotes de acordo com o carregamento de tráfego do sistema para o caso 5.

Nos casos 4 e 5, assim como nos casos anteriores, os intervalos de confiança não são visualizados no gráfico porque seus valores são muito pequenos em relação aos valores dos tempos de atraso.

Os valores médios da vazão em função do carregamento do sistema 1xEV-DV para os casos 4 e 5 são os mesmos dos casos 1, 2 e 3 apresentados na Fig. 4.2, visto que a distribuição de probabilidade entre as taxas de dados é a mesma.

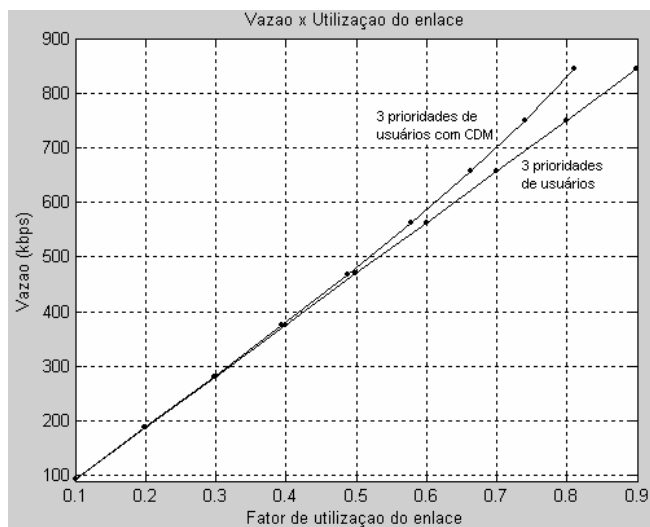


Fig. 4.6 – Vazão em função do fator de utilização do para os casos 4 e 5.

Assim como nos três primeiros casos, estes valores são muito próximos para os casos 4 e 5 quando analisados em função do carregamento do sistema, entretanto quando

analisados em função da utilização do enlace, é possível notar que para uma mesma utilização de enlace, a vazão é maior quando utilizada a técnica de CDM, sendo esta diferença mais acentuada para carregamentos maiores do sistema. Neste caso, para carregamento de sistema de 70%, no caso sem CDM, a utilização do enlace é 70%, porém no caso com CDM, a utilização do enlace é apenas 66.3%.

A Fig 4.6 mostra a vazão do sistema em função da utilização do enlace para os casos 4 e 5.

V. CONCLUSÕES

Neste estudo, o desempenho do enlace direto do sistema 1xEV-DV foi analisado através de simulações, e os tempos médios de atraso dos pacotes e a vazão foram estudados em função ao carregamento de tráfego do sistema.

Através deste estudo, foi possível analisar o comportamento do canal de tráfego de dados do enlace direto do sistema 1xEV-DV em situações com priorização das taxas de dados, e também com a diferenciação de prioridades por usuários. Foi possível verificar a eficiência da utilização da multiplexação por divisão em código (CDM) além da multiplexação por divisão no tempo (TDM) no enlace direto. Com a utilização da técnica CDM, é possível minimizar bastante os tempos médios de atraso dos pacotes, e nas situações em que há diferenciação de prioridade entre usuários, a diminuição dos atrasos é mais perceptível para os usuários de prioridades menores. Além disto, quanto maior o carregamento de tráfego do sistema, maior será o ganho com a utilização da técnica CDM.

Também foi possível analisar o desempenho da vazão do sistema em função do fator de utilização do enlace, verificando que com a utilização da técnica de CDM, é possível obter uma vazão maior para uma mesma utilização do enlace.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP2 C.S0002-C, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release C**, version 1.0, May 2002.
- [2] Motorola Inc., **Technical Overview of 1xEV-DV**, version G1.4, 2002.
- [3] L.Hsu, M. W. Cheng, I. Niva, **Evolution Towards Simultaneous High-Speed Packet Data and Voice Services: An Overview of cdma2000 1xEV-DV**, IEEE 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003), pg. 1313-1317, vol. 2, 23 Feb-1 March 2003.
- [4] A. Soong, S. Oh, A. Damnjanovic, Y. Yoon, **Forward High-Speed Wireless Packet Data Service in IS-2000 – 1xEV-DV**, IEEE Communications Magazine, vol. 41, issue 8, pg. 170–177, August 2003.
- [5] R. T. Derryberry, Lin Ma, Z. Rong, **Performance of the cdma2000 1xEV-DV System**, IEEE Vehicular Technology Conference, 2003 (VTC 2003-Spring), vol. 2, pg. 1163-1167, 22-25 April 2003.
- [6] S. Agrawal, I. Acharya, S. Goel, **Inside 3G Wireless Systems: The 1xEV-DV**
- [7] 3GPP2 C.S0002-D, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release D**, version 1.0, February 2004.
- [8] Z.Pi, R. T. Derryberry, **CDMA2000 1xEV-DV Reverse Link System Design**, IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 (WCNC 2003), vol. 1, pg. 514-519, 16-20 March 2003.
- [9] Y Chung, C. Koo, B. Bae, H. Lee, D. Cho, **An Efficient Reverse Link Data Rate Control Scheme for 1xEV-DV**, IEEE Vehicular Technology Conference, 2001 (VCT 2001 - Fall), vol. 2, pg. 802-823, 7-11 October 2001.
- [10] 3GPP2 C.S0002-A, **Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release A**, version 6.0, Feb 2002.