

Critérios de Aceitação de Tráfego *Handoff* e Escalonadores de Dados para Garantia de QoS no Sistema CDMA 1xEV-DO RA

Leandro Bento Sena Marques^{1,2}, Shusaburo Motoyama¹

¹Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Caixa Postal 6101 – 13083-970 – Campinas – SP – Brasil

²Venturus Centro de Inovação Tecnológica
13092-123 – Campinas – SP – Brasil

{lmarques,motoyama}@dt.fee.unicamp.br

Abstract. *In this paper is presented a study of HTTP handoff traffic impact in the forward link of CDMA 1xEV-DO RA system. This study is based on the introduction of new criteria for HTTP handoff traffic acceptance. These criteria are proposed considering the radio signal strength (RSS) and percentage of buffer occupation. Moreover, this study is carried out with acceptance criteria combined with data schedulers Max C/I (Maximum Carrier Interference), PF (Proportional Fair) and the new Pr/PF (Priority Proportional Fair) proposed here. Different criteria and schedulers are evaluated through metrics of QoS in function of handoff traffic load. The results showed that depending on the chosen criterion and scheduler, it is possible to assure the QoS of 1xEV-DO RA system and still accept a good amount of handoff traffic.*

Resumo. *Neste artigo é apresentado um estudo sobre o impacto do tráfego handoff HTTP no enlace direto do sistema CDMA 1xEV-DO RA. O estudo é baseado na introdução de novos critérios para a aceitação de tráfego hand-off HTTP que leva em conta a potência do sinal recebido e o percentual de ocupação dos buffers. Além disso, o estudo considera os escalonadores de dados Max C/I (Maximum Carrier Interference), PF (Proportional Fair) e a nova proposta Pr/PF (Priority Proportional Fair). Os critérios combinados aos escalonadores são avaliados por meio de métricas de QoS em função da chegada de tráfego handoff. Os resultados mostraram que conforme o critério e escalonador adotados, podem assegurar a QoS do sistema 1xEV-DO e ainda aceitar uma boa quantidade de tráfego handoff.*

1. Introdução

Os mecanismos de *handoff* são empregados nos sistemas celulares a fim de permitir a transferência de conexões das estações móveis (terminais) de uma estação rádio base (ERB) para uma outra ERB quando os terminais rompem ou aproximam-se dos limites da célula. Estes mecanismos asseguram mobilidade sem interrupção dos serviços. Nos sistemas celulares como o CDMA (*Code Division Multiple Access*) IS-95 ou IS-2000 é utilizado o *soft handoff* em que uma única estação móvel comunica-se com mais de uma ERB ao mesmo tempo e assim assegura uma transição mais suave entre as ERBs.

Contudo, nos sistemas que adotam o *soft handoff* são consumidos mais recursos em razão da necessidade de múltiplas ERBs para atender uma única estação móvel.

No sistema 3G CDMA 1xEV-DO R0 [C.S0024 2002] é adotado no enlace direto (ERB para o terminal) o mecanismo *virtual soft handoff* via seleção adaptativa do servidor (ERB). Contudo, no momento em que ocorre a transição de ERBs pode ocorrer atrasos na transmissão de pacotes na qual não impactam o serviço de melhor esforço, mas limitam o desempenho das aplicações sensíveis ao tempo [Naga Bhushan and Au 2006]. Entre os avanços implementados no sistema CDMA 1xEV-DO RA [C.S20024-A 2004], destaca-se a melhoria da seleção adaptativa do servidor no enlace direto do sistema. Nesta atualização, cada terminal utiliza o canal DSC (*Data Source Control*) para sinalizar com antecedência o exato instante de tempo em que acontece a troca de ERBs e desta forma eliminar os atrasos que ocorrem no 1xEV-DO R0.

Os mecanismos de *handoff* tradicionais consideram a potência do sinal [Tekinary and Jabbari 1992], a distância do usuário em relação à estação rádio base (ERB) e a relação SINR (*Signal-to-Interference-and-Noise-Ratio*) para tomada de decisão no processo de *handoff*. Entretanto, devido a crescente demanda das aplicações sensíveis ao tempo os fatores anteriormente citados tornam-se insuficientes para a tomada de decisão num processo de *handoff*.

Vários estudos disponíveis na literatura tem sido direcionados para a análise e otimização de algoritmos *handoff* [Chirag S. Patel and Tokgoz 2006], [Argyriou and Madisetti 2006], [Lin and Lin 2005], [Suman Das and Viswanathan 2005]. Em [Chirag S. Patel and Tokgoz 2006], o mecanismo de *handoff* no sistema 1xEV-DO RA é avaliado através de aproximação teórica e simulações computacionais nas quais são considerados o desvanecimento Rayleigh, a filtragem de sinais e os atrasos durante o *handoff*. A aproximação teórica avalia a probabilidade de erro no *slot* de tempo do sistema 1xEV-DO RA, enquanto as simulações determinam a taxa de erro dos pacotes e o número de *handoffs*. Os resultados do estudo mostram que esta análise pode ser usada para selecionar os parâmetros de *handoff* de acordo com a taxa de erro e o número de *handoffs* desejado. Em [Suman Das and Viswanathan 2005] são apresentados modelos analíticos sofisticados de *hard handoff* e *soft handoff* para o sistema celular CDMA IS-95. Estes modelos *handoff* são estudados em função da indisponibilidade do sistema e a potência média envolvida neste processo.

No estudo apresentado em [Lin and Lin 2005] é proposto o mecanismo de *handoff* QPPQ (*Quality Prediction Priority Queuing*) com base na taxa de pacotes recebidos com sucesso (PSR) para comunicações multimídia em redes sem fio. A tomada de decisão deste algoritmo baseia-se na atual PSR, taxa de degradação PSR e os requisitos mínimos de PSR para classe de serviço do pacote. Os resultados demonstraram que este mecanismo reduz a probabilidade de descarte de pacotes em comunicações multimídia. Entretanto, neste estudo o algoritmo *handoff* proposto é avaliado através de uma rede sem fio qualquer através de fontes poissonianas o que limita a aplicação prática dos resultados existentes neste artigo nas atuais redes de dados IP.

Numa outra linha de estudo os modelos estocásticos apresentados em [Argyriou and Madisetti 2006], simulam o comportamento dos protocolos TCP e TFRC

(*TCP Friendly Rate Control*) no processo de *handoff* entre redes heterogêneas como WLAN, celular ou WMAN. O modelo TCP baseia-se no modelo de Bernoulli na qual é considerada a taxa média de pacotes descartados. Através deste modelo é avaliado como parâmetros específicos relacionados ao *handoff* afetam taxa de perda de pacotes e a vazão TCP. Entretanto, os modelos apresentam pouca precisão em alguns casos, e não trata os casos de *handoffs* entre as células do mesmo sistema.

Neste artigo, são propostos dois novos critérios de aceitação de tráfego que levam em conta a qualidade de serviço dos tráfegos. Além destes critérios é proposto o novo escalonador de dados Pr/PF a fim de garantir a QoS do sistema 1xEV-DO RA durante o aumento de tráfego *handoff* presente no sistema. Nos critérios de aceitação de tráfego *handoff* os tráfegos são discriminados em classes de serviços e são tratados separadamente para satisfazerem a QoS individuais. A aceitação de tráfego *handoff* é baseada em potência do sinal e na ocupação do *buffer* e de forma a não degradar o tráfego interno de uma célula. Os critérios propostos são avaliados em conjunto com escalonadores Max C/I, PF e a nova proposta Pr/PF que podem afetar o desempenho do sistema 1xEV-DO RA.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados alguns detalhes sobre o sistema 1xEV-DO RA. O modelo de simulação e os critérios para a aceitação de tráfego *handoff* são descritos na Seção 3. Na Seção 4 são detalhados os escalonadores de dados adotados neste estudo PF, Max C/I e Pr/PF. A Seção 5 apresenta o cenário avaliado neste estudo. Na Seção 6, são apresentados os resultados obtidos nas simulações e suas respectivas análises. Finalmente, na Seção 7 são apresentadas as principais conclusões do estudo.

2. Sistema 1xEV-DO RA

A primeira versão do sistema 1xEV-DO conhecida como R0 foi padronizada pelo grupo 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*) como uma solução para prover serviços com altas taxas de dados a redes sem fio móvel e fixa [C.S0024 2002]. Esta solução contempla a alta eficiência espectral em razão da introdução de muitas técnicas para a otimização da transmissão de dados [Bi 2004].

Recentemente houve a liberação da revisão 1xEV-DO RA [C.S20024-A 2004] que possibilita taxas de dados de até 3,1 Mbps no enlace direto e 1,8 Mbps no enlace reverso (terminal para ERB) em condições favoráveis. Em particular nesta revisão RA a eficiência espectral no enlace reverso praticamente duplicou e dobrou o número de usuários de aplicações sensíveis ao tempo que podem ser suportados no sistema simultaneamente [Naga Bhushan and Au 2006]. Através das melhorias introduzidas nesta revisão tornou-se possível uma redução significativa da latência e melhoria das aplicações sensíveis ao tempo como, por exemplo, as aplicações de VoIP, navegação na Web, vídeo sob demanda para uma grande quantidade de usuários.

A técnica básica de acesso do sistema 1xEV-DO é o CDMA. Entretanto, para otimizar a velocidade de transmissão é utilizada também a multiplexação por divisão de tempo (TDM), presente no enlace direto. O objetivo da utilização de TDM é maximizar a potência da ERB para um único usuário em um dado instante de tempo. É utilizada uma única portadora de largura de banda de 1,25 MHz. Cada TS (*Time-Slot*) tem 1,67 ms de comprimento e o conjunto de 16 TSs forma um quadro 1xEV-DO de 26,67 ms, como

mostra a Figura 1.

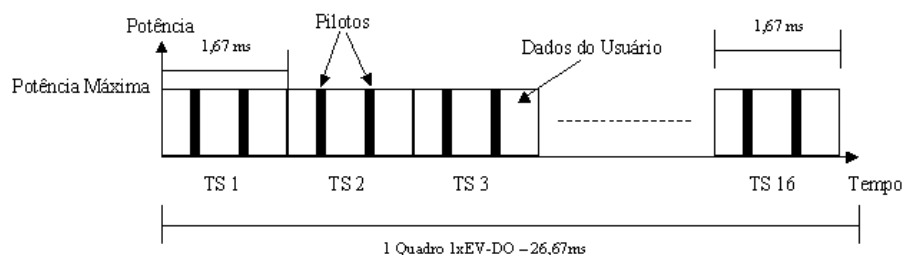


Figura 1. Estrutura do Enlace Direto 1xEV-DO e a Divisão em *Time-Slots* (TS)

Sob as condições de um ambiente móvel sem fio, o sinal de rádio frequência pode variar significativamente. Desta forma, de acordo com a potência do sinal recebido o terminal pode suportar esquemas de modulação mais altos (mais bits por símbolo) e corretores de erro mais fracos ou utilizar esquemas de modulação mais robustos e corretores de erros mais fortes.

A condição do canal é determinada pela transmissão de pilotos no enlace direto e o terminal informa a condição do canal através do enlace reverso (terminal para a ERB). Os pilotos são transmitidos em intervalos pré-determinados dentro de cada TS como pode ser visto na Figura 1.

As taxas de dados alcançadas pelo enlace direto na revisão CDMA 1xEVDO RA variam de 38,4 kbps a 3072,0 kbps por setor de uma célula. Um dos três esquemas de modulação QPSK, 8PSK e 16QAM é utilizado dependendo da taxa de dados. Além disso, diferentes quantidades de TSs são alocados para cada taxa de dados. A Tabela 1 exibe em detalhes as diferentes taxas de dados em função da modulação, dos TSs e o tamanho dos pacotes.

Tabela 1. Tipos de Modulação por Taxas de Dados - Enlace Direto 1xEV-DO RA

Classe de Cobertura	Taxa (kbps)	Bits por Pacote	Time Slots	Modulação	Fator de Código	Duração/Pacote (ms)
1	38,4	1024	16	QPSK	1/5	26,67
2	76,8	1024	8	QPSK	1/5	13,33
3	153,6	1024	4	QPSK	1/5	6,67
4	307,2	1024	2	QPSK	1/5	3,33
5	614,4	1024	1	QPSK	1/3	1,67
6	921,6	3072	2	8PSK	1/3	3,33
7	1228,8	2048	1	QPSK	1/3	1,67
8	1536,0	5120	2	16QAM	1/3	3,33
9	1843,2	3072	1	8PSK	1/3	1,67
10	2457,6	4096	1	16QAM	1/3	1,67
11	3072,0	5120	1	16QAM	1/3	1,67

A quantidade de TSs alocados varia de acordo com a taxa de dados. Desta forma, para manter um desempenho equilibrado entre as vazões de todos os usuários ativos sob

diversas condições de canais são alocados mais TSs para taxas menores e menos TSs para taxas maiores. Por exemplo, na Tabela 1 são alocados 16 TSs para a taxa de 38,4 kbps e 1 TS para a taxa de 2457,6 kbps.

3. Modelo de Simulação

Neste estudo, o desempenho do sistema 1xEVDO RA é avaliado durante o processo de *handoff*, isto é, além do tráfego interno da célula 1xEV-DO RA são incorporados nesta célula tráfegos *handoff* provenientes de outras n células vizinhas. A fim de assegurar a QoS do tráfego interno das células durante o processo *handoff* do sistema 1xEV-DO RA são propostas estratégias para aceitação de tráfego *handoff* em conjunto com a escolha dos escalonadores de dados Max C/I, PF e a nova proposta Pr/PF.

3.1. Modelo *Handoff* 1xEV-DO RA

O modelo *handoff* simplificado adotado neste estudo considera o impacto da entrada de tráfego *handoff* proveniente de várias ERBs numa única ERB, ou seja, os terminais de outras células adjacentes movem-se de uma ERB N para a ERB 1 como ilustra a Figura 2. Desta forma, um terminal que partiu de uma ERB em direção a ERB destino pode ser atendido de acordo com a distribuição de probabilidade da taxa de dados da Tabela 2, isto é, dependendo da proximidade da ERB destino, da velocidade do terminal, da condição do canal naquele instante de tempo entre outros fatores. O terminal em *handoff* pode ser atendido por qualquer taxa de dados segundo a distribuição de probabilidade presente na Tabela 2.

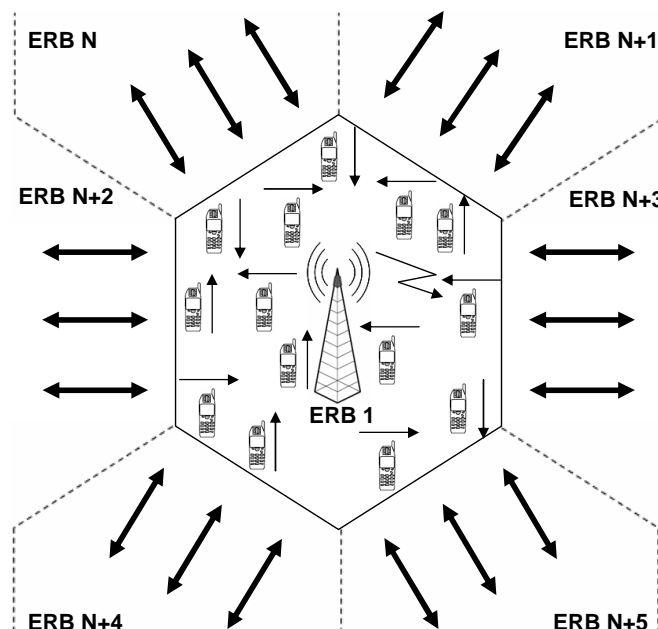


Figura 2. Modelo *Handoff* 1xEV-DO RA

Para representar o cenário exibido pela Figura 2, o tráfego total de chegada de pacotes λ_{total} é dividido entre λ_h e λ_i , ou seja, tráfego de chegada *handoff* e tráfego de chegada dos pacotes internos da célula respectivamente. O uso das taxas λ é meramente ilustrativo com o propósito de diferenciar os tráfegos internos e em *handoff*. O servidor

1xEV-DO RA atende ao pacote conforme a Tabela 1 mediante a condição do canal no momento do atendimento do pacote. No sistema 1xEV-DO com a aplicação da técnica TDM somente um pacote é atendido por vez com o máximo de potência. Além disso, neste modelo do sistema pode haver até quatro filas finitas de acordo com as prioridades atribuídas aos tráfegos que se pretende avaliar.

Tabela 2. Distribuição de Probabilidade pela Taxa de Dados

Classes de Cobertura	Taxa (kbps)	PCobertura
1	38,4	2%
2	76,8	3%
3	153,6	8%
4	307,2	15%
5	614,4	20%
6	921,6	14%
7	1228,8	13%
8	1536,0	10%
9	1843,2	8%
10	2457,6	4%
11	3072,0	3%

A representação de cada ERB segue o modelo da Figura 3a. Os pacotes internos ou em *handoff* gerados na rede núcleo são enviados até um *buffer* da ERB e ficam esperando até o atendimento. O atendimento (ou a transmissão) dos pacotes é feito de acordo com a Tabela 1. Dessa maneira, o número de TSs utilizados para transmitir um pacote varia de acordo com a taxa de dados. Os pacotes são eventualmente segmentados para acomodarem nas taxas que serão enviados. Assim, o modelo do enlace direto do sistema 1xEV-DO pode ser representado conforme a Figura 3b.

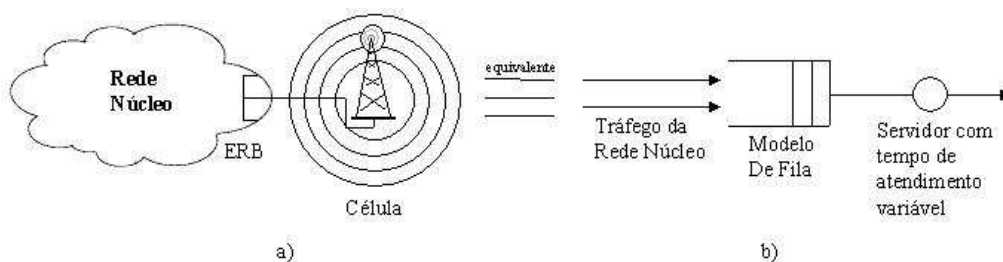


Figura 3. Modelo 1xEV-DO RA

As seguintes suposições são adotadas. Com o objetivo de obter uma melhor aproximação das atuais redes de dados são utilizadas fontes de tráfego HTTP. As fontes HTTP utilizadas neste estudo são as mesmas propostas em [Hoc 2001]. Em determinado momento são associadas prioridades aos pacotes antes de chegar ao escalonador. O escalonador baseia-se nos esquemas Max C/I, PF ou ainda Pr/PF. O *buffer* de cada fila tem tamanho finito e os pacotes HTTP são armazenados no esquema FIFO. Neste modelo *handoff* são desconsiderados o ruído e as interferências de outras células. O impacto da

saída de tráfego *handoff* da célula 1xEV-DO RA é desconsiderado devido ao maior fluxo de entrada de tráfego *handoff*.

As métricas de QoS avaliadas neste artigo são: a vazão, o atraso médio dos pacotes e o percentual de perda de pacotes, todos em função da taxa de chegada de tráfego *handoff*. Para a simulação deste modelo foi utilizada a ferramenta de *software* Matlab.

As classes de coberturas adotadas estão distribuídas conforme a estimativa mostrada na Tabela 2. Os valores determinísticos, ou seja, fixos utilizados na distribuição de probabilidade da cobertura (PCobertura) não são dados reais, mas são apenas estimativas que consideram porcentagens de tráfegos maiores nas taxas intermediárias e porcentagens menores nas taxas altas ou baixas.

3.2. Critérios de Aceitação de Tráfego *Handoff*

Os mecanismos de *handoff* tradicionais consideram a potência do sinal recebido como um dos fatores básicos para a tomada de decisão dos processos de *handoff* [Tekinary and Jabbari 1992]. Contudo, devido à crescente demanda das aplicações sensíveis ao tempo, os mecanismos de *handoff* tradicionais não são mais suficientes para a tomada de decisão num processo de *handoff*.

Desta forma, para atender aos estritos requisitos de QoS (baixos atrasos, *jitter* com variação reduzida e o pequeno percentual de perda de pacotes) das aplicações em tempo real e promover a integração entre as células da maneira mais suave possível são propostos novos critérios de aceitação de tráfego *handoff*. Estes critérios consideram além da potência do sinal recebido também o percentual de ocupação dos *buffers* como fatores determinantes para a tomada de decisão num processo de *handoff*.

3.2.1. Critério 1 de Aceitação de Tráfego *Handoff*

Neste critério 1 de aceitação, os pacotes são divididos em quatro tipos de prioridades e discriminados em diferentes *buffers*, um para cada prioridade. Esta divisão dos pacotes em quatro prioridades está em concordância com a arquitetura DiffServ, em que os usuários de serviços podem ser classificados de acordo com a qualidade de serviço (QoS) ouro, prata, bronze ou o melhor esforço. Neste critério os pacotes internos da célula 1xEV-DO RA somente são descartados quando o *buffer* estiver cheio. No caso dos pacotes *handoff* ocorre descarte nas situações em que o *buffer* esteja cheio ou quando o pacote *handoff* pertencer às classes de cobertura inferiores 1, 2, 3 e 4 (vide Tabela 2), isto é, as classes que se caracterizam por apresentar sinais de baixa potência. A Figura 4 ilustra este critério em que λ_{pix} representa a taxa de perda de pacotes internos em razão do *buffer* estar cheio e $(\lambda_{phx} + \lambda_{phci})$ simboliza a taxa de perda de pacotes *handoff* devido ao transbordamento do *buffer* e também ao descarte das classes de cobertura inferiores.

3.2.2. Critério 2 de Aceitação de Tráfego *Handoff*

No critério 2 de aceitação, a seguinte estratégia é usada: até 30% de ocupação do *buffer* aceitam-se ambos os tráfegos interno e *handoff*, em outras palavras não ocorrem descarte de pacotes. Quando o nível de ocupação do *buffer* está entre 30% e 50% ocorre somente o

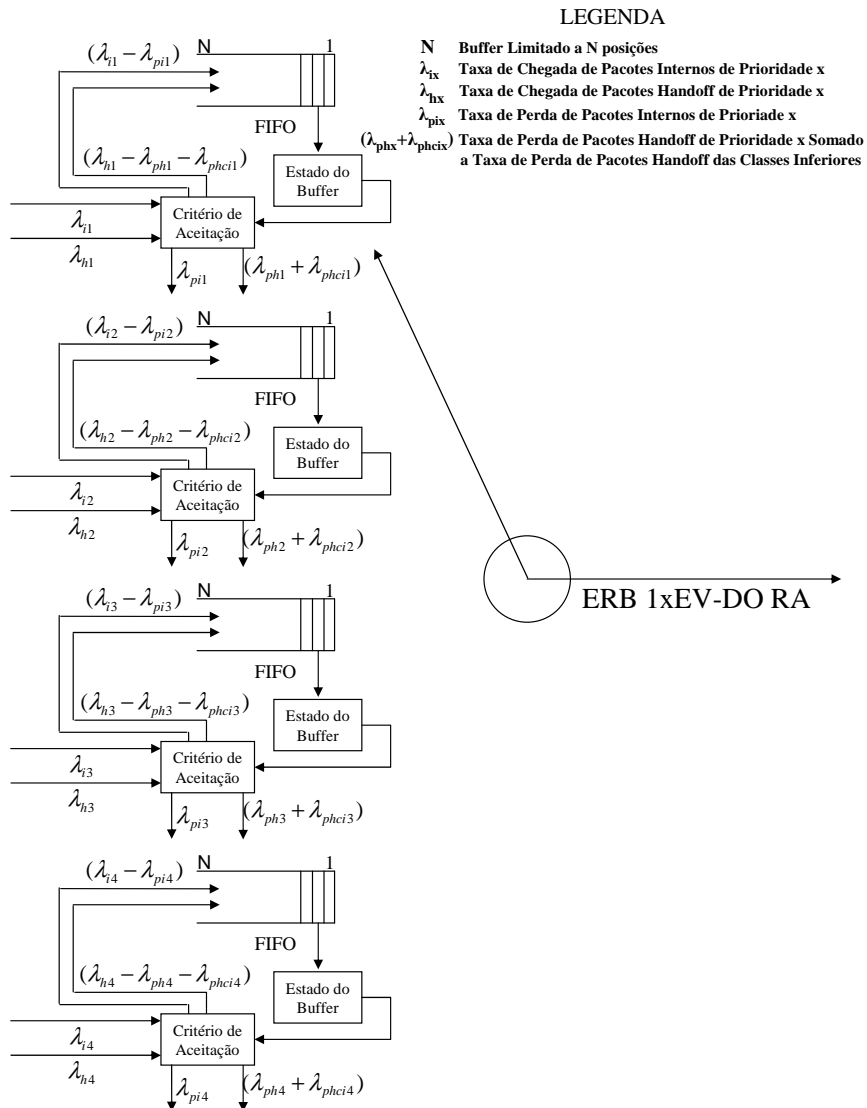


Figura 5. Critério 2 de Aceitação de Tráfego Handoff

cada usuário tenha diferentes condições de canal. A Equação 1 mostra o cálculo da razão do escalonador PF onde (i) denota o usuário, $R_{inst(i)}$ a taxa de dados instantânea do usuário i e $R_{media(i)}$ a vazão média do usuário i. Ambas as taxas instantânea e média são determinadas dinamicamente durante as simulações.

$$Razao_{(i)} = \frac{R_{inst(i)}}{R_{media(i)}} \quad (1)$$

4.2. Maximum Carrier Interference (Max C/I)

No esquema de atendimento Max C/I, a cada TS é atendido o usuário com a maior taxa de dados instantânea. Esta característica do escalonador assegura ao sistema 1xEV-DO RA altas taxas de vazão uma vez que são atendidos os usuários em melhores condições de canal. Por outro lado, os usuários com piores condições de canal são penalizados com maiores atrasos e indisponibilidade de serviço. Entretanto, em ambientes em que

ocorrem desvanecimentos rápidos os usuários com piores condições de canal possuem maiores chances de serem atendidos.

4.3. Priority Proportional Fair (Pr/PF)

O escalonador híbrido Pr/PF, proposto neste estudo, combina o escalonador prioritário com PF. Neste esquema os pacotes com prioridades mais altas Pr1 (Prioridade 1) e Pr2 são primeiramente atendidos enquanto os pacotes com Pr3 e Pr4 são atendidos segundo o escalonador PF. A Figura 6 mostra o escalonador proposto Pr/PF. Desta forma, este escalonador contempla os usuários que necessitam de atendimentos diferenciados e dispõem-se a pagar mais pelos serviços e também aqueles usuários com baixas restrições de QoS que toleram atrasos durante a comunicação.

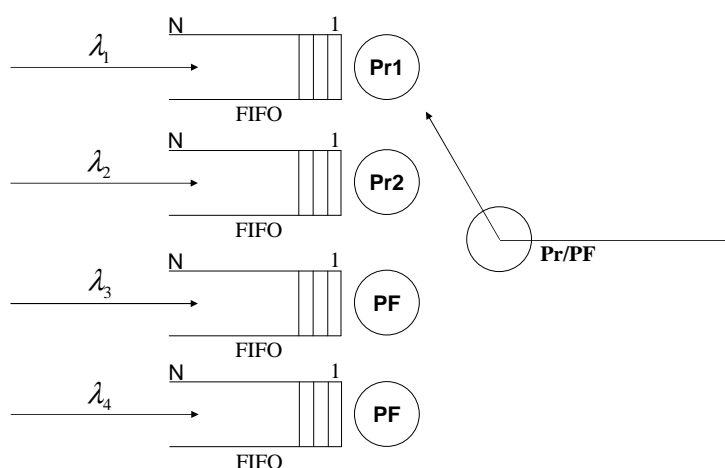


Figura 6. Escalonador de Dados Pr/PF

5. Cenário Avaliado

O cenário apresentado neste estudo avalia o desempenho do sistema 1xEV-DO RA durante o processo de *handoff* através de novos critérios para aceitação de tráfego *handoff*. Além disso, estes critérios são avaliados em conjunto com os escalonadores de dados Max C/I, PF e o novo escalonador proposto neste estudo Pr/PF.

A distribuição de probabilidade das prioridades adotadas neste estudo são apenas estimativas baseadas em proporções maiores para os tráfegos de baixa prioridade e em proporções menores para os tráfegos de alta prioridade. Esta distribuição visa representar o cenário em que há um menor número de usuários dispostos a pagar mais para obter serviços diferenciados. Além da distribuição de probabilidade das prioridades, a Tabela 3 exibe os tamanhos dos *buffers* para cada tipo de prioridade, ou seja, o número máximo de pacotes permitidos no *buffer* relativo a cada prioridade. Outro objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da variação do tamanho do *buffer* no desempenho do sistema 1xEV-DO RA. Desta forma, dois tamanhos de *buffers* são considerados para cada prioridade.

O cenário em estudo consiste em manter fixo o número de fontes internas HTTP (6 unidades) da célula 1xEV-DO RA e aumentar o número de fontes HTTP *handoff* de 0 até 29 fontes. Este cenário avalia a combinação dos novos critérios de aceitação de tráfego *handoff* juntamente com a escolha do escalonador de dados com o objetivo de

Tabela 3. Distribuição de Prioridades X Tamanho dos *Buffers*

Prioridade	Proporção	Buffer1	Buffer2
1	10%	1	10
2	25%	3	25
3	30%	3	30
4	35%	3	35
Total	100%	10	100

assegurar a QoS no sistema 1xEV-DO RA. A Tabela 4 mostra o cenário avaliado. Nota-se pela Tabela 4, por exemplo, o cenário em que há um total de 15 fontes HTTP. Deste total 9 delas, ou seja, 60% do total pertencem ao tráfego HTTP *handoff* enquanto as outras 6 fontes representam os outros 40% do tráfego HTTP interno da célula.

Tabela 4. Cenário Avaliado

Percentual de Tráfego Interno	100%	80%	40%	26%	17%
Percentual de Tráfego <i>Handoff</i>	0%	20%	60%	74%	83%
Nº de Fontes HTTP Internas	6	6	6	6	6
Nº de Fontes HTTP <i>Handoff</i>	0	1	9	17	29
Nº Total de Fontes HTTP	6	7	15	23	35

6. Análise dos Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das simulações do sistema 1xEV-DO RA. Os diferentes critérios para aceitação de tráfego *handoff* estão identificados pelas siglas Pot e PotOcp. A sigla Pot representada nos gráficos pelas linhas tracejadas refere-se ao critério 1 na qual se leva em conta a potência do sinal recebido. A outra sigla PotOcp representada pelas linhas contínuas nos gráficos faz referência ao critério 2 na qual são consideradas a potência do sinal recebido e a ocupação dos *buffers* na tentativa de assegurar a melhor QoS no processo de *handoff* do sistema 1xEV-DO RA. As simulações computacionais apresentam em geral um desvio padrão de 3,01% do valor da média enquanto o intervalo de confiança de 95% apresenta 1,85% do valor da média.

Além das siglas que identificam os critérios para a aceitação de tráfego *handoff* são utilizadas as siglas MXCI, PF e Pr/PF representando, respectivamente, os escalonadores de dados *Maximum Carrier Interference*, *Proportional Fair* e *Priority Proportional Fair*. Por fim, os números nos finais das siglas que identificam os escalonadores de dados, associam prioridades a cada tipo de tráfego variando de 1 a 4, isto é, da prioridade mais alta para prioridade mais baixa.

Na Figura 7 é exibida a vazão do sistema 1xEV-DO RA relacionado ao tráfego HTTP interno de prioridade 1 para a condição de *buffer* 1 (veja a Tabela 3) em função do aumento do percentual de tráfego HTTP *handoff*. A vazão do tráfego interno de prioridade 1 no sistema 1xEV-DO RA independente do critério de aceitação e do escalonador de dados adotado decresce aproximadamente de 9 kbps para entre 8,5 a 7 kbps conforme ocorre o aumento do percentual de tráfego *handoff*. O comportamento destas curvas mostra que

o critério 2 de aceitação de tráfego *handoff* (PotOcp) obtém vazões menores ao longo da simulação em virtude do descarte de pacotes HTTP internos quando a ocupação do *buffer* está acima de 50%. Por outro lado, o critério 1 (Pot) apresenta vazões maiores, pois os pacotes internos somente são descartados quando o *buffer* estiver cheio. Do ponto de vista de escalonador de dados, o escalonador Pr/PF, independente do critério de aceitação de tráfego *handoff*, apresenta as maiores vazões durante a simulação. Este desempenho é resultado do aumento da eficiência do sistema 1xEV-DO RA em consequência do maior número de usuários atendidos e da redução de pacotes descartados.

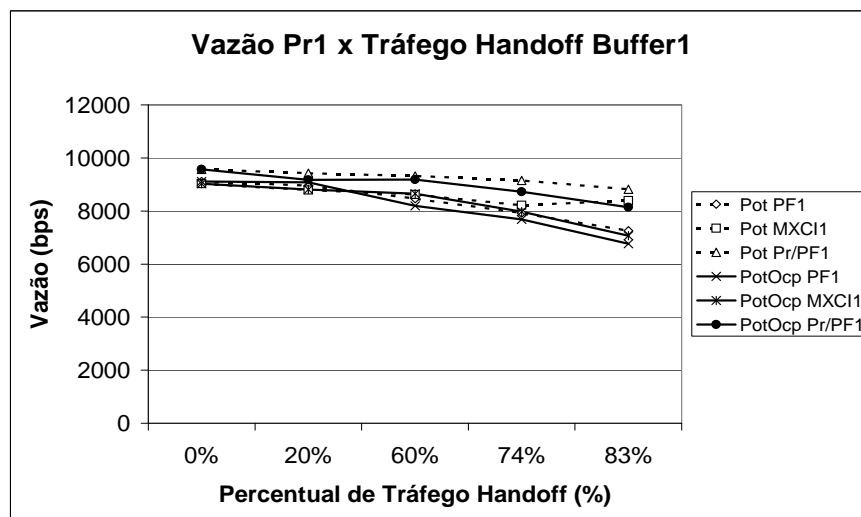


Figura 7. Vazão do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 1 no *Buffer* 1 da Célula 1xEV-DO RA

A Figura 8 mostra a vazão do sistema 1xEV-DO RA do tráfego HTTP interno dos pacotes de prioridade 4 para a condição de *buffer* 2. Nota-se nesta figura a diminuição das vazões dos esquemas avaliados variando de 34 kbps até aproximadamente 31 kbps de acordo com o aumento do percentual de tráfego HTTP *handoff*. Devido à baixa prioridade dos pacotes de prioridade 4 as vazões destes usuários são altamente sensíveis ao aumento de tráfego *handoff*, isto é, conforme se aumenta o tráfego *handoff* maior é o número de pacotes de prioridade 4 descartados no sistema. Esta sensibilidade torna-se mais acentuada a partir do percentual de 74% de tráfego *handoff*. Nos pontos em que o percentual de tráfego *handoff* são predominantes na célula 1xEV-DO RA, o critério 2 garante vazões maiores aos usuários de baixa prioridade com exceção do escalonador PF. Este desempenho é ainda melhorado quando utilizado o escalonador Pr/PF em conjunto com o critério 2 na qual proporciona vazões entre 34 kbps e 31,8 kbps.

Na Figura 9 é mostrada a vazão do sistema 1xEV-DO RA, porém para o tráfego HTTP *handoff* dos pacotes de prioridade 4 no *buffer* 2. Nesta figura como esperado, as vazões do tráfego *handoff* crescem gradativamente conforme se aumenta o número de pacotes *handoff* presentes no sistema. O critério PotOcp obtém as maiores vazões com máximo de 151 kbps e mínimo de 5,5 kbps durante a simulação. Este desempenho é resultante do descarte de pacotes *handoff* somente ocorrer quando, no mínimo, há uma ocupação superior a 30% do *buffer* 2. No outro critério Pot, os pacotes *handoff* são descartados invariavelmente quando estes pertencerem às classes de coberturas inferiores. Desta forma, as vazões deste critério são menores do que as obtidas pelo critério PotOcp. Deve-

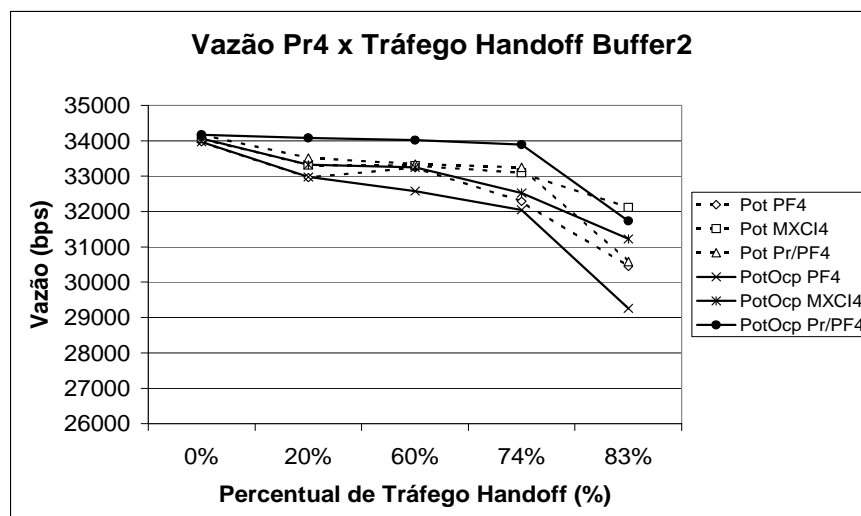


Figura 8. Vazão do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 4 no *Buffer 2* da Célula 1xEV-DO RA

se salientar que o escalonador Pr/PF4, independente do critério de aceitação, apresenta as maiores vazões de tráfego *handoff*, uma vez que maximiza a alocação de recursos do sistema.

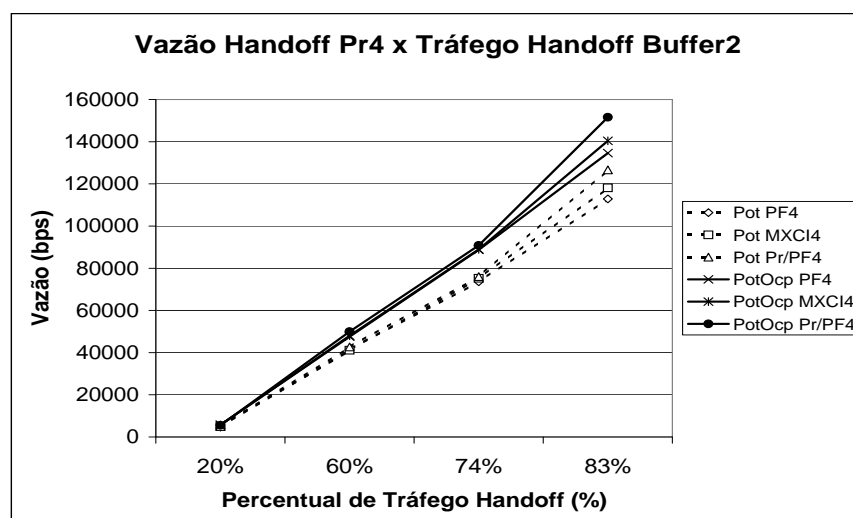


Figura 9. Vazão do Tráfego *Handoff* de Pacotes de Prioridade 4 no *Buffer 2* da Célula 1xEV-DO RA

O atraso médio dos pacotes HTTP internos no sistema 1xEV-DO RA com prioridade 1 para a condição de *buffer 1* é mostrado na Figura 10. Os menores atrasos ao longo da simulação são conferidos ao escalonador Pr/PF em que é dada a prioridade absoluta ao usuário de prioridade mais alta, variando de 8,5 ms até 13,9 ms. O escalonador de dados Max C/I apresenta desempenho intermediário com atrasos de 19 ms a 35 ms, consequência direta da escolha do escalonador por usuários com as maiores taxas de dados. Por outro lado, o escalonador PF1 possui o pior desempenho quando comparado aos outros escalonadores de dados com os atrasos variando de 19 ms a 80 ms. Os critérios de

aceitação de tráfego *handoff* pouco influíram no desempenho do sistema 1xEV-DO RA sob o ponto de vista dos usuários de alta prioridade.

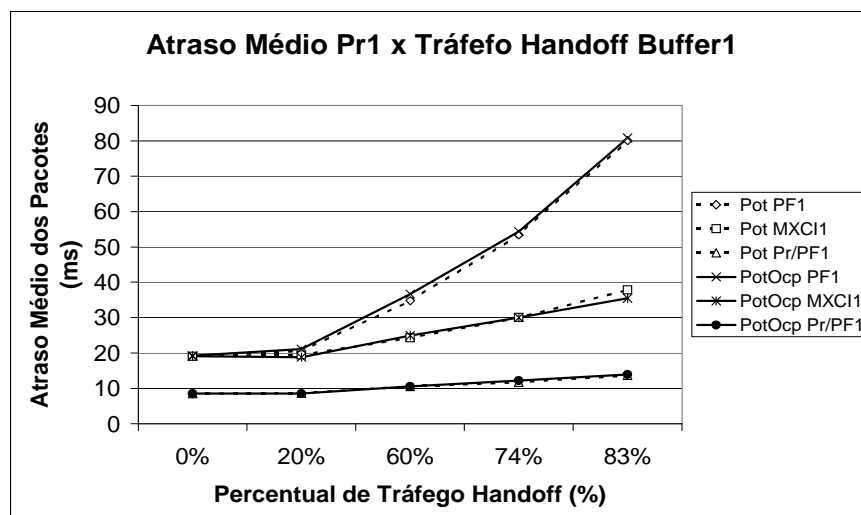


Figura 10. Atraso Médio do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 1 no Buffer 1 da Célula 1xEV-DO RA

Na Figura 11 avalia-se o atraso médio dos pacotes HTTP internos do sistema 1xEV-DO RA, porém com o *buffer 2*, a fim de verificar o impacto do tamanho dos *buffers* no desempenho do sistema. O comportamento das curvas de dados é semelhante ao da Figura 10. Contudo, em razão do aumento do *buffer* de 10 para 100 posições, os atrasos verificados são maiores do que na figura anterior devido ao maior número de pacotes presentes no sistema. Por exemplo, para o esquema PotOcp PF1 o atraso varia de 25 ms a 309 ms, ou seja, o atraso é quase 4 vezes maior do que PotOcp PF1 com *buffer 1*. Outro ponto notado é o menor atraso do esquema Pot PF1 na comparação com o PotOcp PF1 ao longo da simulação, consequência direta do maior número de pacotes *handoff* descartados do esquema Pot PF1. A exceção é o escalonador de dados Pr/PF1 em que o atraso observado é muito próximo do obtido na Figura 10, variando de 8,75 ms a 14,6 ms devido à prioridade absoluta associada ao usuário de prioridade 1. Nota-se que mesmo aumentando-se o número de posições no *buffer* em dez vezes em relação ao *buffer 1*, o escalonador Pr/PF manteve a eficiência no atendimento dos pacotes internos da célula 1xEV-DO RA.

Na Figura 12 é mostrado o atraso médio dos pacotes HTTP internos no sistema 1xEV-DO RA com prioridade 4 para a condição de *buffer 2*. Nesta figura é evidente o alto índice de atrasos em função da baixa prioridade do usuário e da capacidade do *buffer* de 100 posições. Além disso, o critério de aceitação de tráfego *handoff* PotOcp apresenta maiores atrasos ao longo da simulação em virtude do maior número de pacotes internos e em *handoff* presentes no sistema. Ao contrário do critério PotOcp, o critério Pot obtém atrasos menores devido ao elevado descarte de pacotes *handoff*. Novamente, destaca-se o escalonador Pr/PF4 na qual mesmo para um percentual de 83% de tráfego *handoff*, apresenta atrasos de 255 ms para o critério PotOcp e 155 ms para o critério Pot. Por outro lado, os escalonadores MXCI4 e PF4 apresentam atrasos superiores a 400 ms independente do critério de aceitação de tráfego *handoff*.

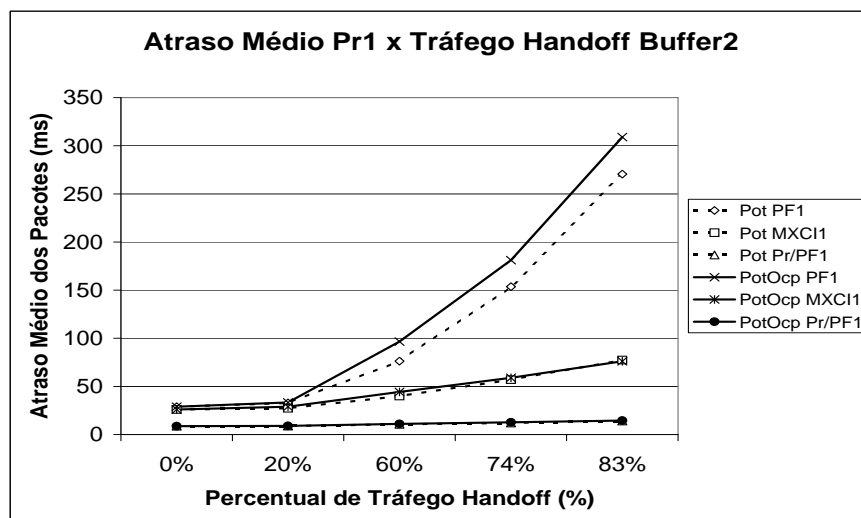


Figura 11. Atraso Médio do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 1 no *Buffer* 2 da Célula 1xEV-DO RA

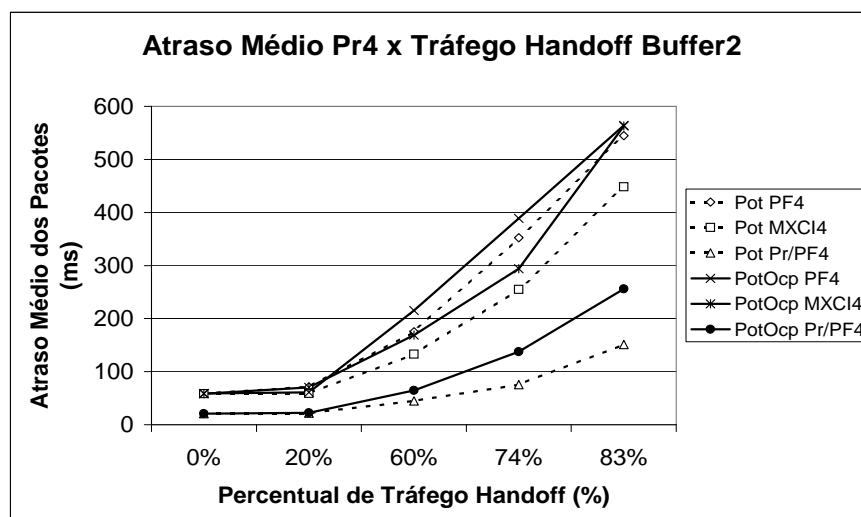


Figura 12. Atraso Médio do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 4 no *Buffer* 2 da Célula 1xEV-DO RA

A Figura 13 exibe o atraso médio dos pacotes HTTP *handoff* no sistema 1xEV-DO RA com prioridade 4 para a condição de *buffer* 2. O critério PotOcp apresenta os maiores atrasos durante a simulação devido ao maior número de pacotes *handoff* presentes no sistema. Por outro lado, o critério Pot obtém os menores atrasos em razão dos elevados índices de descarte de pacotes *handoff*. Na comparação com os atrasos dos pacotes internos da figura anterior, observam-se os menores atrasos dos pacotes *handoff* ao custo de perdas significativas de pacotes *handoff*. O escalonador Pr/PF4 garante os menores atrasos, independente do critério de aceitação, com atrasos inferiores a 200 ms no pior caso. Além disso, destaca-se a tendência negativa em termos de desempenho do escalonador Max C/I ao apresentar elevados atrasos a partir do percentual *handoff* de 74%. Este comportamento resulta do favorecimento dos usuários em melhores condições de canal e da penalização dos usuários em piores condições de canal, mais distantes da ERB.

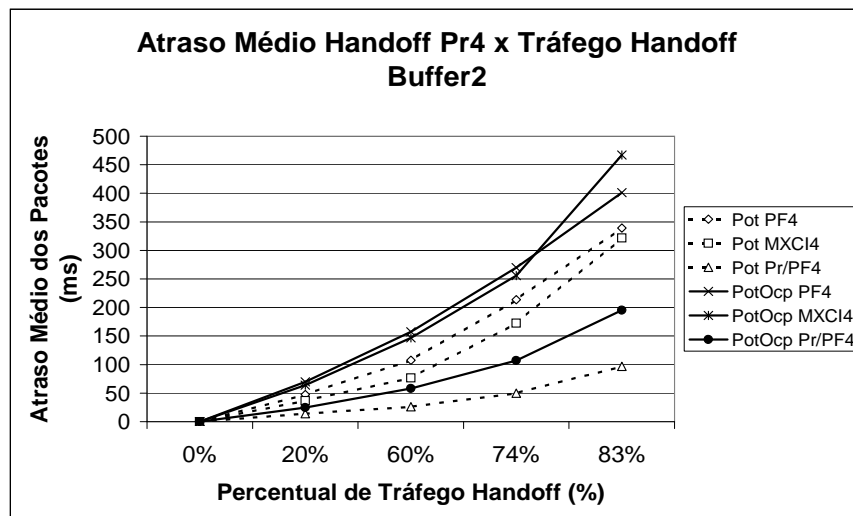


Figura 13. Atraso Médio do Tráfego *Handoff* de Pacotes de Prioridade 4 no *Buffer 2* da Célula 1xEV-DO RA

A Figura 14 mostra o percentual de perda de pacotes de prioridade 4 do tráfego HTTP interno para o *buffer 1* no sistema 1xEV-DO RA. O critério 1 para aceitação de tráfego *handoff*, baseado na potência do sinal recebido (Pot), apresenta menores percentuais de descarte na simulação quando comparados aos seus equivalentes do critério 2 (PotOcp). Estes comportamentos refletem as políticas de aceitação de tráfego *handoff* destes critérios, uma vez que no critério PotOcp para uma ocupação maior que 50% do *buffer* ocorre o descarte de pacotes HTTP internos, enquanto no critério Pot somente ocorre o descarte de pacotes HTTP internos quando o *buffer* estiver cheio. Por outro lado, apesar do critério Pot beneficiar o tráfego HTTP interno com baixo índice de descarte de pacotes ele acaba por penalizar o tráfego HTTP *handoff* com altos índices de descarte. Além disso, quando combinado o escalonador de dados Pr/PF4 com o critério Pot, obtém-se o menor percentual de descarte de pacotes de prioridade 1 variando de 0,31% até 0,44% durante a variação do percentual de tráfego *handoff*.

A próxima Figura 15 exibe o percentual de perda de pacotes de prioridade 4 do tráfego HTTP interno, porém para o *buffer 2* no sistema 1xEV-DO RA. O principal ganho na utilização do esquema de alocação de *buffer 2* trata-se da redução da perda de pacotes HTTP do tráfego interno uma vez que os percentuais de perda são inferiores a 0,37%, mesmo para um percentual de tráfego *handoff* de 83% do tráfego total. Como mostrado na Figura 11 o critério Pot de aceitação de tráfego é mais eficiente em percentuais de perda de pacotes do que o critério PotOcp quando considerado apenas o descarte de pacotes HTTP internos do sistema. Outro fator determinante para o desempenho do sistema é adoção do escalonador Pr/PF4 na qual diminui ainda mais a perda dos pacotes internos. No pior caso quando considerado o critério PotOcp em conjunto com o escalonador Pr/PF4 o percentual de descarte atinge no máximo 0,06% para uma proporção de 83% de tráfego *handoff* na célula.

Por fim, na Figura 16 é mostrado o percentual de perda de pacotes de prioridade 4 do tráfego HTTP *handoff*, para o *buffer 2* no sistema 1xEV-DO RA. Nota-se nesta figura os altos índices de descarte de pacotes HTTP *handoff*, uma vez que na concepção dos

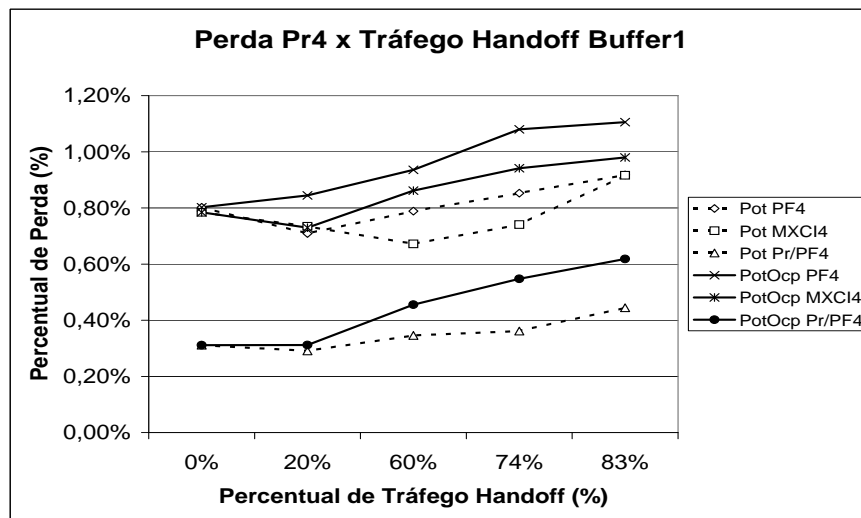


Figura 14. Percentual de Perda do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 4 no Buffer 1 da Célula 1xEV-DO RA

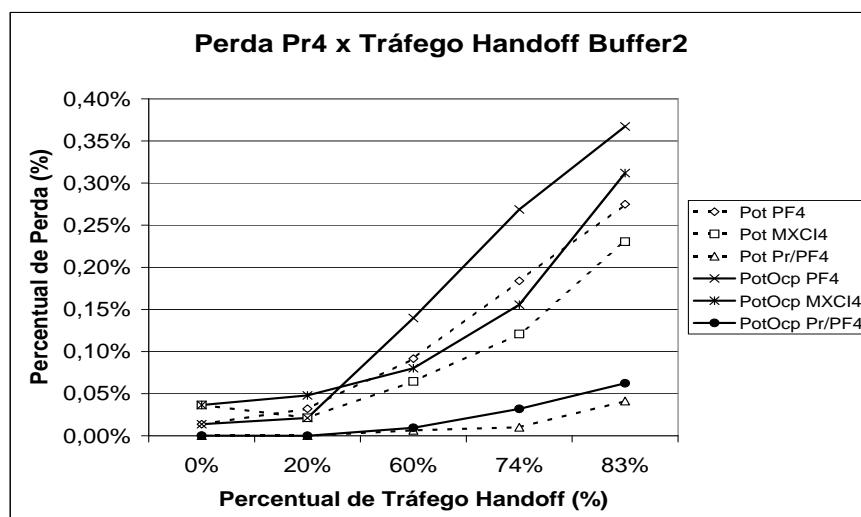


Figura 15. Percentual de Perda do Tráfego Interno de Pacotes de Prioridade 4 no Buffer 2 da Célula 1xEV-DO RA

critérios de aceitação de tráfego *handoff* nas células 1xEV-DO RA, priorizou-se o tráfego HTTP interno das células. Desta forma, devido o critério Pot descartar pacotes *handoff* das classes de cobertura inferiores 1, 2, 3 e 4 impôs como consequência altos percentuais de descarte comparados ao PotOcp com taxas de até 7,4% para o Pot PF4. Por outro lado, o critério PotOcp garante uma redução de aproximadamente 50% do percentual de perda de pacotes HTTP *handoff* na comparação com o critério Pot conforme se aumenta o percentual de tráfego *handoff*. Do ponto de vista dos escalonadores de dados, o escalonador Pr/PF4 garante os menores índices de descarte de pacotes *handoff* ao longo da simulação para ambos os critérios de aceitação de tráfego *handoff* na comparação com os escalonadores MXCI4 e PF4.

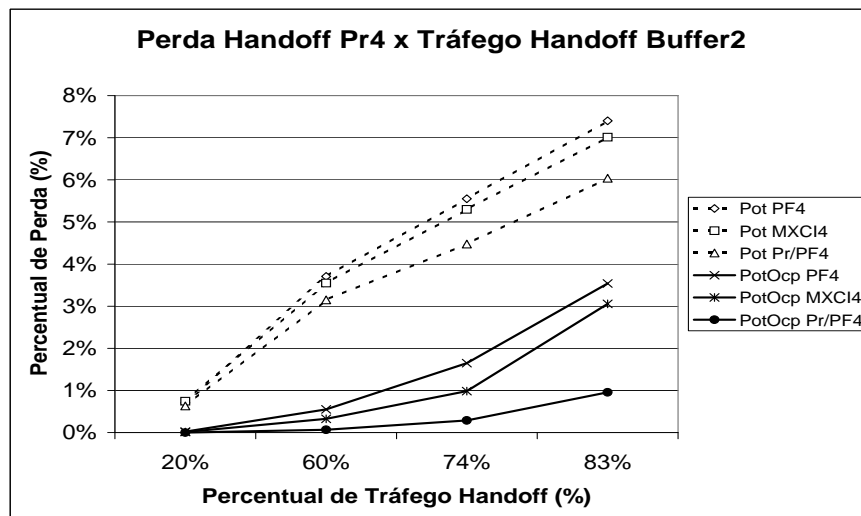


Figura 16. Percentual de Perda do Tráfego *Handoff* de Pacotes de Prioridade 4 no *Buffer 2* da Célula 1xEV-DO RA

7. Conclusões

Neste artigo, foram propostos e avaliados critérios de aceitação tráfego *handoff* em conjunto com os escalonadores de dados PF, Max C/I e a nova proposta Pr/PF, no intuito de assegurar QoS do tráfego interno da célula e minimizar a degradação de desempenho causado pelo aumento de tráfego *handoff* no sistema móvel 1xEV-DO RA. Os impactos destes critérios de aceitação de tráfego juntamente com a escolha dos escalonadores de dados PF, Max C/I e Pr/PF foram avaliados através de simulações computacionais feitas na ferramenta de *software* Matlab. A vazão, o atraso médio e o percentual de perda dos pacotes foram estudados em função da taxa de chegada de pacotes *handoff*.

O critério de aceitação de tráfego Pot apresentou, em geral, o melhor desempenho nos cenários avaliados quando comparado ao PotOcp do ponto de vista do tráfego interno de pacotes HTTP. Entretanto, o desempenho aparentemente melhor do critério Pot está condicionado ao alto percentual de descarte de pacotes *handoff* das classes de cobertura inferiores. Desta forma, caso o principal objetivo seja priorizar os tráfegos internos das células 1xEV-DO RA o critério Pot é mais adequado para atender a este requisito. Caso contrário, se o tráfego interno e em *handoff* possuírem o mesmo grau de importância para a operadora, o critério de aceitação PotOcp proverá o melhor atendimento a ambos os tráfegos.

Os resultados também demonstraram que o escalonador de dados proposto Pr/PF contribuiu significativamente para a melhora no desempenho do sistema 1xEV-DO RA na maioria das métricas de QoS avaliadas e conseqüentemente apresentou a menor degradação quando se aumentou a carga de tráfego *handoff* no sistema. Além disso, através deste novo escalonador, os usuários com prioridades mais altas obtiveram atendimento diferenciado enquanto os usuários de prioridades baixas foram atendidos satisfatoriamente. Desta forma, as operadoras da telefonia celular poderiam destinar mais recursos do sistema 1xEV-DO RA a usuários que optam por maior desempenho e ainda assegurar a QoS dos usuários menos prioritários.

Referências

- Argyriou, A. and Madisetti, V. (2006). Modeling the effect of mobile handoffs on TCP and TFRC throughput. *IEEE Globecom*, pages 272–285.
- Bi, Q. (2004). A forward link performance study of the 1xEV-DO system through simulations and field measurements. *White Paper, Lucent Technologies Bell Laboratories*, pages 1–19.
- Chirag S. Patel, M. Y. and Tokgoz, Y. (2006). Handoff performance analysis for 1xEV-DO Rev. A systems. *IEEE ICC*, pages 4924–4929.
- C.S0024, G. (2002). CDMA2000, high rate packet data air interface specification.
- C.S20024-A, G. (2004). CDMA2000, high rate packet data air interface specification.
- Hoc, G. E. A. (2001). 1xEV-DV evaluation methodology - addendum (V6).
- Jalali (2000). Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system. *Vehicular Technology Conference*, 3:1854–1858.
- Lin, T.-N. and Lin, P.-C. (2005). Handoff ordering using link quality estimator for multimedia communications in wireless networks. *IEEE Globecom*, pages 1125–1130.
- Naga Bhushan, Chris Lott, P. B. R. A. Y.-C. J. M. F. D. G. and Au, J. (2006). CDMA2000 1xEV-DO Revision A: A physical layer and mac layer overview. *IEEE Communications Magazine*, pages 75–87.
- Suman Das, W. M. M. and Viswanathan, H. (2005). Sensitivity analysis of handoff algorithms on CDMA forward link. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(1):1343–1350.
- Tekinary, S. and Jabbari, B. (1992). A measurement based prioritization scheme for handovers in cellular and micro-cellular networks. *IEEE J. Select Areas Commun.*, 10(8):1343–1350.
- TR25.848, G. (2001). Physical layer aspects of UTRA high speed downlink packet access (release 4). 3GPP Specification series.