

7 Resultados

Este capítulo apresenta e discute os resultados dos estudos realizados através de simulações. Primeiramente, são feitas considerações gerais sobre a ferramenta utilizada, objetivos dos estudos, cenários escolhidos e métrica de desempenho. Finalmente, o *EltswTCM*, proposto neste trabalho, terá o seu desempenho comparado com os marcadores *ItswTCM*, *tswTCM* e *trTCM* em várias situações distintas.

7.1. Técnica de avaliação

Para avaliar o desempenho dos marcadores *EltswTCM*, *ItswTCM*, *tswTCM* e *trTCM* foi utilizado o software de simulação NS-2 (*Network Simulator version 2*) [27], amplamente utilizado na maioria dos estudos envolvendo DiffServ.

O NS-2 é um simulador dirigido a eventos discretos que implementa as abstrações de nós e enlaces, bem como os protocolos de roteamento e das camadas de rede, transporte e aplicação da arquitetura TCP/IP. Para simulação dos mecanismos de uma rede DiffServ foi utilizado o módulo complementar ao NS-2 desenvolvido pela Nortel Networks [28]. Para estudar o serviço assegurado, foi necessário desenvolver módulos adicionais ao NS-2 contendo os marcadores de tráfego *ItswTCM* e *EltswTCM*, os quais medem as propriedades temporais do tráfego, comparam-nas com o perfil de tráfego e marcam o DSCP dos pacotes de acordo.

7.2. Objetivos

Os principais objetivos dos estudos realizados estão relacionados abaixo:

- Avaliar o desempenho do *EltswTCM* quando comparado aos marcadores *ItswTCM*, *tswTCM* e *trTCM*, considerando apenas tráfego homogêneo TCP.

- Avaliar o desempenho dos marcadores EltswTCM, tswTCM e trTCM quando o tráfego gerado pelas fontes é heterogêneo. O objetivo desse cenário é analisar uma situação mais real, representada pela heterogeneidade do tráfego.
- Avaliar o desempenho do EltswTCM quando são utilizadas diferentes implementações do protocolo TCP. O objetivo desse cenário é analisar o comportamento do marcador quando diferentes algoritmos de controle de congestionamento são utilizados.
- Analisar a influência da configuração dos parâmetros do algoritmo RED sobre o EltswTCM.

7.2.1.

Cenário escolhido

Para atingir os objetivos definidos anteriormente, foi utilizada a topologia de rede descrita na figura 7.1. A topologia de um único gargalo é ideal para um estudo de justiça porque constitui um cenário comum onde vários fluxos de tráfego compartilham um mesmo recurso na rede de um provedor de serviço.

A topologia de simulação usada neste trabalho, possui dois grupos de fonte chamadas de agregado 0 e agregado 1. O agregado 0 envia o seu tráfego através do roteador de borda E0 para o destino D0, enquanto o agregado 1 envia o seu tráfego através do roteador de borda E1 para o destino D1. Cada agregado possui um número de fluxos provenientes das fontes S. Os roteadores E0 e E1 são os roteadores responsáveis pela monitoração e marcação dos tráfegos agregados E0 e E1, respectivamente.

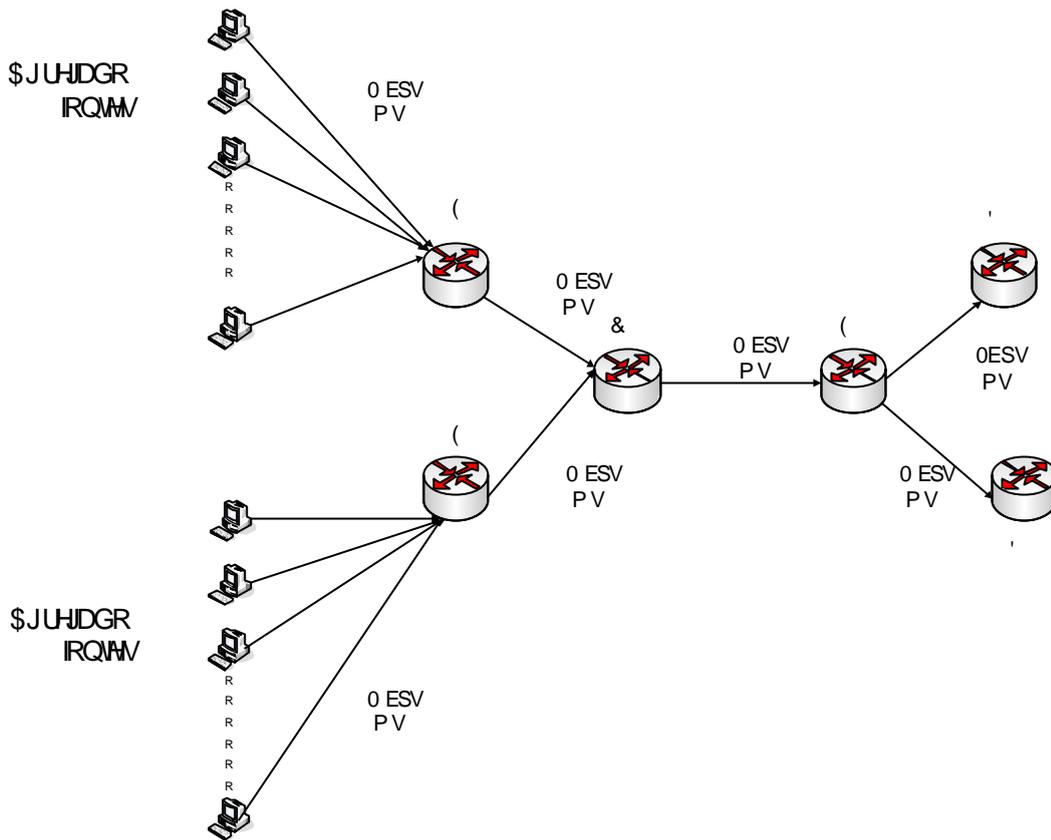


Figura 7.1: Topologia de Simulação

Para todos os cenários de simulação o CIR do agregado 1 é fixo em 1Mbps, enquanto o CIR do agregado 0 varia de 1Mbps a 8Mbps. Isso corresponde a uma rede com nível de provisão variando de 20% a 90%. Onde nível de provisão é a razão entre a largura de faixa total contratada e a largura de faixa do enlace de gargalo. Todos os enlaces são de 20 Mbps e possuem atraso de 5ms, exceto o enlace de gargalo entre C1 e E3. O enlace de gargalo possui capacidade de escoamento de 10Mbps e atraso de 5 ms. Para cada cenário, foram realizadas dez simulações e o intervalo de confiança indicado nos gráficos é de 95%. As configurações de tráfego estão apresentadas na tabela 7.1. A tabela 7.2 descreve os parâmetros RED P_{max} , max_{th} e min_{th} explicados no capítulo 3. Para o marcador $trTCM$ CBS é igual a 30000bytes, PBS é igual a 36000 bytes, e PIR é igual a $1.2 \cdot CIR$. A taxa PIR para o $tswTCM$ também é igual a $1.2 \cdot CIR$.

As fontes de tráfego exponenciais foram utilizadas para simular a transmissão de voz sobre IP. Cada uma dessas fontes pode ser modelada como um processo de Markov on-ff [43]. Os períodos de alternância entre atividade e

silêncio são exponencialmente distribuídos com durações médias de τ_{on} (período ativo) e τ_{off} (período inativo), respectivamente. Durante o período ativo, a transmissão é feita a uma taxa de bits constante R_{on} e a taxa média R é definida através da equação 7.1.

$$R = \frac{R_{on} * t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$$

Equação 7.1

Tipo de Tráfego	Características do Tráfego
CBR	Tamanho do pacote = 1500 bytes Taxa = 300 Kbps
Exponencial ON-OFF	Tamanho do pacote = 200 bytes $R_{on} = 31$ Kbps $\tau_{on} = 1.004$ seg $\tau_{off} = 1.587$ seg
FTP	Tamanho do pacote = 1500 bytes RTT = 40 ms

Tabela 7.1: Características das fontes de tráfego

DSCP	Tipo de Gerenciamento	Min _{th}	Max _{th}	P _{max}
10 (verde)	RED	80	120	0.02
11 (amarelo)	RED	40	80	0.1
12 (vermelho)	RED	0	40	0.2

Tabela 7.2: Características do Gerenciamento Ativo de Filas

7.2.2. Métrica de desempenho

Para medir a justiça no compartilhamento da largura de faixa foi utilizado o índice de justiça proposto por Jain et al. [34]. Seu cálculo foi realizado através da equação 7.2, onde n é o número total de agregados, no nosso caso n é igual

a 2, e x_i é definido como o excesso de largura de faixa obtida pelo agregado i / CIR do agregado i .

$$f_i = \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}{N * \sum_{i=1}^N (x_i)^2}$$

Equação 7.2: Fairness Index

O índice de justiça é um critério de desempenho utilizado em todos os esquemas de alocação de recursos incluindo os sistemas de computadores distribuídos. O índice de justiça não possui dimensão e pode assumir valores entre 0 e 1.

A interpretação do índice de justiça é intuitiva. Por exemplo, dada uma quantidade m de um recurso qualquer para ser distribuído entre n usuários, se desses n usuários k forem selecionados, cada um dos usuários selecionados irão receber $\frac{m}{k}$ do recurso e os usuários restantes não receberão nada, então o índice de justiça vale $\frac{k}{m}$, que representa uma fração dos usuários favorecidos.

Isso significa que a distribuição foi justa para $\left(\frac{k}{m} \right) * 100$ usuários.

Nos estudos realizados, f_i mede a justiça no compartilhamento da largura de faixa excedente. O excesso de largura de faixa adquirido pelo agregado i é obtida através da subtração da largura de faixa medida do agregado i pelo CIR do agregado i .

7.2.3.

Primeiro estudo : Fontes TCP/Reno

O objetivo principal do primeiro estudo de simulação é avaliar o comportamento do marcador *EltswTCM* quando as fontes de tráfego TCP utilizadas são implementadas na versão *Reno*. No primeiro cenário, o marcador *EltswTCM* é avaliado em um ambiente onde o tráfego é homogêneo. No segundo cenário, as fontes conectadas ao agregado 0 geram tráfego TCP e as fontes conectadas ao agregado 1 geram tráfego UDP. No terceiro cenário, as fontes conectadas ao agregado 0 geram tráfego TCP e as fontes conectadas ao

agregado 1 geram tráfego exponencial. Os dois últimos cenários foram utilizados para avaliar o desempenho dos marcadores quando tráfegos heterogêneos disputam a largura de faixa excedente.

Cenário 1 - Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *Reno* e agregado 1 com 16 fluxos FTP/TCP *Reno*

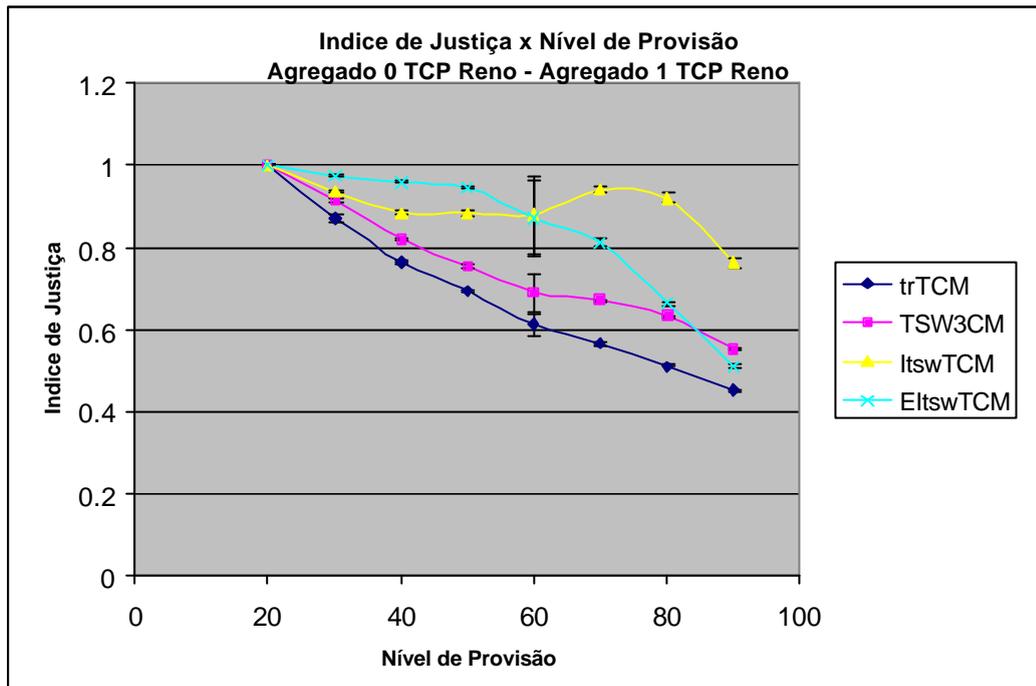


Figura 7.2: Fontes TCP homogêneas : TCP *Reno*

Como pode ser observado na figura 7.2, o marcador *EltswTCM* apresenta uma distribuição mais justa da largura de faixa excedente para uma rede com faixa de provisão de serviço variando entre 20% a 60%, após este valor o índice de justiça cai drasticamente. O marcador *ItswTCM* possui melhor desempenho que o marcador *EltswTCM* quando o nível de provisão da rede está acima de 60%, mesmo com desempenho superior, o *ItswTCM* apresenta queda acentuada do índice de justiça quando o nível de provisão está acima de 80%. Os marcadores *EltswTCM* e *ItswTCM* apresentam uma distribuição mais justa do que os marcadores *tswTCM* e *trTCM*, esse apresenta o pior desempenho.

Cenário 2 – Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *Reno* e agregado 1 com 16 fluxos UDP/CBR

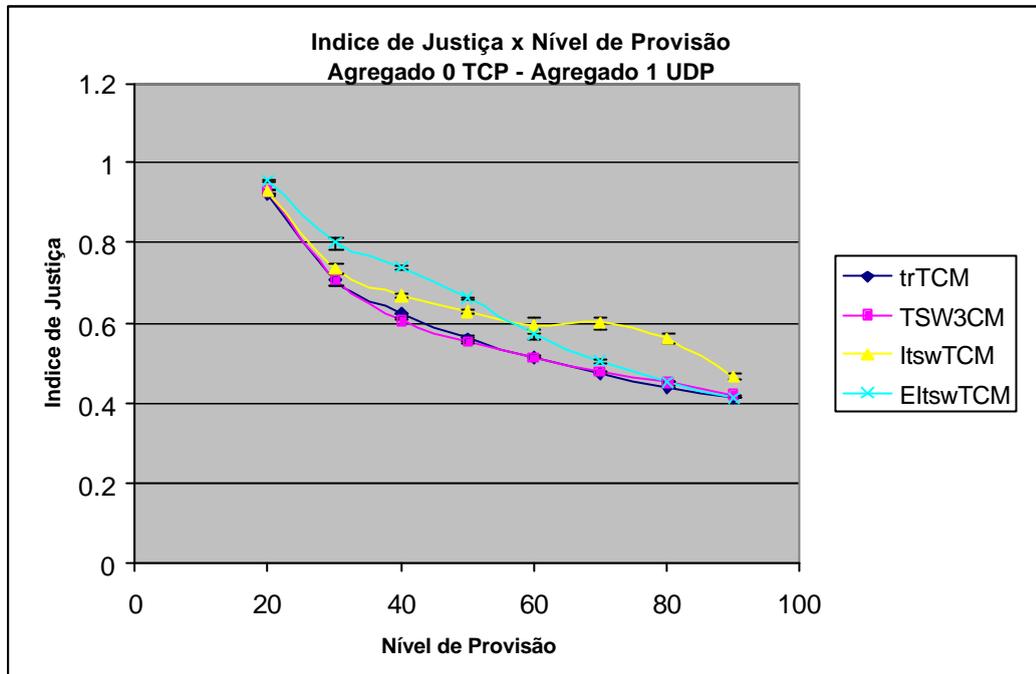


Figura 7.3: Fontes heterogêneas TCP e UDP: TCP *Reno*

Observa-se na figura 7.3 que o marcador *EltswTCM* apresenta uma distribuição mais justa da largura de faixa excedente para um nível de provisão variando entre 20% e 60%, acima de 60% o *ItswTCM* apresenta uma distribuição mais justa. Os marcadores *tswTCM* e *trTCM* apresentam o pior desempenho.

Cenário 3 – Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *Reno* e agregado 1 com 16 fluxos Exponencial.

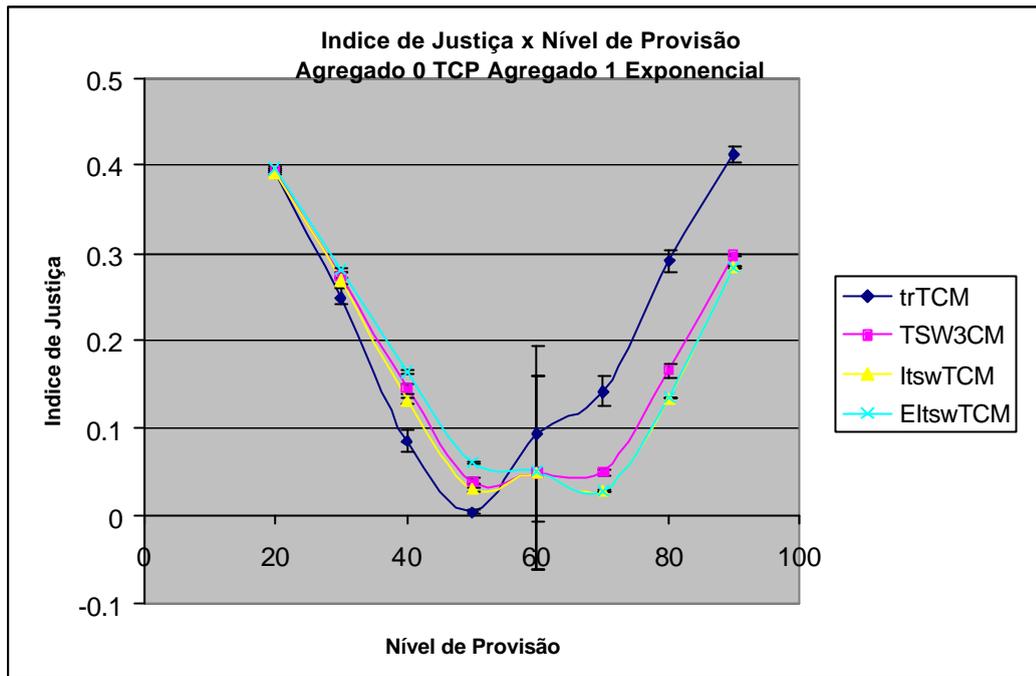


Figura 7.4: Fontes heterogêneas TCP e Exponencial: TCP *Reno*

Observa-se na figura 7.4 que o índice de justiça sofre forte queda para um nível de provisão entre 20% e 60%. Quando a faixa de provisão de serviço está entre 60% e 90% temos uma melhoria na justiça na alocação da largura de faixa excedente entre os dois agregados. Este comportamento ocorre quando são misturados tráfego de dados e voz. Os marcadores *tswTCM*, *ItswTCM* e *EltswTCM* apresentam desempenho semelhantes. O marcador *trTCM* apresenta um desempenho melhor quando o nível de provisão está variando entre 60% a 90%. Os resultados mostram que a distribuição de largura de faixa excedente é muito injusta quando são misturados tráfegos de dados e voz, que possuem características muito diferentes.

7.2.4. Segundo Estudo: Fontes TCP *New Reno*

Neste estudo as fontes de tráfego TCP foram implementadas na versão *NewReno*. Como feito anteriormente serão analisados os cenários de tráfego homogêneo e heterogêneo. O objetivo desse estudo é verificar o desempenho dos marcadores diante da implementação TCP *New Reno*.

Cenário 4 – Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *NewReno* e agregado 1 com 16 fluxos FTP/TCP *NewReno*

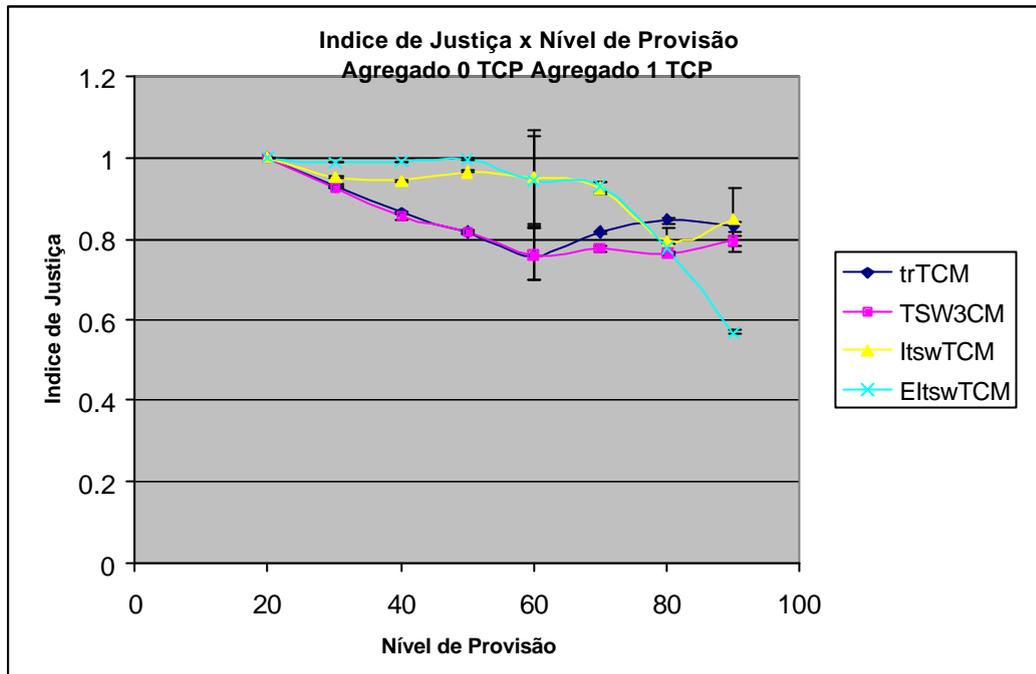


Figura 7.5: Fontes TCP homogêneas : TCP *New Reno*

Podemos observar na figura 7.5 que a utilização da versão *Newreno* do TCP proporcionou uma melhora no índice de justiça. O marcador *EltswTCM* apresenta um desempenho ligeiramente superior ao *ItswTCM* em um rede com provisão de serviço variando entre 20% a 60%, para redes com nível de provisão superior a 60% os dois marcadores apresentam desempenho semelhante até 80%, a partir daí o marcador proposto apresenta o pior desempenho.

Cenário 5 – Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *NewReno* e agregado 1 com 16 fluxos UDP/CBR

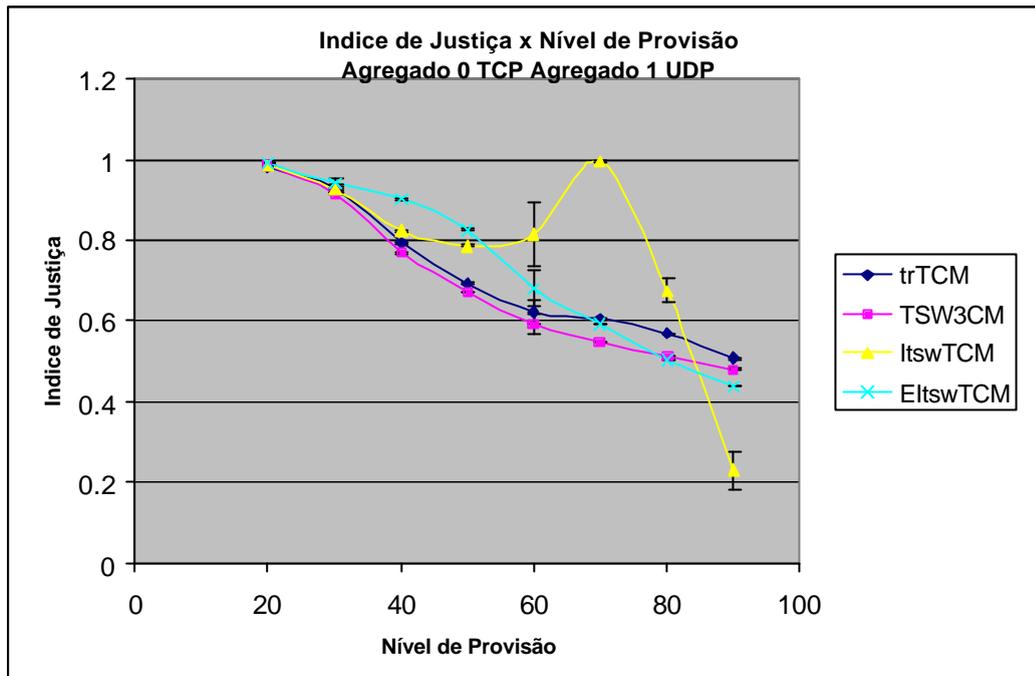


Figura 7.6: Fontes heterogêneas TCP e UDP: TCP *New Reno*

Podemos observar na figura 7.6 que o marcador *EltswTCM* apresenta melhor desempenho para uma rede com provisão de serviço inferior a 50%. Para uma rede com nível de provisão de serviço entre 50% e 85% o *ItswTCM* aloca de forma mais justa a largura de faixa excedente. Para um nível de provisão acima de 70% os marcadores *EltswTCM*, *trTCM* e *tswTCM* apresentam resultados semelhantes.

Cenário 6 - Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *NewReno* e agregado 1 com 16 fluxos Exponencial.

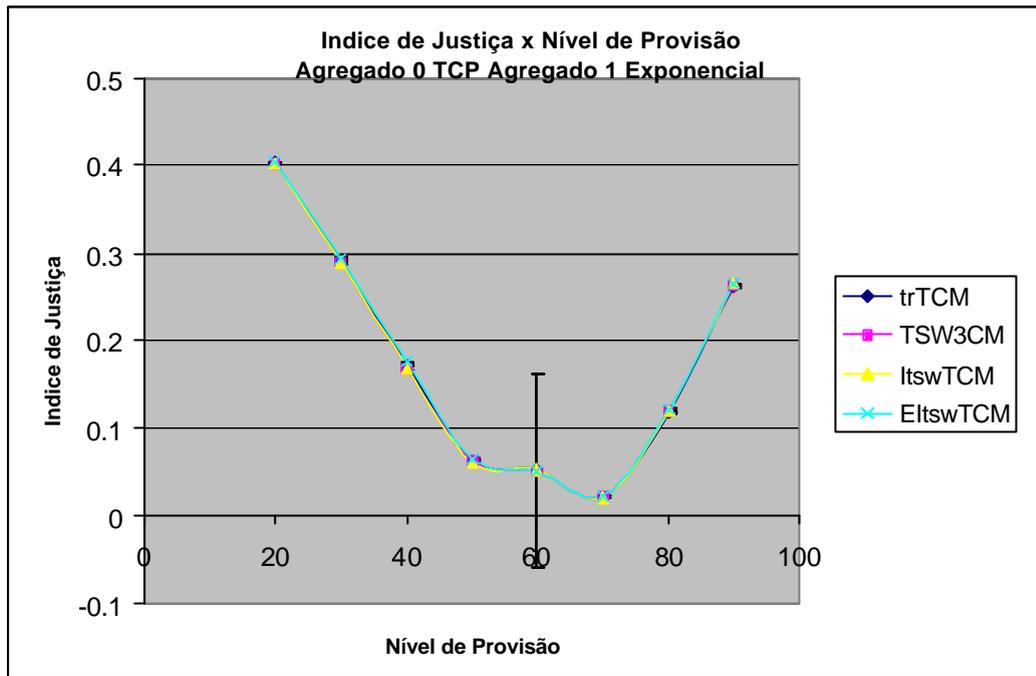


Figura 7.7: Fontes heterogêneas TCP e Exponencial: TCP *New Reno*

De forma inesperada, os resultados apresentados acima mostram igualdade no comportamento dos marcadores quando tráfego de dados e voz são misturados. Para concluir a causa desse comportamento é necessário um estudo detalhado do que está acontecendo com a justiça dos marcadores em relação a taxa contratada. Este seria um estudo a parte e fica como sugestão para um trabalho futuro.

7.2.5. Terceiro Estudo: Fontes TCP *Sack*

Neste estudo as fontes de tráfego TCP foram implementadas na versão *Sack*. Como feito anteriormente serão analisados os cenários de tráfego homogêneo e heterogêneo. O objetivo desse estudo é verificar o desempenho dos marcadores diante da implementação TCP *Sack*.

Cenário 7 - Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP *Sack* e agregado 1 com 16 fluxos FTP/TCP *Sack*

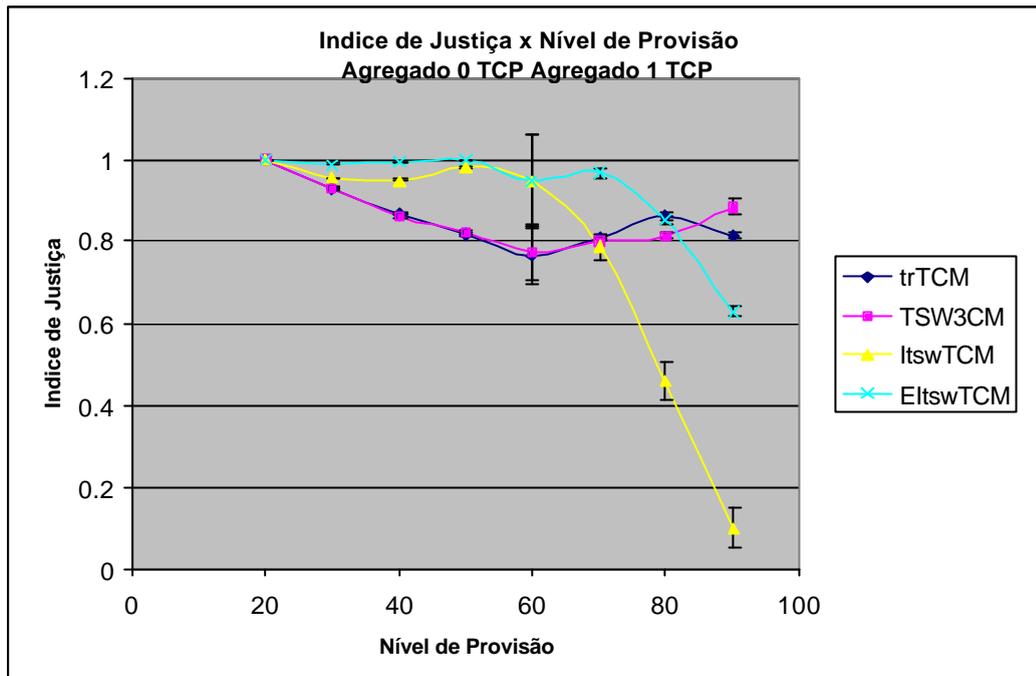


Figura 7.8: Fontes homogêneas TCP: TCP Sack

Podemos observar na figura 7.8 que o marcador *EltswTCM* apresenta índice de justiça aproximadamente igual a 1 em uma rede com provisão de serviço inferior a 70%. Além disso, o *EltswTCM* apresenta desempenho melhor que os outros marcadores para uma rede com nível de provisão inferior a 80%. O marcador *ItswTCM* apresenta um índice de justiça similar ao *EltswTCM* quando o nível de provisão está variando entre 20% e 60%. Quando o nível de provisão está acima de 60%, o índice de justiça do *ItswTCM* diminui drasticamente. Os piores desempenhos são apresentados pelos marcadores *trTCM* e *tswTCM*.

Cenário 8 - Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP Sack e agregado 1 com 16 fluxos UDP/CBR

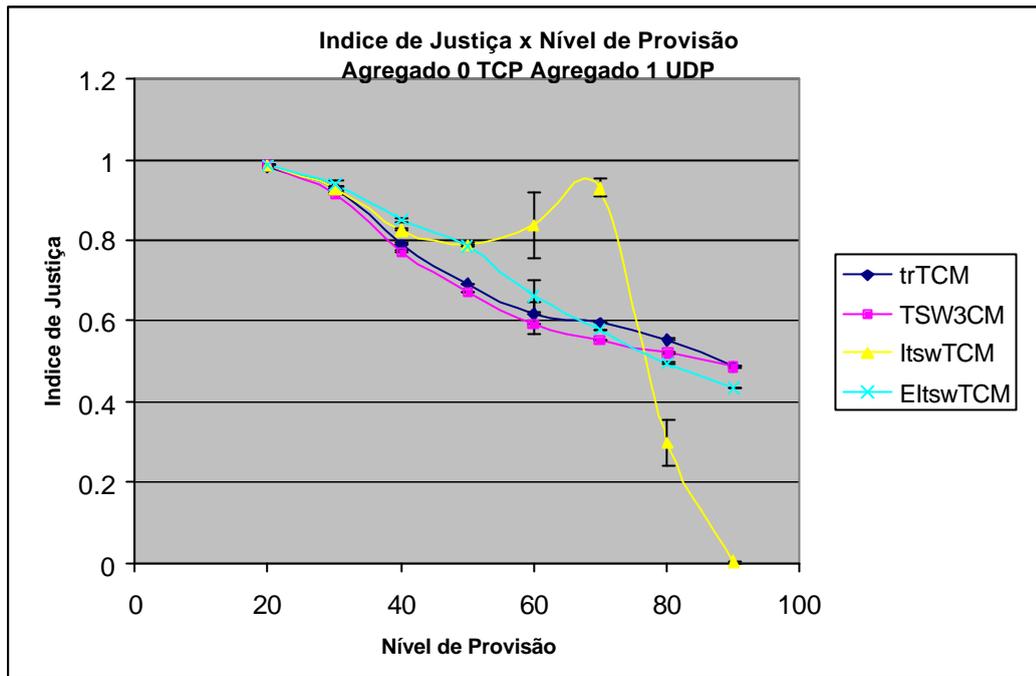


Figura 7.9: Fontes de tráfego heterogêneas TCP e UDP: TCP Sack

Como observado na figura 7.9 os marcadores *EltswTCM*, *trTCM* e *tswTCM* apresentam resultados semelhantes. Estes marcadores apresentam uma diminuição da capacidade de distribuir de forma mais justa a largura de faixa excedente quando o nível de provisão está variando de 20% a 90%. O destaque desta simulação é o marcador *ItswTCM* que apresenta um melhor desempenho quando o nível de provisão está entre 45% e 80%. Acima de 80%, o marcador sofre uma queda brusca do índice de justiça.

Cenário 9 - Agregado 0 com 16 fluxos FTP/TCP Sack e agregado 1 com 16 fluxos Exponencial.

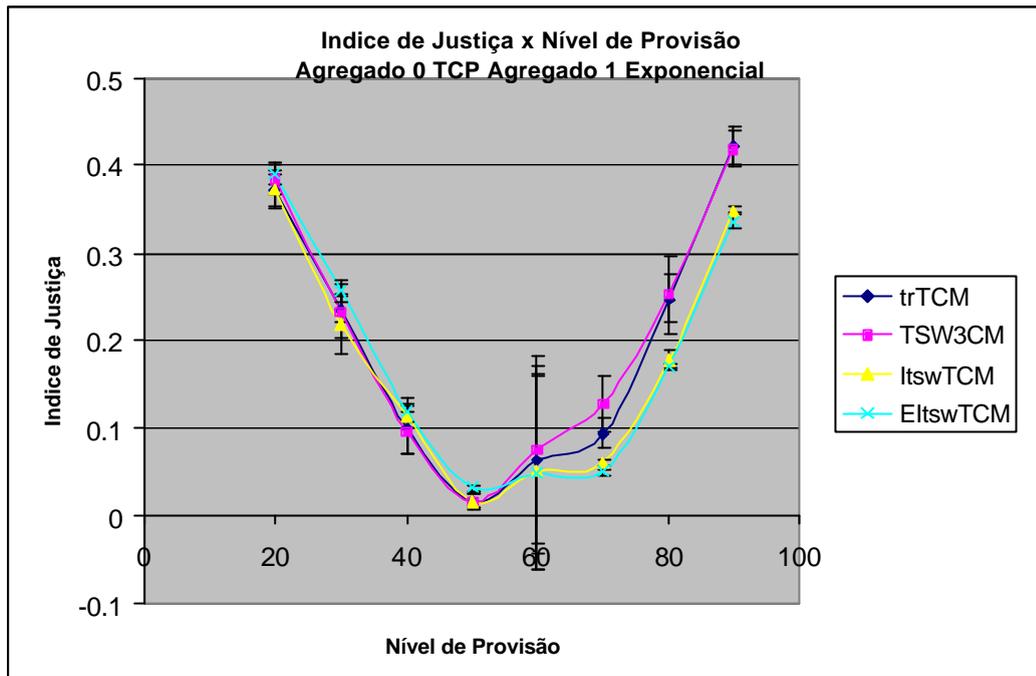


Figura 7.10: Fontes de tráfego heterogêneas TCP e Exponencial: TCP Sack

Como observado nos cenários anteriores onde há mistura de tráfego de dados e voz, o índice de justiça é muito baixo, sofrendo queda acentuada quando o nível de provisão varia entre 20% e 50%. Acima de 50% a índice de justiça cresce rapidamente atingindo o máximo de 0.42% (aproximadamente). Quando o nível de provisão está acima de 60% os marcadores ItswTCM e EltswTCM apresentam o pior desempenho.

7.2.6. Quarto Estudo: Desempenho EltswTCM

Su [39] conclui que as redes atuais operam com um nível de provisão variando entre 20% e 70%. Com isso podemos concluir com os resultados apresentados anteriormente que o marcador proposto apresenta, em geral, desempenho superior aos outros marcadores. O objetivo do quarto estudo é analisar o desempenho das diferentes versões do protocolo TCP diante do marcador *EltswTCM*.

Para analisar detalhadamente a influência da versão do protocolo TCP utilizado, o gráfico abaixo mostra o desempenho do marcador *EltswTCM* quando versões

diferentes do TCP são utilizadas. Para este gráfico os dois agregados são fontes de tráfego FTP/TCP.

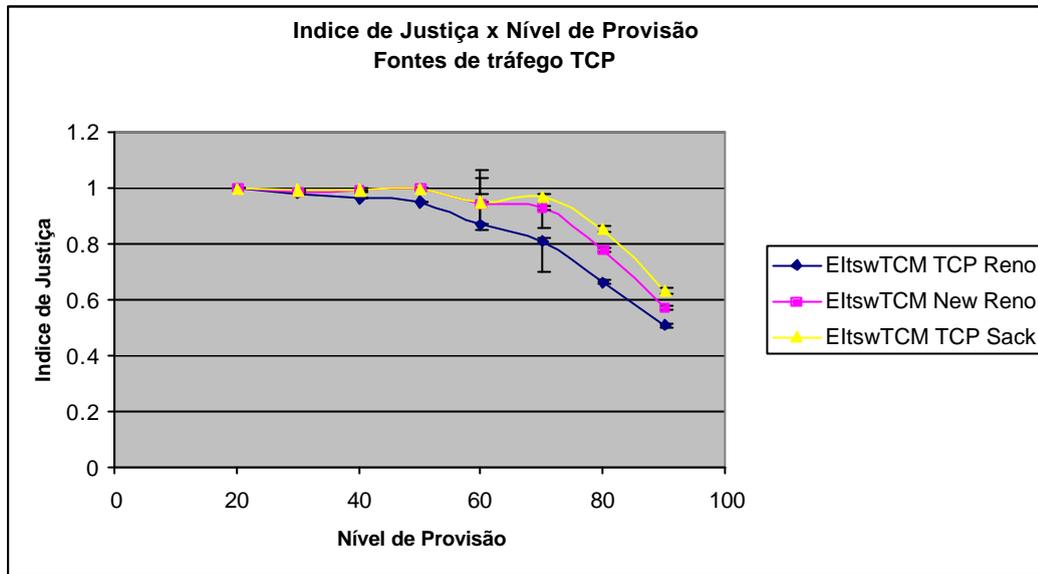


Figura 7.11: Desempenho EltswTCM para diferentes implementações do TCP

O resultado dessa simulação mostra de forma mais clara a influência exercida pelos diferentes algoritmos de controle de congestionamento sobre o marcador *EltswTCM*. Podemos observar que o melhor desempenho é alcançado com as versões *New Reno* e *Sack* do TCP, e o pior desempenho com a versão *Reno*.

7.2.7.

Quinto Estudo : Influência dos parâmetros RED sobre o EltswTCM

O objetivo do quinto estudo é analisar a influência que os parâmetros RED exercem sobre a justiça. Primeiramente, esta influência é avaliada quando as fontes estão emitindo tráfego TCP homogêneo, e depois avaliada quando as fontes TCP e UDP são misturadas. Os parâmetros RED utilizados para os dois cenários estão descritos na tabela 7.3.

Parâmetros RED	\min_{th}	\max_{th}	p_{max}
RED1 - Vermelho	0	40	0.2
RED1 - Amarelo	40	80	0.1
RED1 - Verde	80	120	0.02
RED2 - Vermelho	0	20	0.2
RED2 - Amarelo	20	80	0.1
RED2 - Verde	80	120	0.02
RED3 - Vermelho	15	60	0.2
RED3 - Amarelo	60	120	0.1
RED3 - Verde	120	180	0.02
RED4 - Vermelho	0	30	0.2
RED4 - Amarelo	30	80	0.1
RED4 - Verde	80	120	0.02

Tabela 7.3: Parâmetros RED utilizados no agregado 1

Cenário 1 – Influência dos parâmetros RED sobre o tráfego TCP homogêneo

Neste cenário, o agregado 0 e o agregado 1 são formados por fontes FTP/TCP *New Reno*.

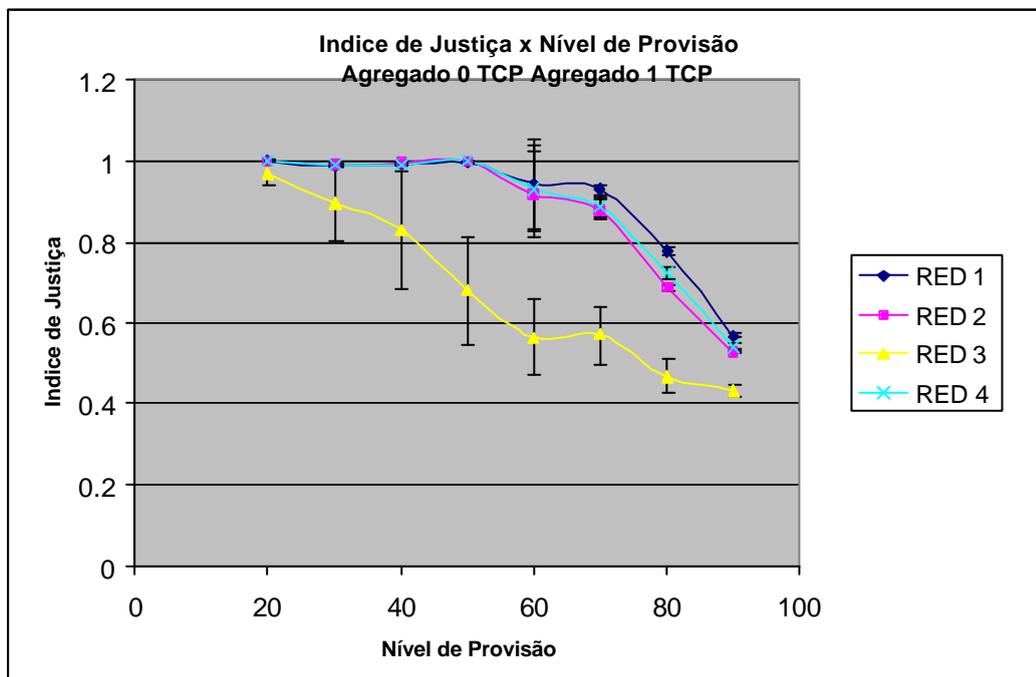


Figura 7.12: Influência dos parâmetros RED sobre o algoritmo EltswTCM

Como pode ser observado no gráfico 7.12, os parâmetros do algoritmo RED exercem grande influência sobre o desempenho do marcador EltswTCM quando são utilizadas fontes de tráfego TCP. Para a situação onde o nível de

provisão é igual a 70 %, aproximadamente, podemos observar que a configuração RED1 atinge um índice de justiça superior a 85%. Para o mesmo nível de provisão a configuração RED 3 apresenta um índice de justiça em torno de 60%. A justificativa para essa diferença é a probabilidade de descarte dos pacotes vermelhos nas configurações RED1, RED2 e RED3, onde os pacotes marcados de vermelho começam a ser descartados assim que são armazenados na fila e a probabilidade de descarte aumenta com o aumento do número de pacotes marcados de vermelho.

Cenário 2 - Influência dos parâmetros RED sobre o tráfego heterogêneo

Neste cenário, o agregado 0 é formado por fontes FTP/TCP *New Reno* e o agregado 1 por fontes UDP/CBR.

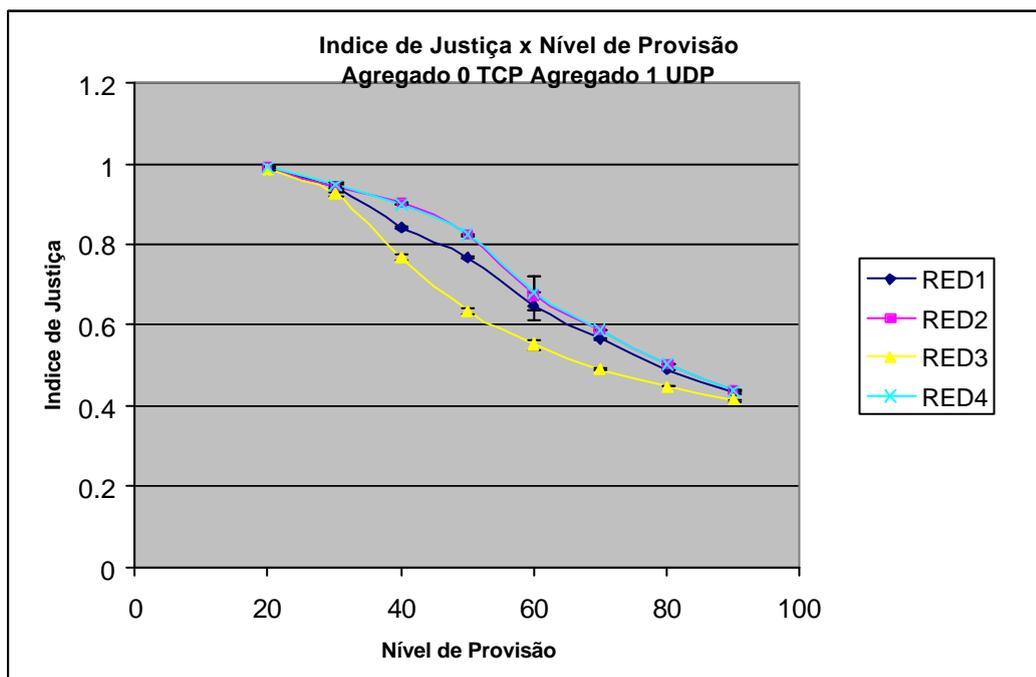


Figura 7.13: Influência dos parâmetros RED sobre o algoritmo EltswTCM

Como pode ser observado no gráfico 7.13, os parâmetros utilizados na configuração RED3 apresentam o pior desempenho. Nesta configuração os pacotes marcados de vermelho só começam a ser descartados quando a fila possui uma quantidade maior do que 15 pacotes na fila.