

## 4 Comentários Finais e Conclusões

Ao longo do presente capítulo, serão apresentados os comentários finais e algumas conclusões deste trabalho. Serão apresentadas comparações entre os diversos cenários simulados e alguns comentários sobre o roteamento na camada física e gerência de recursos.

### 4.1. Modelo Analítico

Foi apresentado neste trabalho um modelo matemático da rede em estudo. Este modelo permite obter dados importantes da rede, tais como vazão e número médio de *hops* percorridos pelos pacotes que trafegam na rede.

Por se tratar de um modelo simplificado da rede, os resultados obtidos diferem um pouco dos resultados obtidos através das simulações.

De modo a validar o simulador desenvolvido, foi imposta uma restrição de vazão no modelo matemático. Com esta restrição, os resultados do modelo analítico e das simulações ficaram ainda mais próximos. Assim, considerou-se que o simulador desenvolvido está condizente com a realidade.

### 4.2. Resultados das Simulações

De modo a comparar o desempenho de redes MS com ou sem *buffers* ópticos e utilizando o UDP ou o TCP, foram traçadas curvas das razões:

- $UDP_{\text{com buffer óptico}}/UDP_{\text{sem buffer óptico}}$
- $TCP_{\text{com buffer óptico}}/TCP_{\text{sem buffer óptico}}$
- $UDP_{\text{sem buffer óptico}}/TCP_{\text{sem buffer óptico}}$
- $UDP_{\text{com buffer óptico}}/TCP_{\text{com buffer óptico}}$

#### 4.2.1. Comparação do UDP com *Buffer* Óptico com o UDP sem *Buffer* Óptico

Analisando a Figura 4.1 pode-se notar que *buffers* ópticos feitos com FDLs fazem com que a vazão máxima da rede aumente até 20%. Nota-se também que, para cargas oferecidas menores do que 3,5 Gbps, os *buffers* ópticos não fazem com que a vazão da rede aumente. Os resultados das simulações indicam que é necessário apenas um *buffer* óptico, ou seja, apenas um *loop* de FDL com o comprimento igual à duração de um pacote. Caso dois *buffers* ópticos sejam utilizados, a vazão não tem um ganho significativo. Caso um *buffer* óptico com o comprimento maior do que um pacote seja utilizado, a vazão máxima da rede só aumentará 10% em relação a redes sem *buffers* ópticos.

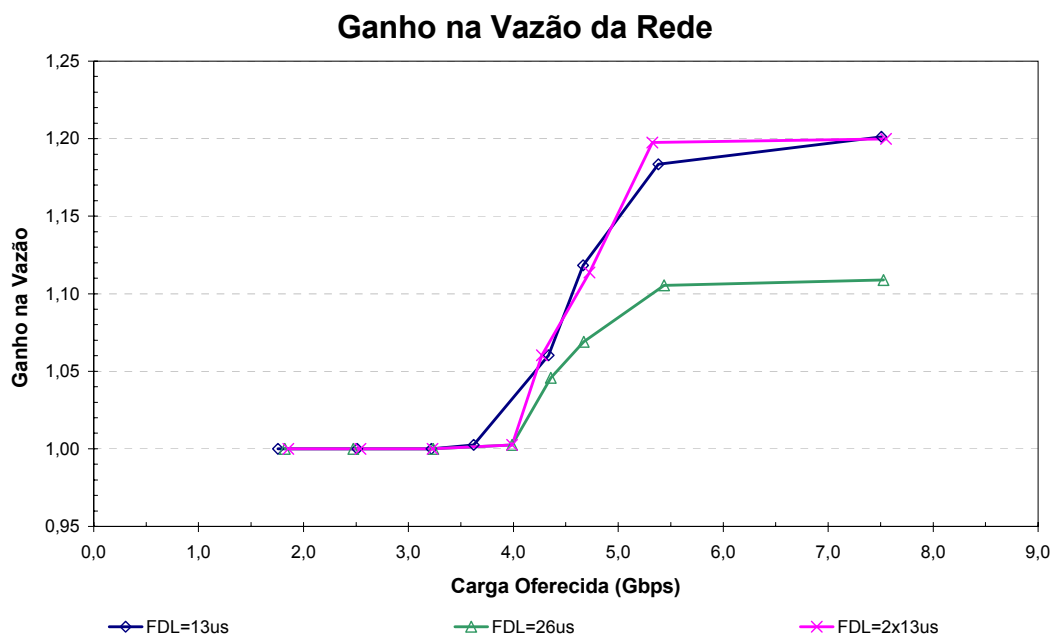


Figura 4.1: Ganho na vazão da rede em função da carga oferecida quando *buffers* ópticos são utilizados com o protocolo UDP

A Figura 4.2 mostra a redução do número médio de *hops* quando *buffers* ópticos são utilizados em redes MS com o protocolo UDP. Pode-se notar que a utilização de *buffers* ópticos pode reduzir em até 25% o número médio de *hops* percorridos pelos pacotes na rede. Mesmo para valores baixos de carga oferecida, a utilização de *buffers* ópticos traz vantagens. Por exemplo, para uma carga

oferecida de 1,5 Gbps, caso os nós possuam um *buffer* óptico com comprimento igual à duração de um pacote, o número médio de *hops* é reduzido em 5%; caso possuam um *buffer* óptico com comprimento igual a duração de dois pacotes, o número médio de *hops* é reduzido em 7,5%; caso possuam dois *buffers* ópticos com comprimento igual a duração de um pacote cada, o número médio de *hops* é reduzido em 10%.

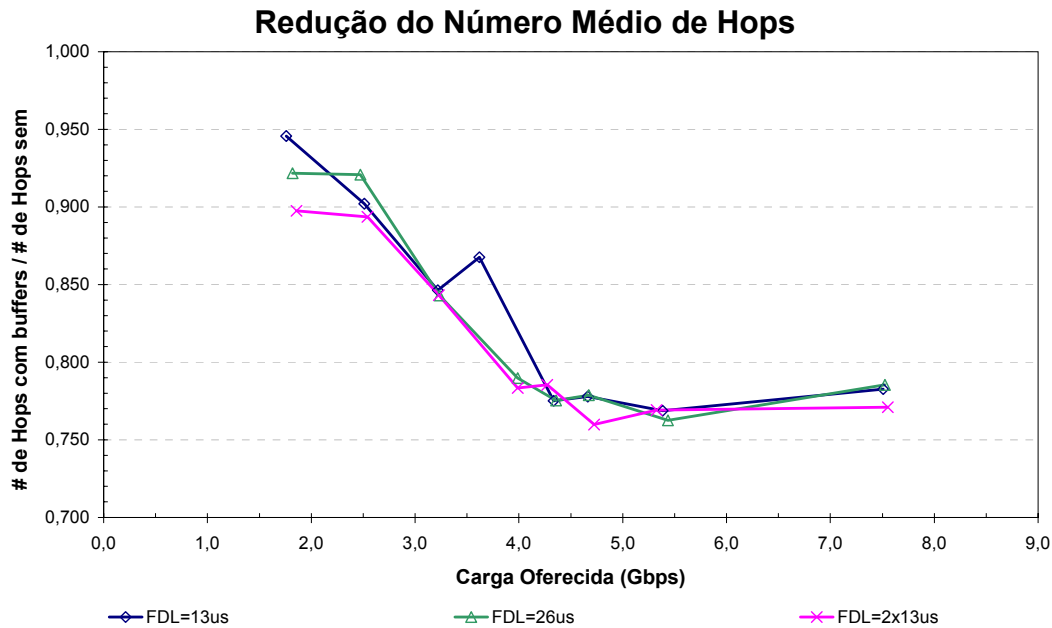


Figura 4.2: Razão do número médio de *hops* com e sem *buffers* ópticos com o protocolo UDP em função da carga oferecida

A Figura 4.3 mostra a redução do tempo médio de propagação quando *buffers* ópticos são utilizados em redes MS com o protocolo UDP. Pode-se notar que a utilização de *buffers* ópticos pode reduzir em até 23% o tempo de propagação. Nota-se que, quando um *buffer* óptico de comprimento igual à duração de dois pacotes é utilizado, a redução do número médio de *hops* é igual a redução quando um *buffer* óptico com o comprimento de um pacote é utilizado. No entanto, a redução do tempo de propagação é menor quando o *buffer* óptico é maior, devido ao maior atraso inserido pelo FDL mais longo.

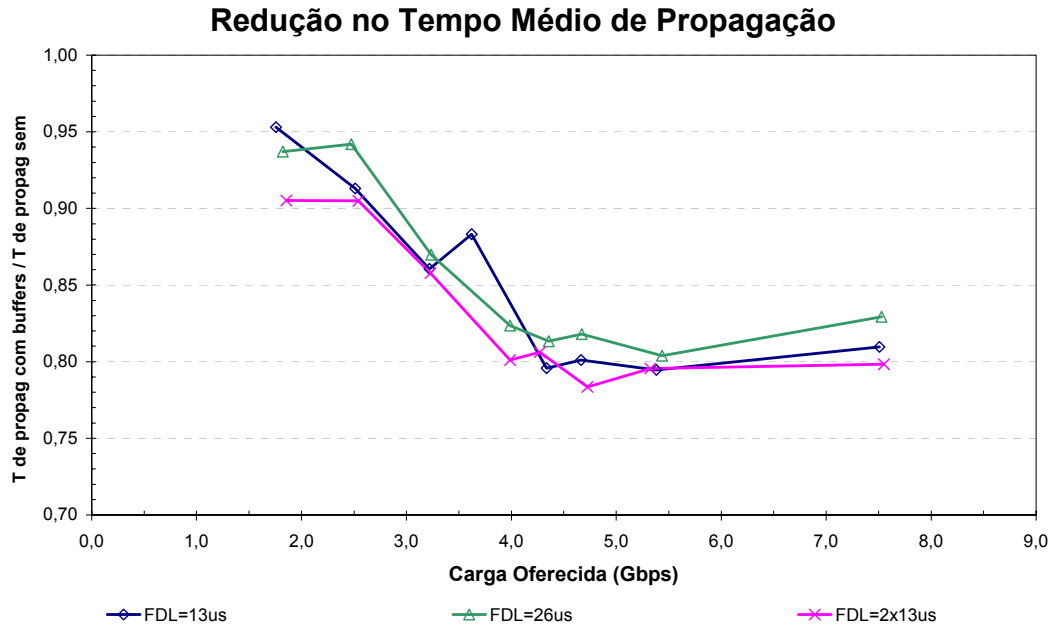


Figura 4.3: Razão do tempo médio de propagação com e sem *buffers* ópticos com o protocolo UDP em função da carga oferecida

#### 4.2.2. Comparação do TCP com *Buffer* Óptico com o TCP sem *Buffer* Óptico

Analisando a Figura 4.4 pode-se notar que *buffers* ópticos fazem com que a vazão máxima da rede aumente quase 20%. Nota-se também que, no caso do TCP, os *buffers* ópticos não fazem com que a vazão da rede aumente para cargas oferecidas menores do que 2,5 Gbps. Os resultados das simulações indicam que a vazão da rede aumenta caso dois *buffers* ópticos com o comprimento igual à duração de um pacote sejam utilizados.

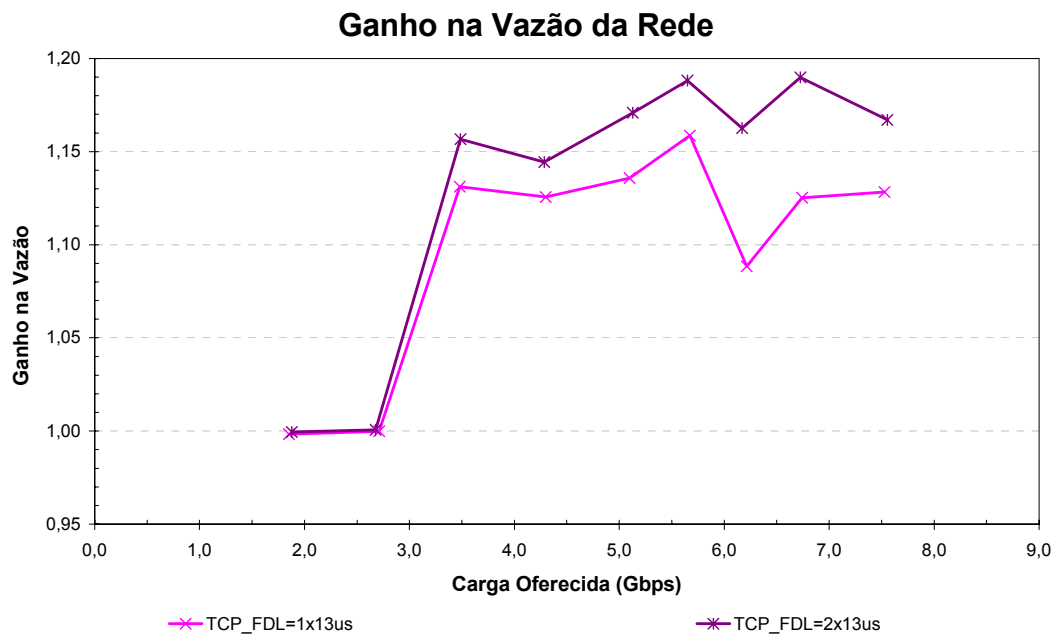


Figura 4.4: Ganho na vazão da rede em função da carga oferecida quando *buffers* ópticos são utilizados com o protocolo TCP

A Figura 4.5 mostra a redução do número médio de *hops* quando *buffers* ópticos são utilizados em redes MS com o protocolo TCP. Pode-se notar que a utilização de *buffers* ópticos pode reduzir em até 18% o número médio de *hops* percorridos pelos pacotes na rede. Mesmo para cargas oferecidas baixas, a utilização de *buffers* ópticos trás vantagens. Por exemplo, para uma carga oferecida de 2 Gbps, caso os nós possuam um *buffer* óptico com comprimento igual à duração de um pacote, o número médio de *hops* é reduzido em aproximadamente 9%; caso possuam dois *buffers* ópticos com comprimento igual a duração de um pacote cada; o número médio de *hops* é reduzido em aproximadamente 10%.

É interessante notar que, quando o protocolo utilizado é o TCP, a redução máxima do número médio de *hops* devido à utilização de *buffers* ópticos ocorre para a carga oferecida de 2,5 Gbps. Para cargas menores do que 2,5 Gbps, como o número de deflexões não é tão grande, a redução do número médio de *hops* devido à utilização de *buffers* ópticos também não é muito expressiva. Para cargas maiores do que 2,5 Gbps, como a rede começa a ficar saturada, a redução do número médio de *hops* vai piorando conforme a carga oferecida aumenta. Sendo que, para redes cujos nós possuem dois *buffers* ópticos, a redução do número

médio de *hops* vai piorando mais lentamente do que para para redes cujos nós possuem apenas um *buffer* óptico.

As simulações mostram que para o protocolo TCP a utilização de dois *buffers* ópticos nos nós da rede gera ganhos no desempenho da rede.

Como o tempo médio de propagação dos pacotes na rede é totalmente dependente do número de *hops* percorridos, a Figura 4.6 possui as mesmas características da Figura 4.5.

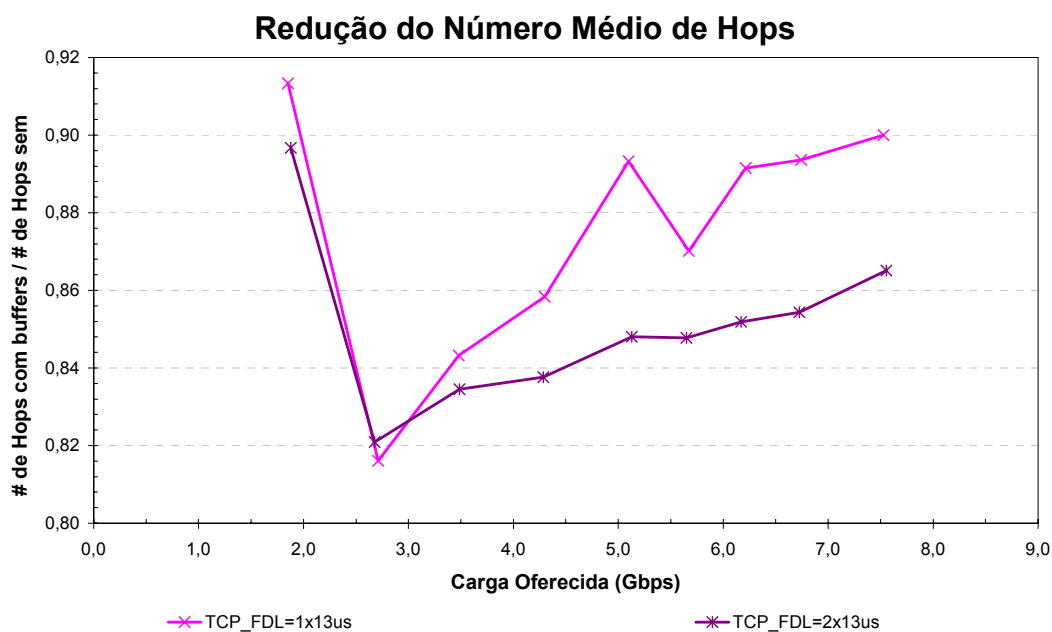


Figura 4.5: Razão do número médio de *hops* com e sem *buffers* ópticos com o protocolo TCP em função da carga oferecida

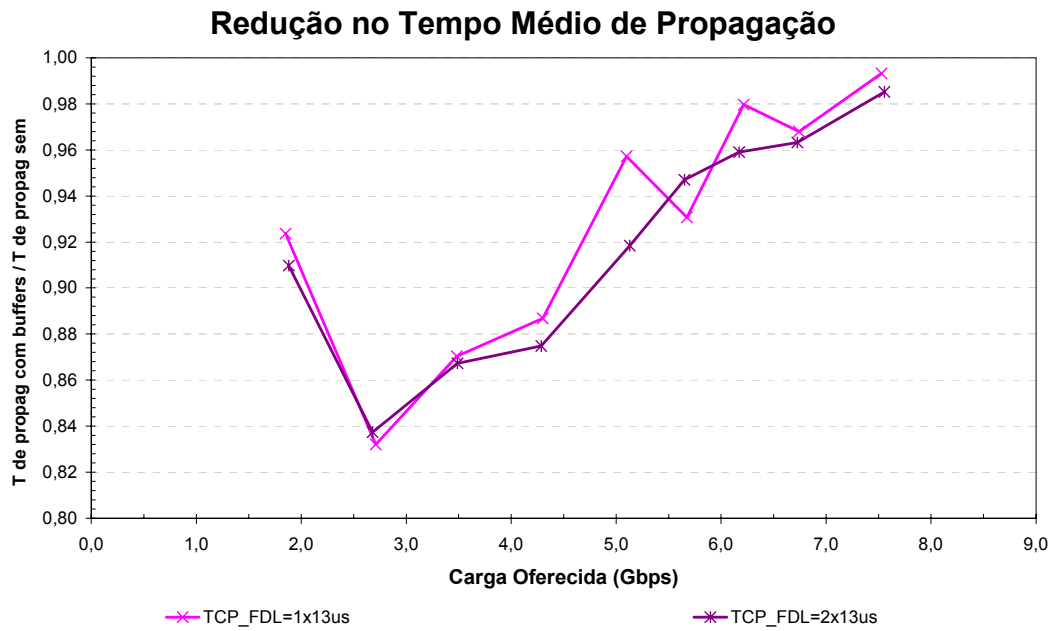


Figura 4.6: Razão do tempo médio de propagação com e sem *buffers* ópticos com o protocolo UDP em função da carga oferecida

#### 4.2.3. Comparação do UDP com o TCP em Redes MS sem *Buffer* Óptico

A Figura 4.7 mostra que, para cargas oferecidas acima de 2,5 Gbps, a vazão da rede cujos nós não possuem *buffers* ópticos pode ser até 23% maior quando o protocolo UDP é utilizado, do que quando o protocolo TCP é utilizado.

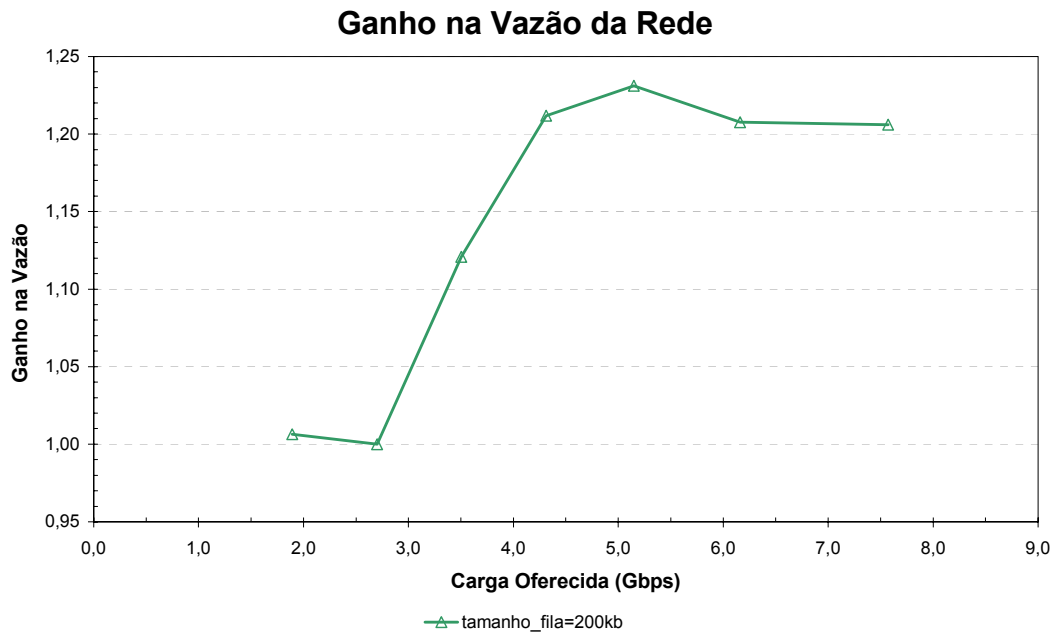


Figura 4.7: Ganho na vazão da rede em função da carga oferecida quando o protocolo UDP é utilizado ao invés do TCP

#### 4.2.4. Comparação do UDP com o TCP em Redes MS com *Buffer* Óptico

A Figura 4.8 mostra que para cargas oferecidas acima de 3,5 Gbps, a vazão da rede cujos nós possuem *buffers* ópticos pode ser aproximadamente 33% maior quando o protocolo UDP é utilizado, do que quando o protocolo TCP é utilizado.



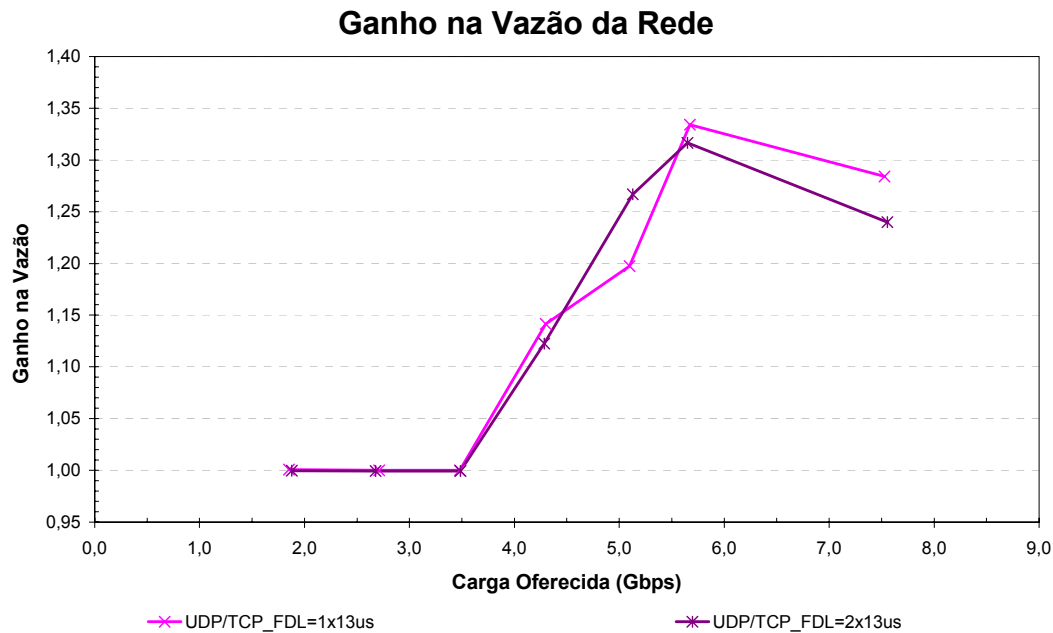


Figura 4.8: Ganho na vazão da rede em função da carga oferecida quando o protocolo UDP é utilizado ao invés do TCP

### 4.3. Análise do Efeito da Latência no TCP

Verificou-se que a vazão da rede altera-se significativamente em função das distâncias envolvidas e do tamanho da janela utilizada. Considere-se por exemplo, uma distância de 20 Km, típica de uma rede metropolitana. A Figura 3.48 evidencia a diminuição da vazão com a distância e o efeito da utilização de janelas de tamanhos elevados.

### 4.4. Roteamento na Camada Física e Gerência de Recursos

Os resultados indicam que o roteamento físico reduz o tempo consumido para que cada pacote atravessasse um determinado nó. Nas soluções TCP tradicionais, as rotinas OSPF são efetuadas em cada nó da rede, isto consome um intervalo de tempo significativamente superior à simples consulta de tabelas associadas ao roteamento por deflexão.

Outro aspecto extremamente importante é a simplificação de gerenciamento obtida. Deve ser ressaltado que a ativação do protocolo OSPF é fortemente dependente da utilização de uma sub-rede com funcionalidades e problemas

específicos, dedicada a atualização periódica do estado da rede. As tabelas de roteamento por deflexão podem ser atualizadas eventualmente e utilizadas diretamente sem ativação de ferramentas computacionais.

#### **4.5. Trabalhos Futuros**

Podem ser sugeridos os seguintes tópicos:

- Utilização da ferramenta desenvolvida para analisar a viabilidade e possíveis vantagens da implementação de QoS através de sinalização na camada física;
- Comparação rigorosa entre os retardos associados ao *store-and-forward* (e ao OSPF) e ao roteamento na camada física;
- Aplicação do roteamento na camada física a redes não configuradas em topologia MS, incluindo redes cujos nós possuem mais de duas portas de saída;
- Análise da viabilidade técnica-econômica de redes implementando sinalização na camada física e nós quase totalmente ópticos;
- Desenvolvimento de um padrão de gerenciamento de redes utilizando sinalização na camada física.

#### **4.6. Resumo**

Ao longo do presente capítulo, foram apresentados os comentários finais e algumas conclusões deste trabalho.

A partir dos resultados obtidos nas simulações, verificou-se a viabilidade de redes totalmente ópticas, utilizando nós relativamente simples, quando algum tipo de sinalização na camada física é utilizada para realizar o roteamento de pacotes.

Foram apresentadas comparações entre os diversos cenários simulados e alguns comentários sobre a camada física e OSPF vs. gerência de recursos.