

Capítulo 5

Métodos, Simulações e Experimentos

Neste capítulo são descritos o método estatístico utilizado para a obtenção das métricas estudadas para analisar o desempenho do protocolo GMTP e as metodologias adotadas para obtenção dos valores finais para cada uma das métricas obtidas. Apresenta-se um método estatístico baseado na teoria da probabilidade, que possibilita calcular a quantidade de ensaios necessários para um determinado tratamento de simulação e assim obter um nível de confiança de 95 % nos valores apresentados. Com este mecanismo, foi possível realizar comparações quanto ao desempenho do GMTP frente a outros protocolos tradicionais, como o DCCP e o TCP. Tais discussões comparativas são apresentadas no Capítulo 6.

Para entender melhor os conceitos apresentados a seguir, antes é necessário entender algumas nomenclaturas utilizadas universalmente em pesquisas científicas e portanto também utilizadas neste trabalho. **Em pesquisas científica,** um tratamento é um cenário de simulação definido por uma combinação de fatores. Um fator é um parâmetro de configuração de um tratamento, por exemplo a largura de banda ou a taxa de perda de pacotes configurada para um determinado canal de transmissão simulado. Em cada tratamento deseja-se estudar as variáveis, ou também chamadas de métricas, as quais são informações coletadas e geradas através da execução de um tratamento, por exemplo, a taxa de transmissão obtida por um determinado protocolo. Por fim, para cada execução de um tratamento dá-se o nome de ensaio.

5.1 Tratamentos

Alguns fatores foram definidos para as execuções dos tratamentos, cujos valores para estes fatores foram variados em cada tratamento. Neste trabalho, considerou-se a análise do protocolo GMTP em confronto com o protocolo DCCP e o TCP.

De acordo com os objetivos deste trabalho, considera-se **desnecessário uma** análise de desempenho do GMTP em confronto com protocolos tradicionais como o UDP. Isto porque diversos trabalhos anteriores, incluindo a dissertação de mestrado do autor desta proposta de tese disponível em [19], já realizaram avaliações comparativas entre o DCCP, o TCP e o UDP. No estado atual das pesquisas deste trabalho, procura-se avaliar o comportamento do GMTP com relação a sua capacidade de escalabilidade diante de grandes quantidades de nós receptores e de sua equidade diante de múltiplos fluxos de dados. Por este motivo, descartou-se a necessidade de se estudar o desempenho do GMTP em confronto com o UDP, uma vez que este último não implementa qualquer solução para controle de congestionamento, compartilhamento de conexão etc.

Para os tratamentos que apresentam resultados do confronto entre o protocolo GMTP e o DCCP, cujo principal objetivo é apresentar a capacidade de escalabilidade de ambos os protocolos, as simulações foram executadas de forma isolada, primeiramente o DCCP e em seguida o GMTP.

O tempo de duração da execução de cada ensaio foi de 400 s, onde cada ensaio foi repetido a quantidade de vezes necessárias até atingir um intervalo de confiança de 95 %, de acordo com as definições estabelecidas na Seção 5.3.

Definiu-se dois tratamentos, um com confrontos GMTP vs. DCCP vs. TCP (Tratamento 1) e o outro com confrontos entre GMTP vs. DCCP (Tratamento 2). O objetivo do Tratamento **1 em é averiguar a capacidade** de convergência e equidade dos fluxos transmitidos utilizando o GMTP através da métrica da vazão. Por outro lado, o objetivo para o Tratamento 2 é averiguar a escalabilidade do GMTP no que diz respeito a quantidade de nós receptores interessados em um mesmo fluxo de dados transmitido por um único no servidor. Esta avaliação será feita aumentando-se a quantidade de nós receptores gradativamente em uma transmissão de vídeo $1 \rightarrow n$, avaliando-se as métricas de vazão, carga de dados transmitida e perda de pacotes, atraso e qualidade do vídeo transmitido. A metodologia adotada neste

trabalho para obtenção de cada uma das métricas mencionadas anteriormente será explicada na Seção 5.2.

Os Tratamentos 1 e 2 foram executados em simulações de rede no NS-2 [18] cuja topologia da rede foi definida como uma árvore binária completa, segundo a Figura 5.1. Além disso, uma série de **fatores pré-definidos foram definidos**, os quais são descritos a seguir.

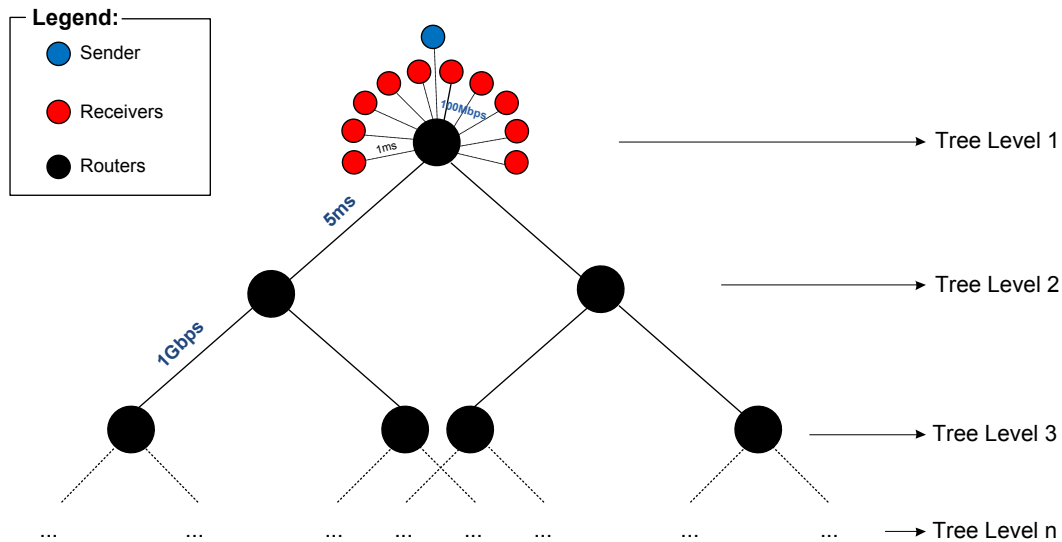


Figura 5.1: Topologia da rede definida para as simulações realizadas. Cada rede é representada por um roteador e com 10 nós em cada rede.

- Número de computadores receptores por rede: 10
- Largura de banda da rede local: 100 *Mbps*
- Latência da rede local: 1 *ms*
- Largura de banda do backbone: 1 *Gbps*
- Latência do backbone: 10 *ms*
- Tamanho da fila dos roteadores do backbone: 3000 pacotes
- Duração da simulação: 400 *s*

De acordo com a topologia definida, cada nó da árvore representou um roteador e cada roteador tinha 10 nós receptores TCP, DCCP e/ou GMTP conectados a ele. Para o caso

do Tratamento 2, os ensaios foram executados à medida em que se aumentava o nível da árvore binária. Por exemplo, r ensaios foram executados para 10 nós receptores e 1 roteador, pois o nível da árvore L foi igual a 0 (zero); em seguida r outros ensaios foram executados utilizando-se 30 nós receptores e 3 roteadores, pois $L=1$; em seguida, outros r ensaios foram executados utilizando-se 70 nós receptores e 7 roteadores, pois $L=2$; e assim por diante até $L=9$, quando utilizou-se 10.230 nós receptores e 1.023 roteadores. Deve-se utilizar $n = 2^{L+1} - 1$ para se obter a quantidade n de roteadores dado um nível L da topologia de rede utilizada.

Os fluxos de dados foram transmitidos da seguinte forma: um nó localizado na raiz da árvore transmitiu o mesmo conteúdo multimídia para todos os outros nós conectados à rede, simulando uma típica transmissão multimídia $1 \rightarrow n$ e um tráfego de comportamento equivalente a um vídeo MPEG-2.

5.2 Métricas Seleccionadas e Métricas Derivadas

Com relação aos tratamentos que envolveram transmissões de fluxos de dados dos protocolos TCP e GMTP, foi estudada apenas a métrica de vazão, ao passo que tratamentos que envolveram a análise de desempenho do GMTP com relação do protocolo DCCP, foram analisadas as métricas de vazão, perda de pacote e a latência, que através desta última foi possível calcular o *jitter* médio para uma determinada transmissão. Além disso, através da vazão e da quantidade de pacotes perdidos, pode-se obter a carga efetiva de dados transmitidos.

Para cada métrica seleccionada, foram coletados seus valores instantâneos. Contudo, para cada métrica definida é necessário fazer algumas considerações, feitas a seguir.

5.2.1 Vazão Média, Carga Efetiva Média, Latência Média e Jitter

Para um determinado tratamento, a média final da vazão e da carga efetiva transmitida pelo TCP foi obtida através da média aritmética das médias das vazões obtidas em cada ensaio r , ou seja, através das Equação 5.1 e 5.2, onde n é o total de ensaios de um determinado tratamento. Assim, temos:

$$\mu_{vazao_{tcp}} = \frac{\sum_{r=1}^n vazão_média_r}{n} \quad (5.1)$$

$$\mu_{cargatcp} = \frac{\sum_{r=1}^n carga_média_r}{n} \quad (5.2)$$

No entanto, para obter as médias da vazão e carga efetiva dos fluxos GMTP, o procedimento foi um pouco diferente. Considerando que os fluxos GMTP foram sempre iniciados 50 s após o fluxo TCP, é preciso definir um mecanismo que não penalize GMTP, já que eles deixaram de transmitir por 50 s. Assim, dado que:

$$\mu_{vazãoogmtp} = \frac{\sum_{r=1}^n vazão_média_r}{n}$$

onde $vazão_média_r$ é obtida através da média aritmética das vazões em cada segundo de cada ensaio, tem-se que a vazão para os fluxos do protocolo GMTP é obtida através da Equação 5.3.

$$\mu_{vazao-final-GMTP} = \mu_{vazãoogmtp} + S \times \left(\frac{\mu_{vazãoogmtp}}{T} \right) \quad (5.3)$$

Onde,

- S , o tempo de atraso para iniciar os fluxos UDP ou DCCP ($S = 50$ s);
- T , o tempo total do ensaio ($T = 400$ s).

Assim, através do uso da Equação 5.3, as médias são normalizadas para não penalizar nenhum dos protocolos, nos termos discutidos anteriormente.

De forma equivalente, pode-se obter a carga média efetivamente transmitida e da latência média. Note que para o confronto GMTP \times DCCP, a vazão média e carga média são obtidas através das Equações 5.1 e 5.2, respectivamente.

Jitter

O cálculo para obter o valor médio do *jitter* para um fluxo transmitido é bastante similar ao cálculo da vazão média. Este valor pode ser obtido através da Equação 5.5. Esta equação foi obtida da seguinte forma:

$$\mu_{jitter-parcial-gmtp} = \frac{\sum_{r=1}^n jitter_médio_r}{n} \quad (5.4)$$

onde,

$$jitter_médio_r = \frac{\sum_{k=1}^Q V_k}{Q}$$

Logo,

$$\mu_{jitter-final-gmtp} = \mu_{jitter-parcial-gmtp} + S \times \left(\frac{\mu_{jitter-parcial-gmtp}}{T} \right) \quad (5.5)$$

Sendo,

- Q , quantidade de intervalos ($Q = T - 1$) entre cada medição do ensaio, ou seja, entre dois segundos quaisquer consecutivos;
- V , valor da variação do atraso entre pacotes de um mesmo fluxo, por exemplo para $instante_1 = 10,3\text{ ms}$ e $instante_2 = 11,2\text{ ms}$, $V = 0,9\text{ ms}$;
- T , o tempo total do ensaio ($T = 400\text{ s}$).

5.3 Metodologia Estatística para o Cálculo Final das Métricas Estudadas

Os resultados apresentados neste trabalho, por exemplo, para determinar que um protocolo obteve melhor desempenho que outro em termos da vazão média, foram baseados em amostras dos dados coletados em cada ensaio de um tratamento. A metodologia adotada baseia-se no conceito de intervalo de confiança [46], considerando $\rho = 95\%$ (nível de confiança) e portanto $\alpha = 5\%$ (nível de significância, ou erro).

Determinando o Intervalo de Confiança para $\rho = 95\%$

O princípio do intervalo de confiança é baseado no fato de que é impossível determinar uma média perfeita μ para uma população de infinitas amostras N , considerando um número finito n de amostras $\{x_1, \dots, x_n\}$. Porém, em termos probabilísticos é possível determinar um intervalo em que μ estará dentro dele com probabilidade igual a ρ e que estará fora dele com probabilidade igual a α .

Para determinar o valor mínimo c_1 e um valor máximo c_2 deste intervalo, chamado de intervalo de confiança, considera-se uma probabilidade $1 - \alpha$, tal que o valor μ esteja dentro desse intervalo de confiança, para n ensaios de um determinado tratamento. Assim, temos a seguinte relação:

$$Probabilidade\{c_1 \leq \mu \leq c_2\} = 1 - \alpha \quad (5.6)$$

onde,

- (c_1, c_2) é o intervalo de confiança;
- α é o nível de significância, expresso como uma fração e tipicamente perto de zero, por exemplo, 0,05 ou 0,1;
- $(1 - \alpha)$ é o coeficiente de confiança; e
- $\rho = 100 * (1 - \alpha)$, é o nível de confiança, tradicionalmente expresso como porcentagem e tipicamente perto de 100 %, por exemplo, 90 % ou 95 %.

Assim, através do *Teorema do Limite Central*¹ [46], se um conjunto de amostras $\{x_1, \dots, x_n\}$ são independentes, tem uma média \bar{x} e pertencem a uma mesma população N , com média μ e desvio padrão σ , então a média das amostras tende a distribuição normal com $\bar{x} = \mu$ e desvio padrão σ/\sqrt{n} :

$$\bar{x} \simeq N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) \quad (5.7)$$

Então, tendo como base a relação 5.6 e o *Teorema do Limite Central* (5.7), obtém-se o intervalo de confiança (c_1, c_2) para $\rho = 95\%$ e $\alpha = 0.05$ da seguinte forma:

$$\left(\mu - z_{1-\alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}, \mu + z_{1-\alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}\right) \quad (5.8)$$

onde,

- μ é a média para n ensaios;

¹Teorema do Limite Central: expressa o fato de que qualquer soma de muitas variáveis aleatórias independentes e com mesma distribuição de probabilidade tende a distribuição normal.

- $z_{1-\alpha/2}$ é igual a 1.96. Esse valor determina 95 % para o nível de confiança, como definido na Tabela A.2, do Apêndice A, da referência [46];
- n é igual ao número de ensaios; e
- s é o desvio padrão das médias para as n ensaios.

Com relação ao valor 1.96 para o termo $z_{1-\alpha/2}$, também chamado de quantil, este é baseado no *Teorema do Limite Central* e por ser frequentemente utilizado, encontra-se na tabela de *Quantis da Unidade de Distribuição Normal*. Esta tabela pode ser encontrada no apêndice A, Tabela A.2, da referência [46]. Para determinar este valor, temos:

$$z_{1-\alpha/2} = (1 - 0.05)/2 = 0.975 \quad (5.9)$$

O valor correspondente ao resultado da Equação 5.9, que será o valor da variável z , é igual a 1.96, segundo a tabela *Quantis da Unidade de Distribuição Normal*.

Portanto, baseando-se nos intervalos de confiança para cada média das métricas calculadas de acordo com a Seção 5.2.1, é possível realizar comparações com estes valores segundo o tratamento realizado para 95 % de confiança com 5 % de erro.

Determinando o Valor de n para obter $\rho = 95\%$

O nível de confiança depende da quantidade n de amostras coletadas para um dado tratamento. Assim, quanto maior o valor de n , maior será o nível de confiança. Entretanto, obter uma quantidade grande de amostras exige mais esforço e tempo. Portanto, é importante definir o valor de n de tal forma que consiga-se poupar esforço e tempo, porém mantendo o nível de confiança desejado, ou seja, $\rho = 95\%$.

Para iniciar o processo, utilizamos uma quantidade pequena $n_{base} = 3$ de amostras preliminares, por exemplo, 3 valores da vazão para um determinado fluxo transmitido. O objetivo é obter um valor alto para a variância, a qual é utilizada para determinar o valor de n ensaios necessárias para 95 % de nível de confiança.

Como vimos através da relação 5.8, temos que o intervalo de confiança para uma quantidade n de amostras é definido da seguinte forma:

$$\mu \pm z \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.10)$$

Assim, para um nível de confiança $\rho = 95\%$ e $\alpha = 0.05$, o intervalo de confiança é:

$$(\mu(1 - 0.05), \mu(1 + 0.05)) \quad (5.11)$$

Então, igualando os intervalos de confiança 5.11 ao intervalo de confiança 5.10 (geral), obtemos a Equação 5.12.

$$\mu \pm z \times \frac{s}{\sqrt{n}} = \mu(1 \pm 0.05) \quad (5.12)$$

Portanto, organizando a expressão para isolar a variável n , para cada tratamento, foram executados n ensaios, já contando com os 3 ensaios iniciais (n_{base}), através da Equação 5.13, para um nível de confiança $\rho = 95\%$, o que implica em $z = 1.96$ (a partir da Equação 5.9).

$$n = \left(\frac{1.96 \times s}{0.05 \times \mu} \right)^2 \quad (5.13)$$

