

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CARACTERIZAÇÃO DE TRÁFEGO EM UMA REDE SAN-
IP UTILIZANDO PROTOCOLO iSCSI**

LÓCIO FERNANDO POSTAI

**ORIENTADOR: PAULO HENRIQUE PORTELA DE CARVALHO
CO-ORIENTADOR: MÁRCIO AUGUSTO DE DEUS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM - 071/10
BRASÍLIA/DF: OUTUBRO – 2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CARACTERIZAÇÃO DE TRÁFEGO EM UMA REDE
SAN-IP UTILIZANDO PROTOCOLO iSCSI**

LÓCIO FERNANDO POSTAI

TRABALHO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

APROVADO POR:

**PAULO HENRIQUE PORTELA CARVALHO, Doutor, UnB
(ORIENTADOR)**

**LUIZ FERNANDO RAMOS MOLINARO, Doutor, UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**PRISCILA SOLIS MÉNDEZ BARRETO, Doutora, UnB
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA, 09 DE OUTUBRO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

POSTAI, LÓCIO FERNANDO

Caracterização de Tráfego em uma Rede SAN-IP Utilizando Protocolo iSCSI

[Distrito Federal] 2010.

xv, 68p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2010).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica

1. Protocolo iSCSI

3. *Storage Area Network*

I. ENE/FT/UnB

2. Caracterização de Tráfego

4. Planejamento de Rede

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

POSTAI, LOCIO F. (2010). Caracterização de Tráfego em uma Rede SAN-IP Utilizando Protocolo iSCSI. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM-071/10 Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 68p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lócio Fernando Postai.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO : Caracterização de Tráfego em uma Rede SAN-IP Utilizando Protocolo Iscsi..

GRAU/ANO: Mestre/2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Do mesmo modo, a Universidade de Brasília tem permissão para divulgar este documento em biblioteca virtual, em formato que permita o acesso via redes de comunicação e a reprodução de cópias, desde que protegida a integridade do conteúdo dessas cópias e proibido o acesso a partes isoladas desse conteúdo. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Lócio Fernando Postai

SQSW 301, Bloco J, Ap. 505.

70.673-110 – Brasília – DF - Brasil.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Carlos Postai, *in memoriam*, e Lenir A. C. Postai pelo apoio incondicional ao meu sonho de ser Engenheiro.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Paulo Henrique Portela de Carvalho pela orientação e apoio dispensado durante a execução deste trabalho.

Ao mestre e coorientador, Marcio Augusto de Deus, pela troca de experiência e esclarecimentos fundamentais durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos meus colegas pelo auxílio e companheirismos. Em especial, gostaria de agradecer Antonio Fiuza Landim pelo suporte e contribuições esclarecedoras no decorrer do processo.

Aos meus filhos, e principalmente a minha esposa Ediomara, por terem acreditado no meu trabalho, pelo apoio e pela paciência durante este processo e principalmente pelo amor e carinho.

Enfim, muito obrigado a todos os que me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DE TRÁFEGO EM UMA REDE SAN-IP UTILIZANDO PROTOCOLO ISCSI

Autor: Lócio Fernando Postai

Orientador: Paulo Henrique Portela Carvalho

Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica

Brasília, setembro de 2010

Com o crescimento da Internet, as redes IP tem se tornado a plataforma padrão para o transporte das mais diversas aplicações: dados, VoIP, Video, e também no acesso a sistemas de armazenamento utilizando protocolos como: FCIP, iFCIP, iSCSI, permitindo a implementação de redes de armazenamento em IP.

A proposta neste trabalho é abordar o protocolo iSCSI (*Internet SCSI*) que encapsula comandos SCSI sobre TCP/IP e permite que dispositivos de armazenamentos sejam acessados em redes *ethernet* baseada em criando uma rede de armazenamento SAN-IP.

O tráfego iSCSI coletado de ambiente real é analisado como base na teoria de autossimilaridade estatística de forma a caracteriza-lo e verificar a possibilidade da utilização dos modelos de tráfego autossimilar no dimensionamento da rede de armazenamento.

São apresentados também diversos métodos de cálculo da banda de rede necessária para atender o tráfego em análise. Os valores obtidos utilizando estes métodos são utilizados para limitar a banda em um ambiente simulado da rede de armazenamento e comparados para avaliar a eficiência de cada método.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF TRAFFIC IN A STORAGE AREA NETWORK USING ISCSI PROTOCOL

Author: Lócio Fernando Postai

Supervisor: Paulo Henrique Portela Carvalho

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Brasília, september of 2010

With the growth of Internet, IP networks have become the standard platform for the transport of diverse applications: data, VoIP, Video, and also access to storage systems using protocols such as FCIP, iFCIP, iSCSI, enabling deployment storage networks on IP.

This research intends to discuss the protocol iSCSI (Internet SCSI) that encapsulates SCSI commands over TCP / IP and enables storage devices to be accessed in ethernet networks, creating a storage area network IP-SAN.

The iSCSI traffic collected from a real environment is analyzed based on the theory self-similarity statistics in order to characterize it and check the possibility of using self-similarity traffic models for capacity planning of storage area network.

Several methods of calculating the network bandwidth required to meet the traffic analysis are also presented. Values obtained using these methods are used to limit the bandwidth in a simulated environment storage system and they are compared in order to evaluate the effectiveness of each method.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	4
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2	REDE DE ARMAZENAMENTO.....	5
2.1	ARQUITETURA SAN.....	6
2.2	O PROTOCOLO iSCSI.....	8
2.3	CÁLCULO DA BANDA DE REDE SAN.....	10
2.4	CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO.....	12
3	CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	13
3.1	PROCESSOS MONOFRACTAIS OU AUTOSSIMILARES.....	14
3.1.1	Autossimilaridade.....	15
3.1.2	Métodos de Estimativa do Parâmetro de Hurst.....	19
3.1.3	Cálculo da banda efetiva.....	24
3.2	CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO.....	25
4	APLICAÇÃO NA ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA SAN-IP iSCSI REAL.....	26
4.1	CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA.....	26
4.2	AUTOSSIMILARIDADE GRÁFICA.....	27
4.3	ESTIMATIVA DO PARAMETRO DE HURST.....	29
4.4	CÁLCULO DA BANDA DE REDE.....	31
4.5	SIMULAÇÃO DE REDE SAN IP iSCSI.....	33

4.5.1	Cenário Banda da Interface	37
4.5.2	Cenário Banda Média.....	41
4.5.3	Cenário Banda <i>Overhead</i>	44
4.5.4	Cenário Banda FEP	48
4.5.5	Cenário Banda <i>Naive</i>	52
4.6	CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO	54
5	CONCLUSÕES	57
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA	59
A	- PRTG Traffic Grapher	63
B	- Configuração do OPNET.....	65
C	- GTAR – Gerador de Tráfego e Analisador de QoS na Rede.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 – Arquivos de coleta gerados.	27
Tabela 4-2 - Estimativa de Hurst pelos métodos Periodogram e R/S	30
Tabela 4-3 - Estimativa de Hurst utilizando o GTAR	31
Tabela 4-4 - Cálculo da Banda Estimada	32
Tabela 4-5 – Cenários da simulação	36
Tabela 4-6 – Resumo dos Resultados Obtidos	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Topologia simplificada de uma SAN-FC	6
Figura 2.2 – Protocolos de rede de armazenamento	7
Figura 2.3 - Topologia simplificada de uma SAN-IP.....	8
Figura 2.4 – Encapsulamento do iSCSI.....	9
Figura 2.5 - Sequencia do comando de leitura e gravação	10
Figura 3.1 – Tráfego autossimilar (a), Tráfego Poisson (b)	14
Figura 3.2 – Gráfico da análise R/S.....	21
Figura 3.3 – Gráfico do método Periodograma	22
Figura 4.1 – Topologia do ambiente real.....	27
Figura 4.2 - Tráfego real coletado na escala de 1 min.....	28
Figura 4.3 - Tráfego real coletado na escala de 5min.....	28
Figura 4.4 – Tráfego real coletado na escala de 15 min.....	28
Figura 4.5 – Análise R/S	29
Figura 4.6 – Método periodograma	30
Figura 4.7 - Gráfico comparativo entres os métodos de cálculo da banda.....	33
Figura 4.8 – Topologia da Simulação.....	34
Figura 4.9 – Tráfego real simulado na ferramenta OPNET	36
Figura 4.10 – Configuração de atributos no OPNET	37
Figura 4.11 – Cenário interface: utilização média do <i>Buffer</i>	38
Figura 4.12 – Cenário Interface: Utilização total e média do buffer.....	39

Figura 4.13 – Cenário interface: tempo médio de espera na fila	39
Figura 4.14 – Cenário interface: tráfego médio descartado.....	40
Figura 4.15 – Cenário interface: atraso médio do tráfego.	40
Figura 4.16 – Cenário Média: utilização média do <i>Buffer</i>	41
Figura 4.17 – Cenário Média: utilização total e média do buffer.....	42
Figura 4.18 – Cenário Média: tempo médio de espera na fila.....	42
Figura 4.19 – Cenário Média: tráfego médio descartado.	43
Figura 4.20 – Cenário Média: atraso médio do tráfego.....	44
Figura 4.21 – Cenário <i>Overhead</i> : utilização média do buffer.	45
Figura 4.22 - Cenário <i>Overhead</i> : utilização total e média do buffer.....	45
Figura 4.23 – Cenário <i>Overhead</i> : tempo médio de espera na fila.	46
Figura 4.24 – Cenário <i>Overhead</i> : tráfego médio descartado.....	47
Figura 4.25 - Cenário <i>Overhead</i> : atraso médio do tráfego.	48
Figura 4.26 – Cenário FEP: utilização média do buffer.	49
Figura 4.27 – Cenário FEP: utilização total e média do buffer.	49
Figura 4.28 – Cenário FEP: tempo médio de espera na fila.	50
Figura 4.29 – Cenário FEP: tráfego médio descartado.....	51
Figura 4.30 – Cenário FEP: atraso médio do tráfego.	51
Figura 4.31 – Cenário <i>Naive</i> : utilização média do <i>buffer</i>	52
Figura 4.32 – Cenário <i>Naive</i> : tempo médio de espera na fila.....	53
Figura 4.33 – Cenário <i>Naive</i> : tráfego médio descartado.	53

Figura 4.34 – Cenário <i>Naive</i> : atraso médio do tráfego.....	54
Figura A.1 - Tela PRTG Traffic Grapher	63
Figura A.2 - Tela <i>Historic Data</i> para importação de dados	64
Figura A.3 - Tela para exportação dos dados	64
Figura A.4 - Formato da tabela Excel obtida.....	64
Figura B.1 - Topologia da simulação	65
Figura B.2 - Configuração de QoS	65
Figura B.3 - Importação de tráfego para a simulação.....	66
Figura B.4 - Janela de execução da simulação	66
Figura C.1 – Tela inicial do GTAR	67
Figura C.2 – Janela de inferência do GTAR	68
Figura C.3 – Janela de resultados	68

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

b	- Bit
B	- Byte
bps	- Bit por segundo
Bps	- Byte por segundo
CNA	- <i>Converged Network Adapter</i>
DAS	- Direct Attached Storage
DCB	- <i>Data Center Brindging</i>
DCD	- Dependência de Curta Duração
DLD	- Dependência de Longa Duração
FCIP	- Fibre Channel over IP Protocol
FCoE	- <i>Fibre Channel over Ethernet</i>
FEP	- <i>Fractal Envelope Process</i>
Gbps	- Gigabit por segundo
GBps	- Gigabyte por segundo
HBA	- Host Bus Adapter
I/O	- Input/Output
IETF	- Internet Engineering Task Force
iFCP	- Internet Fibre Channel Protocol
INCITS	- <i>International Committee for Information Technology Standards</i>
IOPS	- Input Output por Segundo
IP	- Internet Protocol
iSCSI	- Internet Small Computer System Interface
kbps	- kilobits por segundo
LAN	- Local Area Network
MAN	- Metropolitan Area Network
MB	- megabytes

Mbps	- megabits por Segundo
ms	- milissegundos
PDU	- Protocol Data Unit
QoS	- Quality of Service
R/S	- Rescale Adjust Range
R2T	- Ready to Transfer
RFC	- Request for Comments
SAN	- Storage Area Network
SAN-FC	- Storage Area Network Fibre Channel
SAN-IP	- Storage Area Network Internet Protocol
SCSI	- Small Computer System Interface
SELFIS	- SELF-similarity analysis tool
SNMP	- Simple Network Management Protocol
TCP	- Transmission Control Protocol
TCP/IP	- Transmission Control Protocol / Internet Protocol
VTP	- Variance Time Plot
WAN	- Wide Area Network
μs	- microssegundos

1 INTRODUÇÃO

Essencialmente, um sistema de armazenamento (fita, disco ou *storage*) é conectado com um sistema de processamento (*server, host* ou servidor) diretamente ou via rede. A conexão direta, denominada *Direct Attached Storage* (DAS), permite o acesso ao conteúdo armazenado somente do servidor ao qual o sistema de armazenamento está diretamente conectado, não permitindo o compartilhamento do recurso.

A conexão entre o sistema de armazenamento e o sistema de processamento é responsável pelo transporte do protocolo *Small Computer System Interface* (SCSI) que define como um sistema de armazenamento é endereçado e comandado para requisitar operações de leitura, gravação, exclusão e com isso enviar ou receber dados entre os dispositivos (HUFFERD, 2003).

Quando a conexão entre o disco e o servidor é realizada utilizando uma rede dedicada, permitindo a conexão entre todos os discos e servidores nessa rede, tem-se uma *Storage Area Network* (SAN), cuja tradução mais comum para o português é rede de armazenamento. Uma definição mais formal de SAN é apresentada por Pranggono e Elmirghani (2008), que diz: SAN é uma rede dedicada de alta velocidade cuja função primária é interconectar sistemas de computadores e sistemas de armazenamento de uma forma eficiente.

Atualmente, a tecnologia de rede mais utilizada na SAN é o *Fibre Channel*, que será referenciada nesse trabalho como SAN-FC. A rede SAN-FC é composta pelos sistemas de armazenamentos e o *switch fibre channel* que conecta estes dispositivos aos sistemas de computação.

Embora resolva a limitação do DAS quanto ao compartilhamento de recursos, a SAN FC também possui suas limitações: alto custo, dificuldade na interoperabilidade entre fornecedores diferentes, complexidade no gerenciamento e configuração, tecnologia para uso interno ao *data center* não suporta o transporte em distâncias longas (limite em aproximadamente 100 km)(ORENSTEIN, 2003).

Algumas das limitações da SAN FC são resolvidas quando o protocolo IP passa a ser utilizado nas redes de armazenamento, surgindo com isso protocolos como: *Fibre Channel*

over IP Protocol (FCIP), o *Internet Fibre Channel Protocol* (iFCP) e o *Internet Small Computer System Interface* (iSCSI), entre outros.

A utilização do protocolo IP forma a *Storage Area Network Internet Protocol* (SAN-IP). O protocolo IP é utilizado em diversas tecnologias de rede tanto local como de longa distância (LAN, WAN e MAN) com uma oferta diversificada de equipamentos por vários fornecedores. Possui também uma grande base de conhecimento com profissionais habilitados e soluções de *softwares* para sua operação e configuração. Estas características possibilitam a implementação de uma SAN-IP com custos inferiores aos obtidos quando se usa o *Fibre Channel*, cuja abrangência é muito inferior ao oferecido pelo protocolo IP.

Entre os diversos protocolos de rede de armazenamento citados, este trabalho vai abordar o protocolo iSCSI, em que o “i”, de Internet, significa uso do IP como transporte para o protocolo SCSI. Nesse contexto, o iSCSI passa a ser mais um protocolo na rede IP, com características que precisam ser identificadas de modo a permitir a correta alocação dos recursos para o dimensionamento da rede (PERLINGEIRO, 2006).

A caracterização é fundamental para que se encontrem modelos matemáticos que possam ser usados para se reproduzir o comportamento da rede, desta forma podendo ser usados para uma correta alocação dos recursos, evitando tanto o subdimensionamento com o superdimensionamento da rede. Para isso serão utilizados os conhecimentos já desenvolvidos na caracterização do tráfego em redes IP. Estes conhecimentos, apresentados em trabalhos de pesquisadores como: (LELAND, et al., 1994) em redes *ethernet*, (PAXSON, et al., 1995) para tráfego WAN, (CROVELLA, et al., 1996) para acessos WWW entre outros, demonstraram o comportamento autossimilar do tráfego IP para diversos protocolos e serviços. Como o protocolo iSCSI utiliza o IP, o modelo autossimilar será utilizado para a caracterização nesse trabalho.

A presença de autossimilaridade indica a existência de rajadas no tráfego com periodicidade desconhecida, o que dificulta o dimensionamento da banda de rede. O dimensionamento de banda em uma rede SAN IP utilizando iSCSI é abordado por Nam, Ryu, *et al.* (2004). No seu trabalho apresentam o método empírico de cálculo da banda que denominam *naive* e também propõem outro, elaborado por eles, que considera o *overhead* dos protocolos envolvidos em uma rede SAN-IP iSCSI. No trabalho, é demonstrado que o método desenvolvido apresenta resultados mais próximos do real, permitindo o uso mais

eficiente dos recursos da rede. Na conclusão do trabalho, é proposta a avaliação da banda considerando-se o possível comportamento autossimilar do tráfego iSCSI.

No atual trabalho, os parâmetros obtidos no processo de caracterização do tráfego serão utilizados para estimar a capacidade de transmissão requerida para o tráfego pelo método de cálculo da banda efetiva desenvolvida a partir de Norros (NORROS, 1995). Os valores obtidos são comparados com os métodos apresentados nos trabalho Nam, Ryu, *et al.* com o objetivo de validar a precisão do cálculo proposto.

Esta avaliação é feita utilizando o tráfego real coletado em ambiente de produção de uma grande empresa que utiliza o protocolo iSCSI para acesso ao sistema de armazenamento das caixas postais de seu servidor de e-mail Microsoft Exchange. O tráfego coletado é importado para a ferramenta de simulação de rede OPNET (OPNET, 2010). Neste ambiente simulado são configurados diferentes cenários limitando a banda de rede pelos valores obtidos nos métodos que são abordados no trabalho, para que se possa comparar e definir qual método permite o melhor dimensionamento da banda de rede necessária.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Com a tendência do uso de redes de armazenamento utilizando o protocolo IP, é preciso criar um processo de planejamento de capacidade para esse novo ambiente, uma vez que até agora este planejamento é feito utilizando redes *fibre channel* ou SAN-FC, dedicadas para o acesso a disco.

Um requisito básico para isso é conhecer o comportamento da rede IP transportando o tráfego iSCSI e com isso definir um modelo que possa ser utilizado para simulação de redes SAN-IP iSCSI, dentro de uma proposta de planejamento de capacidade dessa rede.

Outro problema abordado é o cálculo da banda de rede. Na rede SAN-FC, o dimensionamento da banda é feito basicamente dedicando a interface física para o acesso do servidor ao disco, ou seja, a banda disponível é a taxa de transmissão da interface conectada no servidor (2 Gbps, 4 Gbps, 8 Gbps). Um cálculo básico realizado é multiplicar o tamanho médio do bloco de leitura/gravação pela quantidade de IOPS exigidos pela aplicação. Outro método é o desenvolvido por Nam, *et al.* que considera o *overhead* dos

protocolos de transporte utilizados. O que se questiona nesse trabalho é se os métodos são eficientes para o dimensionamento da banda de rede necessária?

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

São dois os principais objetivos do trabalho:

Utilizar tráfego real obtido no ambiente de produção de uma rede SAN-IP com protocolo iSCSI para caracterizar o comportamento desse tráfego e avaliar se ele apresenta comportamento autossimilar, o que pode permitir o uso de modelos matemáticos existentes para tráfego autossimilar na simulação de redes SAN-IP iSCSI.

Calcular a banda de rede consumida pelo tráfego real coletado utilizando diferentes métodos. Configurar ambiente simulado na ferramenta OPNET e comparar o desempenho quando se limita a banda pelos valores obtidos em cada uma dos métodos avaliados. Avaliar o desempenho utilizando parâmetros como utilização de *buffer*, descarte de tráfego, tempo de espera na fila e atraso na rede para definir qual método de cálculo apresenta melhores resultados e, portanto deve ser usado preferencialmente.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos onde são apresentados os seguintes conteúdos.

No capítulo 2, são apresentados os conceitos básicos de redes SAN, o protocolo iSCSI e os métodos de cálculo e problemas no dimensionamento de redes SAN.

O capítulo 3 aborda o conceito de fractais, autossimilaridade, caracterização do tráfego e o cálculo da banda efetiva utilizando estes conceitos.

Os conceitos apresentados nos capítulos 2 e 3 são aplicados no capítulo 4 em tráfego real coletado para o dimensionamento da capacidade da rede SAN-IP. Nesse mesmo capítulo, para verificar o desempenho de cada método de cálculo da banda de rede, são executadas simulações da rede SAN-IP e avaliado o impacto, quando sua banda é limitada pelos valores obtidos em cada método analisado.

O capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas nesse trabalho e propostas de trabalhos futuros.

2 REDE DE ARMAZENAMENTO

Rede de armazenamento ou *storage networks* pode ser definida mais como uma rede desenhada especificamente para transportar protocolos orientados a bloco (*block-level protocol*) no acesso a sistemas de armazenamento (unidade de fita magnética, disco ou *storage*) (LONG, 2006). Protocolos orientados a bloco gravam e leem no *storage* utilizando blocos de dados com comprimento fixo. Estruturar os dados em bloco permite sua transferência de forma mais eficiente para o dispositivo físico. O protocolo orientado a bloco mais utilizado em redes de armazenamento atualmente é o *Small Computer System Interface* (SCSI).

O protocolo SCSI define como um dispositivo SCSI, que pode ser um disco, uma unidade de fita, impressora, CD-ROM ou DVD, é endereçado e comandado para executar, por exemplo, um comando de leitura ou gravação que transfere os dados entre o servidor e os dispositivos envolvidos na comunicação (HUFFERD, 2003). A principal função do SCSI é prover uma camada de abstração entre o servidor e o dispositivo de armazenamento, criando uma interface padrão para o acesso aos sistemas de armazenamento.

O transporte do protocolo SCSI entre o servidor e o sistema de armazenamento pode ser feito utilizando a uma conexão direta denominada DAS (*Direct Attached Storage*). Essa arquitetura permite o acesso ao sistema de armazenamento somente do servidor diretamente conectado, o que pode gerar situações como: um servidor utilizando 90% do seu disco e outro utilizando somente 30% do seu disco. Na arquitetura DAS, caso o primeiro servidor precise de espaço adicional em disco, ele não consegue aproveitar a área livre no disco do segundo servidor devido à impossibilidade do compartilhamento de recursos dessa arquitetura. Essa limitação restringe o uso do DAS somente a ambientes pequenos, com poucos servidores.

A solução para resolver as restrições impostas pela arquitetura DAS é obtida com o surgimento da rede SAN (*Storage Area Network*) utilizando os protocolos *Fibre Channel* e *Internet Protocol*, abordadas a seguir.

2.1 ARQUITETURA SAN

Atualmente, a tecnologia de rede mais utilizada na SAN é o *Fibre Channel*, que será referenciada nesse trabalho como SAN-FC. A Figura 2.1 mostra uma topologia simplificada de uma SAN-FC com os principais elementos representados: os dispositivos de armazenamentos (disco e fita) e o *switch fibre channel* que conecta esses dispositivos aos sistemas de computação, representado pelos servidores.

Embora uma rede *fibre channel* possa transportar outros protocolos, no contexto de dispositivos de armazenamento o protocolo utilizado é o *Small Computer System Interface* (SCSI).

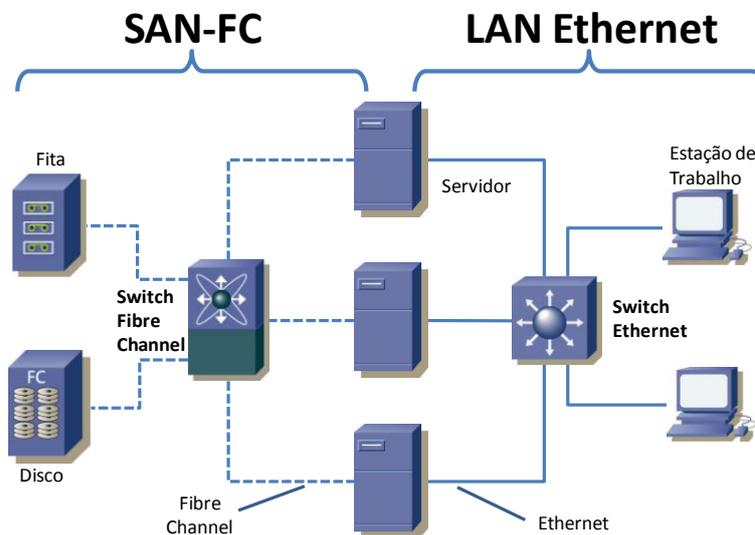


Figura 2.1 - Topologia simplificada de uma SAN-FC

A SAN-FC tem como principais vantagens em relação ao DAS permitir o compartilhamento do disco entre os servidores conectados na rede, garantindo bandas de 2, 4, 8 Gbps com baixa latência e escalabilidade para conexão de centenas de dispositivos.

A complexidade na interoperabilidade entre diferentes fornecedores, a exigência de construção de uma rede dedicada, distância entre os dispositivos limitada a 100 km são alguns dos problemas que não foram resolvidos na rede SAN-FC.

A evolução da rede *ethernet* oferecendo, bandas de 1 Gbps e recentemente 10 Gbps, e a convergência para uso do protocolo TCP/IP permitiram o desenvolvimento de

novas soluções como: *Fibre Channel over IP Protocol (FCIP)*, *Internet Fibre Channel Protocol (iFCP)* e o *Internet Small Computer System Interface (iSCSI)* entre outros. A Figura 2.2 mostra a formação da pilha para cada um desses protocolos que utilizam o TCP/IP para transporte. Na mesma figura são representados os protocolos que não utilizam o TCP/IP, o *Fibre Channel over Ethernet (FCoE)* e o *InfiniBand (IB)* que são soluções de rede de armazenamento mais recentes. Neste trabalho será abordado somente o protocolo iSCSI, destacado na figura.

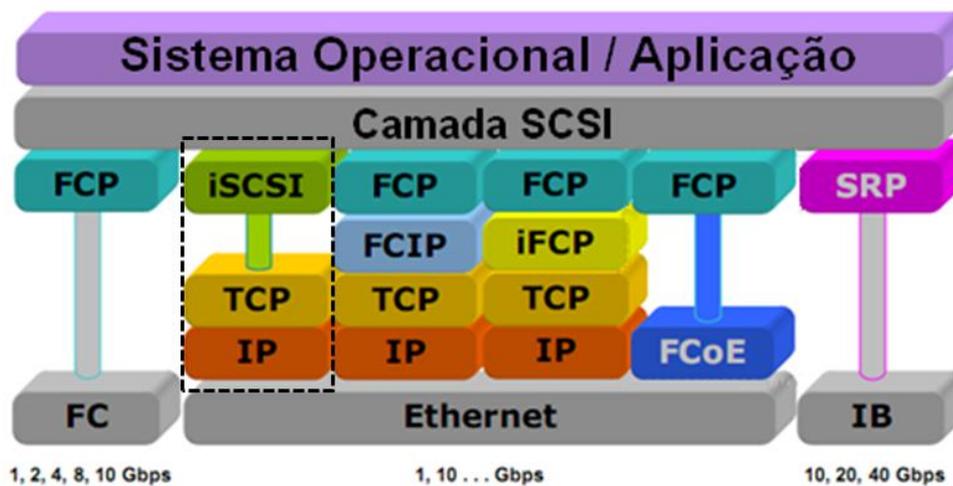


Figura 2.2 – Protocolos de rede de armazenamento¹

O Internet SCSI (iSCSI) é um protocolo totalmente novo padronizado pelo *Internet Engineering Task Force (IETF)* documentado na RFC3027, e projetado para transportar SCSI sobre redes TCP/IP. Esse novo protocolo permite agora construir uma *Storage Area Network Internet Protocol (SAN-IP)*, representada na Figura 2.3 onde temos os dispositivos de armazenamento conectados em um *switch ethernet* formando uma rede local com protocolo TCP/IP.

¹ Disponível em www.cisco.com

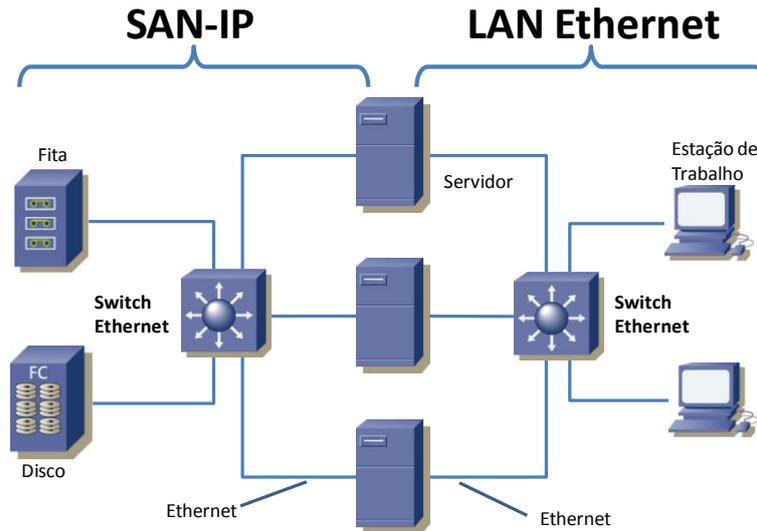


Figura 2.3 - Topologia simplificada de uma SAN-IP

Esta nova abordagem tem entre suas principais vantagens a convergência entre redes de armazenamento e rede de dados em uma única infraestrutura de comunicações, utilizando o protocolo TCP/IP (GAUGER, et al., 2005). O TCP/IP permite o uso de uma plataforma unificada de gerência da rede baseada em SNMP e é extensível para redes metropolitanas (MAN) e geográficas (WAN), entre outras (ORENSTEIN, 2003).

2.2 O PROTOCOLO ISCSI

Como mencionado anteriormente, o iSCSI é um protocolo de transporte para os comandos SCSI originados, por exemplo, a partir de um servidor para um dispositivos de armazenamento. Neste contexto o dispositivo que solicita o I/O (*Input/Output*) é denominado *initiator* e o dispositivo de destino *target*. O iSCSI por sua vez é transportado pelo protocolo TCP/IP encapsulado no *ethernet* como representado na Figura 2.4, onde a PDU (*Protocol Data Unit*) é composta por 48 *bytes* do cabeçalho iSCSI mais o campo de dados iSCSI que pode variar de 1.394 até 8.894 *bytes*. Os cabeçalhos TCP/IP e *ethernet* ocupam respectivamente 40 *bytes* e 18 *bytes* (NETO, et al., 2007).

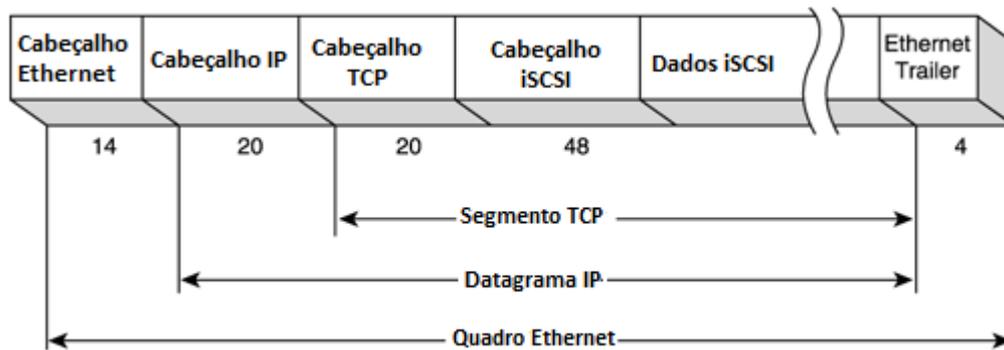
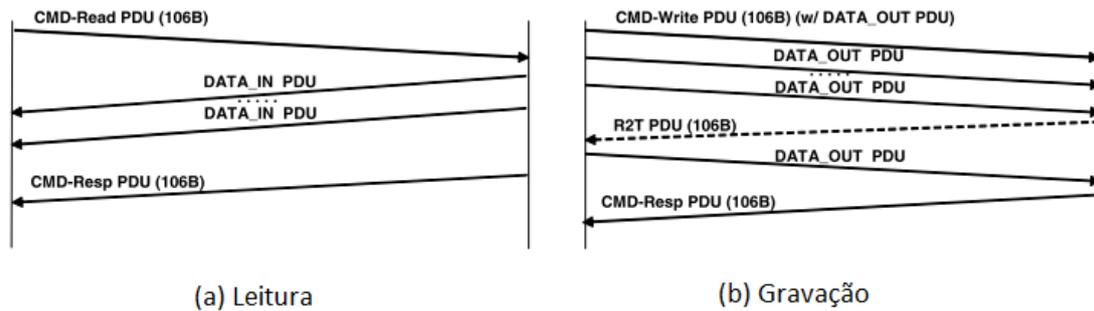


Figura 2.4 – Encapsulamento do iSCSI

Fonte: (HUFFERD, 2003)

As PDUs iSCSI mais utilizadas são: *SCSI Command/Response*, *Data In/Out*, *Ready to Transfer (R2T)* e *Login Request/Response*, que são utilizadas nas três fases de execução: comando, dados e mensagens de *status*. A PDU *SCSI Command* é usada para transferir comandos SCSI entre o *initiator* e o *target*. No caso de um comando de leitura, o *target* enviara para o *initiator* uma ou mais PDUs *Data In*. Na solicitação de gravação de dados, o *initiator* enviará uma ou mais PDUs *Data Out*. O *target* pode especificar para o *initiator* qual parte dos dados ele pode enviar utilizando a PDU *Ready to Transfer*. Ao término da transferência dos dados o *target* envia a PDU *Response* indicando o sucesso ou falha da transferência. Para cada PDU *Command* existe uma única PDU *Response* e entre elas pode existir várias ou nenhuma PDU *Data*. PDUs *Data* e PDU *Response* devem ser enviadas na mesma conexão TCP em que foi gerado o PDU *Command*(METH, et al., 2003).

Na Figura 2.5 (a) é apresentado fluxo típico de execução do comando de leitura (*read*) que começa com *initiator* enviando o comando SCSI de leitura *CMD-Read* para o *target*. Em seguida, os dados requisitados são enviados pelo *target* utilizando PDUs *DATA_IN*. Note que os dados são fragmentados em diversas PDUs de acordo com o tamanho máximo negociado para o campo iSCSI Data. Para encerrar, o *target* envia o comando *CMD-Resp* para o cliente (NAM, et al., 2004).



(a) Leitura (b) Gravação
 Figura 2.5 - Sequencia do comando de leitura e gravação
 Fonte: (NAM, et al., 2004)

A execução do comando de gravação (*write*), apresentado na Figura 2.5 (b) é mais complexa devido ao mecanismo de gerenciamento de *buffer* livre e as técnicas de otimização de transmissão de dados implementadas no protocolo. O *initiator* envia o comando SCSI de gravação WRITE SCSI para o *target*. Caso o tamanho dos dados a serem gravados seja menor que o tamanho do campo iSCSI Data, o dado é enviado junto com o comando de gravação. Esse recurso é denominado de transmissão imediata dos dados. Se o tamanho dos dados é maior que o *FirstBurstLenght*, o *initiator* transfere a quantidade de bytes definida no *FirstBurstLenght* sem receber a mensagem *Ready to Transfer* (R2T) do *target*. Este processo é denominado transmissão de dados não solicitados. Note que a transmissão imediata de dados é combinada com a transmissão não solicitada de dados. Depois disso, o *initiator* envia dados somente após receber a mensagem R2T do *target*. Isso é chamado transmissão de dados solicitada (NAM, et al., 2004).

O processo aqui descrito será útil para o entendimento do cálculo da banda consumida, apresentado no próximo capítulo.

2.3 CÁLCULO DA BANDA DE REDE SAN

Para calcular a necessidade de banda em redes de armazenamento é utilizado o método *naive*, que pode ser traduzido para empírico ou ingênuo, citado por Nam, Ryu et al (2004). Neste método são considerados somente o tamanho médio da requisição de I/O (*sz*) em bytes e a quantidade de requisições de I/O por segundos (IOPS) da aplicação. O cálculo é realizado multiplicando esses valores com mostra a equação 2.1.

$$B_{naive} = sz \times IOPS \quad (2.1)$$

Este método tende a superdimensionar a banda necessária, uma vez que não considera o comportamento do protocolo iSCSI e também o *overhead* dos cabeçalhos de cada camada, que como pode ser verificado na Figura 2.4 é de 106 Bytes obtidos pela soma de 18 Bytes do ethernet, 20 bytes do IP e 20 bytes do TCP.

Procurando obter maior precisão no cálculo e otimizar o uso da rede, principalmente considerando que no ambiente IP a rede pode ser compartilhada com outras aplicações, Name, Ryu, et al. (2004) apresentou em seu trabalho um novo método onde o *overhead* dos cabeçalhos e o comportamento do protocolo iSCSI são considerados. Neste trabalho esse método é identificado como método *overhead*.

Baseado no comportamento do protocolo na execução do comando de leitura mostrado na Figura 2.5 (a), são obtidas as equações (2.2) e (2.3), onde $D_r^{c \rightarrow s}(sz)$ representa a quantidade de dados transferida a partir do cliente do sistema de armazenamento (*initiator*) para o sistema de armazenamento (*target*) na execução do comando de leitura com requisição de I/O de tamanho sz , $D_r^{s \rightarrow c}(sz)$ representa a direção contrária.

$$D_r^{c \rightarrow s}(sz) = ov_{prot} \quad (2.2)$$

$$D_r^{s \rightarrow c}(sz) = 2ov_{prot} + \left\lceil \frac{sz}{\hat{S}_f} \right\rceil + sz \bmod \hat{S}_f \quad (2.3)$$

Onde $\hat{S}_f = S_f - ov_{prot}$, sendo ov_{prot} o overhead de 106 bytes causado pelos cabeçalhos dos frames ethernet, TCP/IP e iSCSI, vide Figura 2.4. S_f representa o tamanho do frame *ethernet*.

Para calcular a quantidade de dados transferida numa requisição de gravação, foi considerado que inicialmente o cliente envia a quantidade de dados acordada (transmissão de dados não solicitada) sem aguardar a mensagem de R2T. No cálculo foi considerado também que o volume de tráfego é o suficiente para exigir a mensagem de R2T para cada transferência de dados. Contudo, se o tamanho de requisição de I/O é menor que o tamanho do campo de dados do iSCSI (*iSCSI Data*), o dado é enviado utilizando o processo de transmissão imediata. Utilizando $D_w^{c \rightarrow s}(sz)$ para denotar a quantidade de dados

transferida do cliente de armazenamento para o sistema de armazenamento em uma requisição de gravação, e $D_w^{s \rightarrow c}(sz)$ para a direção contrária, tem-se:

$$D_w^{c \rightarrow s}(sz) = \begin{cases} ov_{prot} + sz & \text{se } sz \leq \hat{S}_f \\ 2ov_{prot} + \left\lfloor \frac{sz}{\hat{S}_f} \right\rfloor + sz \bmod \hat{S}_f & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$D_w^{s \rightarrow c}(sz) = \begin{cases} ov_{prot} & \text{se } sz \leq \text{FirstBurstLength} \\ 2ov_{prot} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.5)$$

O cálculo da banda de rede necessária para transferir os dados do cliente para o sistema de armazenamento $\hat{b}^{c \rightarrow s}$ com um tamanho médio de requisição de I/O sz , quantidade de I/O por segundo $iops$ e taxa de requisição de I/O de leitura f , é obtido pela equação 2.6, a equação 2.7, $\hat{b}^{s \rightarrow c}$ é o cálculo para a direção contrária.

$$\hat{b}^{c \rightarrow s} = \{f D_r^{c \rightarrow s}(sz) + (1 - f) D_w^{c \rightarrow s}(sz)\} iops \quad (2.6)$$

$$\hat{b}^{s \rightarrow c} = \{f D_r^{s \rightarrow c}(sz) + (1 - f) D_w^{s \rightarrow c}(sz)\} iops \quad (2.7)$$

2.4 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentadas as tecnologias de rede armazenamento SAN baseada em *fibre channel* e IP. Como o foco do trabalho é a SAN-IP utilizando o protocolo iSCSI, este protocolo foi detalhado nos pontos relevantes para o trabalho.

Por fim foram apresentados os métodos *naive* e o *overhead* para o cálculo da banda de rede consumida para a transferência de dados entre o cliente de um sistema de armazenamento (*initiator*) e o sistema de armazenamento (*target*).

3 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

Uma etapa fundamental no dimensionamento de capacidade de uma rede é conhecer o comportamento do seu tráfego. Este conhecimento permite:

- Construir uma infraestrutura que atenda os requisitos de qualidade de serviço exigidos pelas aplicações de forma eficiente, sem subestimar, causando perda de qualidade e serviços deficientes e tão pouco superestimar, consumindo recursos além do necessário;
- Facilitar o estabelecimento de contrato de nível de serviços;
- Estimar o desempenho dos sistemas e o controle da comunicação fim-a-fim.

A caracterização do utiliza-se de características estatísticas obtidas do tráfego em análise para criar modelos matemáticos que representem este tráfego. Estes modelos são então aplicados para criar simuladores ou geradores de tráfegos, utilizados no planejamento, projeto e soluções de problemas na rede.

Até recentemente os modelos matemáticos utilizados eram baseados nos modelos de Markov, que partem da premissa de que a fonte do tráfego tem um comportamento Poissoniano (PRISCILA, 2007). Entretanto, estudos realizados nos últimos anos com tráfegos de diferentes tipos de rede: (LELAND, et al., 1994) em redes *ethernet*, (PAXSON, et al., 1995) para tráfego WAN, (CROVELLA, et al., 1996) para acessos WWW entre outros, demonstraram o comportamento fractal do tráfego IP para diversos protocolos e serviços.

A palavra fractal tem sua origem do latim *fractus*, que significa quebrado ou irregular. Segundo Bianchi (2005) foi utilizada originalmente por Beinoit Mandelbrot para descrever objetos muito irregulares para se adequarem à geometria euclidiana. Fractal é definido, de uma forma básica por Perlingeiro (2006) como: “Padrão ou uma forma geométrica construída com a junção de vários elementos idênticos e repetitivos, em que cada elemento individual é semelhante ao todo”.

Os fractais podem ser classificados como processos multifractais ou monofractais. Os processos multifractais são utilizados para caracterização de tráfegos em alta frequência, ou seja, pequenas escalas de tempo, na faixa de milissegundos. Estes processos não serão abordados nesse trabalho, uma vez que o foco definido são coletas realizadas utilizando-se

SNMP, com escala na ordem de segundos. O processo monofractal será a base utilizada nesse trabalho e a seguir é apresentada uma visão geral deste processo.

3.1 PROCESSOS MONOFRACTAIS OU AUTOSSIMILARES

O conceito de processo autossimilar é utilizado para designar um processo escalonável no tempo ou no espaço sem alteração de suas propriedades estatísticas (PERLINGEIRO, 2006). Além dessa característica, os processos monofractais ou autossimilares também apresentam dependência de longa duração (DLD), manifestada pelo decaimento lento das variâncias e decaimento hiperbólico da função de autocorrelação.

Graficamente, a manutenção das propriedades estatísticas é exemplificada na Figura 3.1 onde é possível perceber que, à medida que a escala de tempo aumenta, as propriedades estatísticas do tráfego de Poisson se degeneram mais rapidamente que o tráfego real. Em escalas grandes de tempo o tráfego caracterizado como Poisson é praticamente constante, enquanto o tráfego real ainda possui picos de tráfegos.

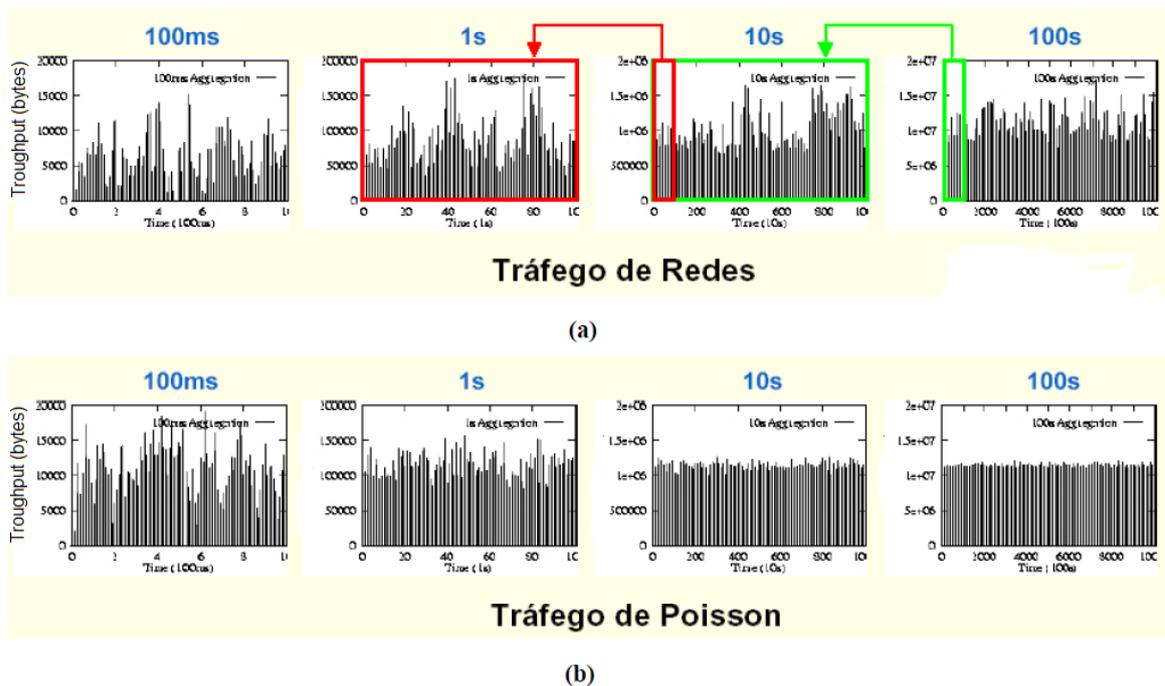


Figura 3.1 – Tráfego autossimilar (a), Tráfego Poisson (b)
Fonte: (HWANG, 2004)

A Dependência de Longa Duração (DLD) é o fenômeno pelo qual o processo estocástico possui uma função de autocovariância não integrável (cuja soma diverge). Isso significa, na prática que sua função de autocorrelação possui um decaimento lento, de acordo com uma curva hiperbólica. Este comportamento é contrário ao registrado para o

tráfego Poissonianos que possui um decaimento rápido ou exponencial, indicando o fenômeno da dependência de curta duração (DCD) (HWANG, 2004).

O impacto das características autossimilares no tráfego gera diversas consequências, uma delas, ocasionada pela ocorrência de muitas rajadas longas de tráfego é o aumento da ocupação do *buffer* nos equipamentos. *Buffer* é uma área no equipamento de rede para armazenamento de pacotes durante os períodos de congestionamento, quanto maior a ocupação do *buffer*, maior o tempo de espera do pacote no *buffer*, o que gera atraso no encaminhamento do pacote. Como o *buffer* tem um limite de tamanho, grandes rajadas de tráfego podem exceder a sua capacidade, ocasionando o descarte de pacotes.

Nas próximas sessões a autossimilaridade é descrita matematicamente e são apresentados alguns métodos para sua identificação em um tráfego real.

3.1.1 Autossimilaridade

A autossimilaridade em um tráfego de rede pode ser definida a partir de suas principais características: manter as propriedades estatísticas em diferentes escalas de tempo e a dependência de longa duração (DEUS, 2007).

Matematicamente, a autossimilaridade é identificada de forma distinta em processos estocásticos discretos e em processos estocásticos contínuos no tempo, existindo, no entanto um estrito relacionamento entre os dois processos. Este relacionamento é importante quando se considera que uma rede é um sistema em contínuo funcionamento, do qual geralmente uma amostra de tempo e não o processo como um todo é analisado (SILVA, et al., 2001).

Considera-se então um processo estocástico discreto ($X_t : t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) estacionários de 2ª ordem, com média μ e variância σ^2 constantes, com função de covariância dada pela equação 3.1.

$$\gamma(t_1, t_{1+k}) = E[(X(t) - \mu)(X(t+k) - \mu)] = \gamma(k) \quad (3.1)$$

Cuja autocorrelação é definida na equação 3.2.

$$\rho(t_1, t_{1+k}) = \frac{\gamma(k)}{\gamma(0)} = \rho(k) \quad (3.2)$$

O processo acima é considerado exatamente autossimilar de 2ª ordem com parâmetro de Hurst H , para $1/2 < H < 1$ se $\forall k \geq 1$ na equação 3.3.

$$\gamma(k) = ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}) \frac{\sigma^2}{2} \quad (3.3)$$

Na equação 3.4 tem-se $X^{(m)}$ o processo agregado a $X(t)$, tal que para $k = 1, 2, 3, \dots$ e $m = 1, 2, 3, \dots$

$$X_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km+1}^{km} X_i \quad (3.4)$$

Verifica-se que $X^{(m)}$ é também um processo estacionário de 2ª ordem e, para todo o $m > 1$, a equação 3.5 expressa que a estrutura de correlação é mantida durante o tempo agregado.

$$\rho(k) = \rho(k)^{(m)} \quad (3.5)$$

O processo estocástico discreto $(X_t : t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ estacionário de 2ª ordem será assintoticamente autossimilar de 2ª ordem com parâmetro de Hurst H , para $1/2 < H < 1$, se $\forall k \geq 1$ atende a equação 3.6:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \gamma(k) = ((k+1)^{2H} - 2k^{2H} + (k-1)^{2H}) \frac{\sigma^2}{2} \quad (3.6)$$

Neste processo, a estrutura de correlação é mantida assintoticamente ao longo do tempo.

Para um processo estocástico contínuo no tempo $(Y_t : t \in T) T \subseteq R$, a autossimilaridade de $Y(t)$ é definido pela equação 3.7 para todo $a > 0$ e $t \geq 0$, sendo a igualdade da equação no sentido probabilístico:

$$Y(t) \stackrel{d}{=} a^{-H}Y(at), a > 0 \quad (3.7)$$

Isso significa que, para qualquer fator de escala positivo a , obtida, comprimindo-se o eixo do tempo por fator a e o eixo das amplitudes por um fator a^{-H} , o processo $a^{-H}Y(at)$ possui distribuição estatisticamente igual ao processo original $Y(t)$. Assim, uma variação na escala temporal implica uma variação na escala dimensional com H mantendo-se constante à medida que a varia.

O parâmetro H na equação 3.7, conhecido como parâmetro de Hurst, mede o grau de autossimilaridade, caracterizando a dependência de longa duração do processo estocástico:

- Se $\frac{1}{2} < H < 1$, processo tem dependência de longa duração.
- Se $H \leq \frac{1}{2}$, o processo possui dependência de curta duração ou independência.

Diz-se que Y_t é um processo estocástico com incrementos estacionários (H_{SSSI}), se a $Y(t)$ estiver associado o processo estacionário de 2ª ordem ($X_t : t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), tal que a equação 3.8:

$$X(t) = (Y(t) - Y(t - 1)) \quad (3.8)$$

Sendo $Y(t)$ um processo H_{SSSI} , então $0 < H \leq 1$, $Y(0) = 0$. A função de covariância é dada pela equação 3.9:

$$\gamma(Y(t_1), Y(t_2)) = \frac{1}{2}(|t_1|^{2H} + |t_2|^{2H} - |t_1 - t_2|^{2H})Var Y(1) \quad (3.9)$$

em que, para $\forall t \in R$:

- a) $E[Y(t)] = 0$, se $0 < H < 1$;
- b) $Y(t) = tY(1)$, se $H = 1$.

Verifica-se que $X(t)$ também satisfaz a equação 3.10:

$$Y \stackrel{d}{=} m^{(1-H)} X^{(m)} \quad (3.10)$$

Assim demonstra-se que $X^{(m)}$ se relaciona com $X(t)$ através do fator de reescalonamento $m^{(1-H)}$. Logo, dependendo de como o processo discreto $X(t)$ satisfaz a equação 3.10 ($\forall m \geq 0$, ou apenas quando $m \rightarrow \infty$), diz-se que $X(t)$ é exatamente autossimilar e ou assintoticamente autossimilar.

Uma vez que a variância de uma amostra com média \bar{X} de tamanho m é dada pela equação 3.11:

$$\text{var}(\bar{X}) = \frac{\sigma^2}{m} \quad (3.11)$$

Tem-se que:

$$\text{var}(X^{(m)}) = \sigma^2 m^{2H-2} \quad (3.12)$$

Para variáveis de amostra independentes e $H = 1/2$, então

$$\text{var}(X^{(m)}) = \sigma^2 m^{-1} \quad (3.13)$$

$$\text{var}(X^{(m)}) = \sigma^2 m^{-\beta}, \text{ para } 1/2 < H < 1 \quad (3.14)$$

Com $0 < \beta < 1$ e $H = 1 - \beta / 2$, que denota-se certa dependência na estrutura da amostra que causa a convergência lenta de $\text{var}(X^{(m)})$, a taxa de $m^{-\beta}$. Esta propriedade é conhecida como decaimento lento das variâncias.

A dependência de longa duração é uma propriedade que pode estar presente no tráfego. Este processo caracteriza-se pelo fato de um determinado acontecimento no tempo presente, influenciar o comportamento do processo no tempo futuro.

Considere um processo estocástico estacionário de 2ª ordem $X(t)$, com média μ , variância σ^2 , autocovariância $\gamma(k)$ e função de autocorrelação $\rho(k)$, tem dependência de longa duração se, para $0 < H < 1$ e $H \neq 1/2$, tem se a equação 3.15:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\rho(k)}{H(2H - 1)k^{2H-2}} = 1 \quad (3.15)$$

Para $1/2 < H < 1$, o processo tem uma função de autocorrelação $\rho(k)$ com decaimento hiperbólico, tendo-se para $c > 0$ constante e $\beta = 2 - 2H, 0 < \beta < 1$:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\rho(k)}{ck^{-\beta}} = 1 \quad (3.16)$$

Verifica-se que o decaimento da função de autocorrelação é de tal forma lento que é não somável. O processo cuja função de autocorrelação é somável e possui um decaimento exponencial é um processo com dependência de curta duração.

Um processo com dependência de longa duração não é necessariamente autossimilar e vice-versa. Esta equivalência existe somente para processos assintoticamente autossimilar de 2ª ordem com a restrição de que $1/2 < H < 1$.

No próximo capítulo são abordados alguns dos métodos disponíveis para o cálculo do parâmetro de Hurst, informação básica para avaliação da autossimilaridade do tráfego analisado.

3.1.2 Métodos de Estimativa do Parâmetro de Hurst

Na prática, a estimativa do parâmetro de Hurst é um problema complexo, devido a dependência de vários fatores, como: o método de estimativa utilizado, o tamanho da amostra, a escala de tempo, a estrutura dos dados etc (SHELUHIN, et al., 2007). Esses problemas justificam porque o parâmetro de Hurst é estimado e não calculado.

Existem diversos métodos para fazer essa estimativa, métodos esses que podem ser classificados em duas categorias: métodos que operam no domínio do tempo e métodos no domínio da frequência ou *wavelet*.

Os métodos no domínio do tempo investigam a existência de relacionamento da lei de potencia entre uma propriedade da série temporal e o tamanho do bloco de agregação m . A dependência de longa duração (DLD) existe quando verifica-se uma linha reta ao traçar o gráfico da propriedade estatística *versus* m numa escala log-log. A inclinação dessa reta define o valor estimado do parâmetro de Hurst. Esta estimativa é utilizada pelos métodos: análise R/S (*Rescale Adjust Range*), valor absoluto, variância e variância dos resíduos.

No domínio da frequência ou *wavelet*, os métodos de estimativas examinam se a energia ou o espectro da série temporal segue o comportamento de uma lei de potencia. Os métodos utilizados são: Periodograma, Whittle e *wavelet* Abry-Veitch.

A seguir será apresentado o detalhamento dos métodos que serão utilizados nesse trabalho:

3.1.2.1 Análise R/S – Estatística de Amplitude Reescalada Ajustada

Considere uma sequencia finita de observações $\{X_k, k = 1, 2, \dots, n\}$ com média $Y(n)$ e variância das amostras dada por $S^2(n)$, então a amplitude reescalada ajustada é dada por (JÚNIOR, 2003):

$$\frac{R(n)}{S(n)} = \frac{1}{S(n)} \left[\max_{0 \leq t \leq n} (Y(t) - tY(n)) - \min_{0 \leq t \leq n} (Y(t) - tY(n)) \right] \quad (3.17)$$

Onde $S(n)$ e $Y(n)$ são definidos respectivamente como:

$$S(n) = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n X_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.18)$$

$$Y(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.19)$$

Hurst mostrou que muitas séries temporais satisfazem a seguinte relação empírica:

$$E \left[\frac{R(n)}{S(n)} \right] \approx cn^H, n \rightarrow \infty \quad (3.20)$$

onde c é uma constante positiva finita que não depende de n e $S(n)$ é o desvio padrão.

A declividade da reta ajustada para o gráfico $(\log(n), \log(R(n)/S(n)))$ fornece uma estimativa do parâmetro de Hurst.

A Figura 3.2 apresenta um exemplo do gráfico da análise R/S obtido com a aplicação desse método.

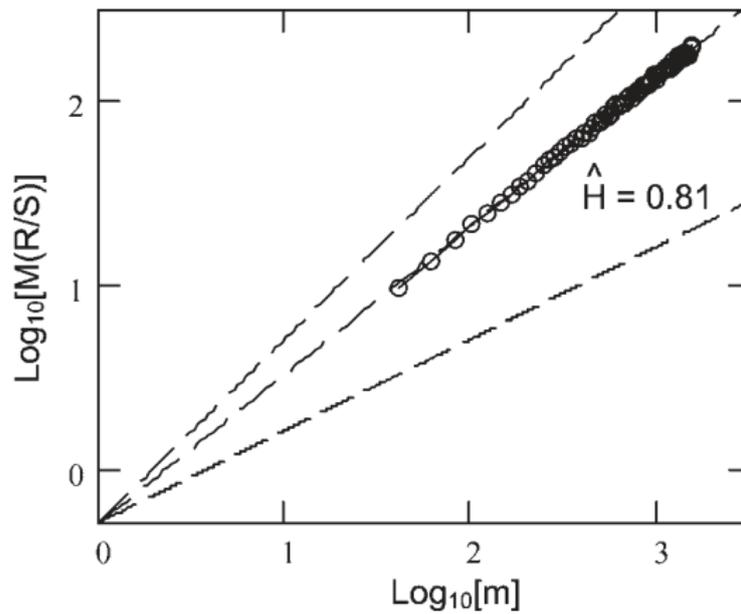


Figura 3.2 – Gráfico da análise R/S
 Fonte: (SHELUHIN, et al., 2007)

3.1.2.2 Método do Periodograma

Essa estimativa é baseada no diagrama de densidade espectral. O método traça o gráfico do logaritmo da densidade espectral de uma série temporal *versus* o logaritmo das frequências. A inclinação da reta que melhor aproxima esse gráfico define o valor estimado do parâmetro de Hurst. O periodograma é dado por

$$I(w) = \frac{1}{2\pi N} \left| \sum_{k=1}^N X(k) e^{ikw} \right|^2 \quad (3.21)$$

Onde w é a frequência, N é o comprimento e X o tamanho da série temporal.

A Figura 3.3 apresenta um exemplo do gráfico obtido com esse método.

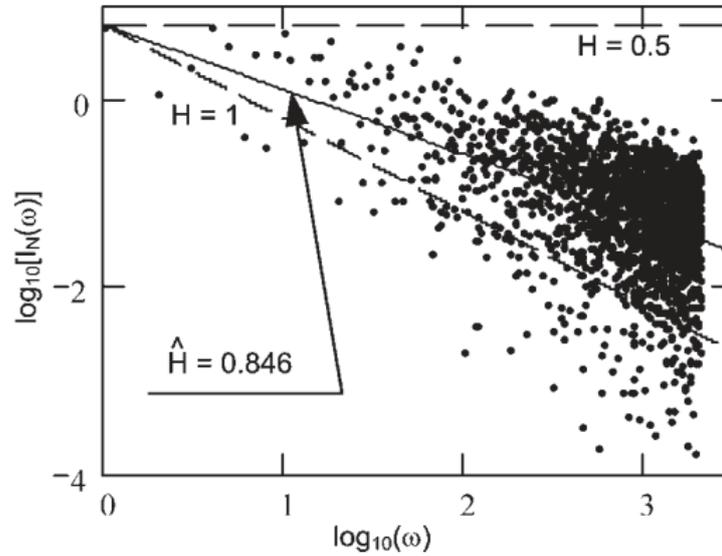


Figura 3.3 – Gráfico do método Periodograma
 Fonte: (SHELUHIN, et al., 2007)

3.1.2.3 Estimador Whittle

Considere que $\{X_t\}$ representa a função de amostra de um processo autossimilar X com parâmetro de Hurst desconhecido. Neste método, inicialmente é determinada a densidade espectral de potência $f(\lambda, H)$ do processo X normalizado para ter variância 1, e o periodograma $I(\lambda)$ da função $\{X_t\}$. Sendo X um processo autossimilar, sua densidade espectral de potência pode ser escrita em função do parâmetro de Hurst. Para estimar o parâmetro de Hurst, o valor de \hat{H} que minimiza a integral apresentada na equação (3.22) deve ser encontrado.

$$g(\hat{H}) = \int \frac{I(\lambda)}{f(\lambda; \hat{H})} \quad (3.22)$$

É importante notar que esse método pressupõe que o processo seja autossimilar. Isso leva a obter boas estimativas do parâmetro de Hurst. Para determinar se a série é autossimilar é necessário aplicar outros métodos, tais como estatística R/S, periodograma, etc (SHELUHIN, et al., 2007).

Karagiannis, Faloutsos e Riedi (2002) fazem uma comparação no uso desses métodos procurando definir uma abordagem sistemática para análise da DLD e apresentam as seguintes conclusões:

- Não existe um método que possa dar uma resposta definitiva quanto à existência ou não da DLD na série analisada. Por exemplo, Whittle é o mais preciso quando a DLD existe, mas pode induzir a erro em séries periódicas que não possuam DLD.
- A DLD pode existir mesmo que os estimadores apresentem diferentes valores, desde que os valores estejam na faixa $1/2 < H < 1$.
- É pouco provável que exista DLD se vários métodos de estimativa apresentam valores do parâmetro de Hurst fora da faixa desejada.
- A periodicidade na série pode induzir ao erro, indicando DLD onde não existe.
- Uma inspeção visual da série pode ser muito útil, permitindo uma análise qualitativa que pode revelar algumas características como a periodicidade, por exemplo. Para isso recomenda-se traçar o sinal em diferentes escalas de tempo.

Adicionalmente podemos considerar as seguintes recomendações apresentadas por Sheluhin, Smolskiy e Osin (2007) de utilizar os métodos R/S e Periodograma para testar se a série é autossimilar ou não na escala de tempo analisada. Caso o resultado seja positivo, consegue-se obter uma estimativa aproximada do parâmetro de Hurst.

Com base nos resultados apresentados acima, para a estimativa correta do parâmetro de Hurst podemos definir a seguinte sistemática:

- Fazer uma inspeção visual do tráfego gerando gráficos em diferentes escalas de tempo. Isso ajudará a identificar a presença da autossimilaridade pela semelhança do traço nas diferentes escalas, bem como a ocorrência de periodicidade.
- Definida a escala de tempo, aplicar os métodos R/S e Periodograma para confirmar a existência de autossimilaridade e DLD no tráfego.
- Aplicar outros métodos, principalmente Whittle, para confirmar as estimativas de do parâmetro de Hurst atendem a restrição $1/2 < H < 1$.

3.1.3 Cálculo da banda efetiva

Uma vez caracterizado o tráfego, temos as informações necessárias para o cálculo da banda efetiva ou banda passante consumida. Perlingeiro (2006) define de forma simplificada a banda efetiva como a taxa de transmissão da informação, geralmente entre a taxa média e a taxa de pico, que atende os requisitos de QoS estabelecidos para atender determinado tráfego.

O modelo matemático a partir do qual a maioria dos estimadores de banda efetiva é desenvolvida foi introduzida por Kelly (1996) e é apresentada a seguir. Para isso, considere $X[0,t]$ a quantidade de trabalho que chega a uma fonte no intervalo de tempo $[0,t]$, a banda efetiva é definida pela equação 3.23.

$$\alpha(s, t) = \frac{1}{st} \log \mathbb{E}[e^{sX[0,t]}] \quad 0 < s, t < \infty \quad (3.23)$$

Onde s é o parâmetro de espaço e esta relacionado ao tamanho do *buffer*, t é o parâmetro de tempo e esta relacionada com as escalas de tempo responsáveis pelo transbordo do buffer (DRUMMOND, et al., 2005).

Neste trabalho é utilizado o método de cálculo da banda passante chamado de Processo Envelope do Movimento Browniano Fracionado, representado pela sigla FEP (*Fractal Envelope Process*), desenvolvido a partir de uma variação do método de Norros (NORROS, 1995).

A expressão da banda estimada FEP é dada pela equação 3.24, onde: EB é a banda equivalente, \bar{a} é a taxa média, σ é o desvio padrão do tráfego, P_{loss} é a probabilidade de transbordo do *buffer*, K é o tamanho do buffer, H é o parâmetro de Hurst na faixa $1/2 < H < 1$.

$$EB = \bar{a} + K^{\frac{H-1}{H}} * (\sqrt{-2 * \ln(P_{loss})} * \sigma)^{\frac{1}{H}} * H(1 - H)^{\frac{1-H}{H}} \quad (3.24)$$

Esse método de cálculo é utilizado por Deus (2007) em seu trabalho onde, uma vez o tráfego caracterizado como monofractal ou autossimilar, a banda efetiva ou banda passante B_p , é calculada utilizando a equação 3.24.

3.2 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentado o conceito de caracterização de tráfego, uma breve introdução ao conceito de autossimilaridade e os métodos existentes para identificar a sua presença no tráfego a ser analisado, bem como uma sistemática para efetuar caracterização do tráfego.

Foi apresentado também como utilizar algumas das propriedades estatísticas obtidas na caracterização do tráfego para calcular a banda estimada por esse tráfego. O valor obtido no cálculo da banda estimada será utilizado para validar os valores obtidos utilizando os métodos apresentados no capítulo 2.3.

4 APLICAÇÃO NA ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA SAN-IP iSCSI REAL

Neste capítulo é utilizado tráfego real obtido em uma rede SAN-IP iSCSI que atende o servidor de e-mail de uma grande empresa. O tráfego coletado será caracterizado para avaliar a presença de autossimilaridade e sua banda calculada utilizando os métodos apresentados nos capítulos anteriores. Em seguida, utilizando a ferramenta OPNET é configurado um ambiente simulado onde os valores obtidos de banda são aplicados e e comparados para avaliar a eficiência de cada método no dimensionamento da rede SAN-IP utilizando o protocolo iSCSI.

4.1 CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA

A rede SAN-IP da qual foram obtidos os tráfegos utilizados nesse atende o serviço de e-mail Microsoft Exchange 2003 com 966 usuários, cada usuário com caixa postal de tamanho 500 MB e perfil avançado, ou seja, executam em média 1,0 IOPS. O servidor é um Dell PowerEdge 6850, 4 GB memória RAM, sistema operacional Windows 2003 Enterprise Edition SP2, conectado no *switch* com um interface de rede Intel PRO/1000 MT Dual Porta Server Adapter.

As caixas postais são armazenadas no sistema de armazenamento NetApp FAS270 configurado em *cluster* de alta disponibilidade.

A conectividade entre o servidor e o sistema de armazenamento é estabelecida por um *switch* Cisco Catalyst 2960, sistema operacional IOS *Version 12.2(25) SEE3* com 24 portas 1 Gigabit *ethernet*.

A coleta do tráfego entre o servidor de e-mail e o sistema de armazenamento foi feita pelo programa PRTG *Traffic Grapher* (PAESSLER, 2009) utilizando o protocolo SNMP. No anexo A é documentado o procedimento utilizado na configuração do programa para coleta dos dados utilizados nesse trabalho. Na Figura 4.1 é apresentada a topologia do ambiente de onde foram obtidas as coletas de tráfego real utilizadas nesse trabalho.

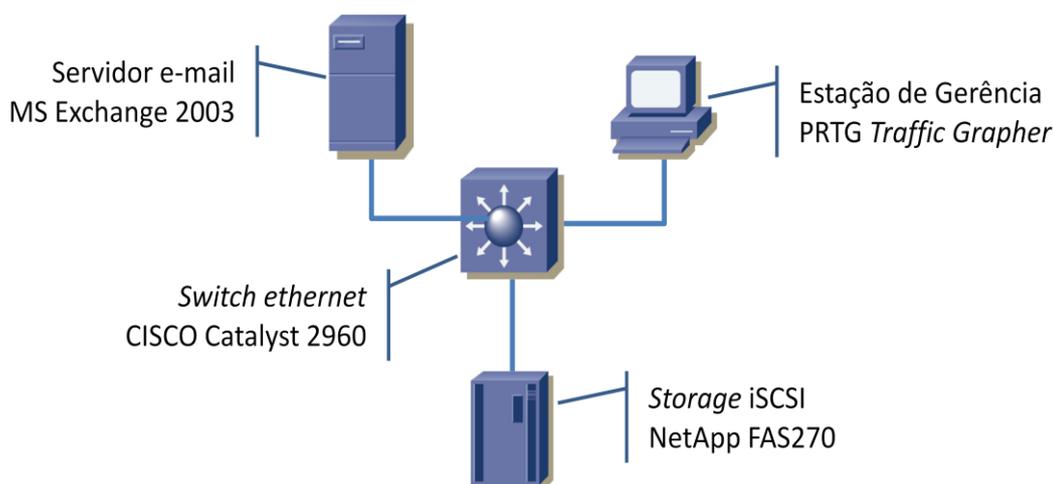


Figura 4.1 – Topologia do ambiente real

Na Tabela 4-1 são identificados os arquivos de coleta utilizados nesse trabalho, assim como o período e intervalo de coleta utilizada na geração de cada arquivo. Foram selecionados datas e períodos diferentes, com o objetivo de evitar alguma anormalidade pontual e periodicidades no tráfego.

Tabela 4-1 – Arquivos de coleta gerados.

PERÍODO DA COLETA	INTERVALO COLETA	ARQUIVO DADOS
10/05/2010 – 11/05/2010	30 seg.	mail-2010-05-10-2dias-30s.xls
19/05/2010	30 seg.	mail-2010-05-19-1dia-30s.xls
24/05/2010 – 30/05/2010	60 seg.	mail-2010-05-24-7dias-60s.xls
04/07/2010 – 10/07/2010	60 seg.	mail-2010-07-04-7dias-60s.xls
14/07/2010	30 seg.	mail-2010-07-14-1dia-30s.xls

4.2 AUTOSSIMILARIDADE GRÁFICA

Seguindo a metodologia proposta nesse trabalho para a caracterização do tráfego, que propõem uma inspeção visual do tráfego em diferentes escalas de tempo, foi utilizada a ferramenta PRTG para gerar os gráficos da banda de rede consumida no período de 24/05/2010 a 30/05/2010 na porta do *switch* onde esta conectado o servidor de e-mail. Este tráfego traçado nos escalas de 1 minuto, 5 e 15 minutos é apresentado respectivamente na Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4.

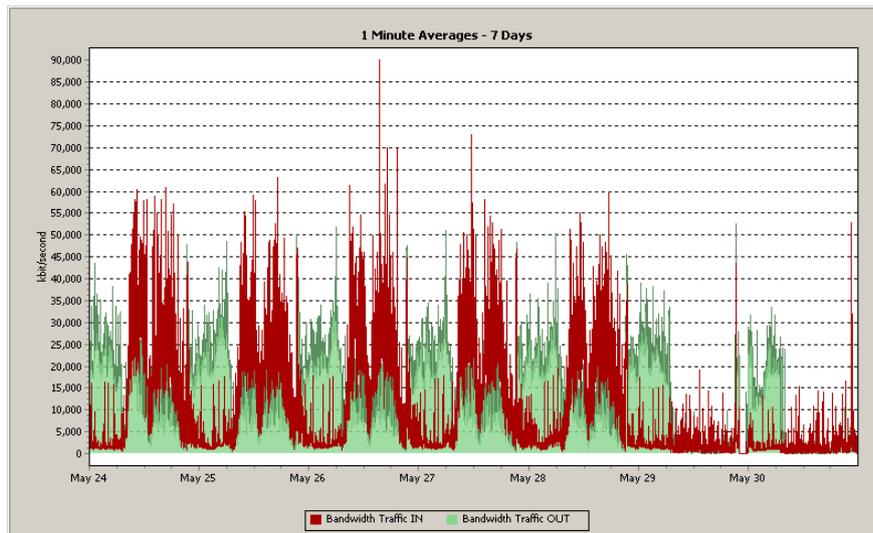


Figura 4.2 - Tráfego real coletado na escala de 1 min.

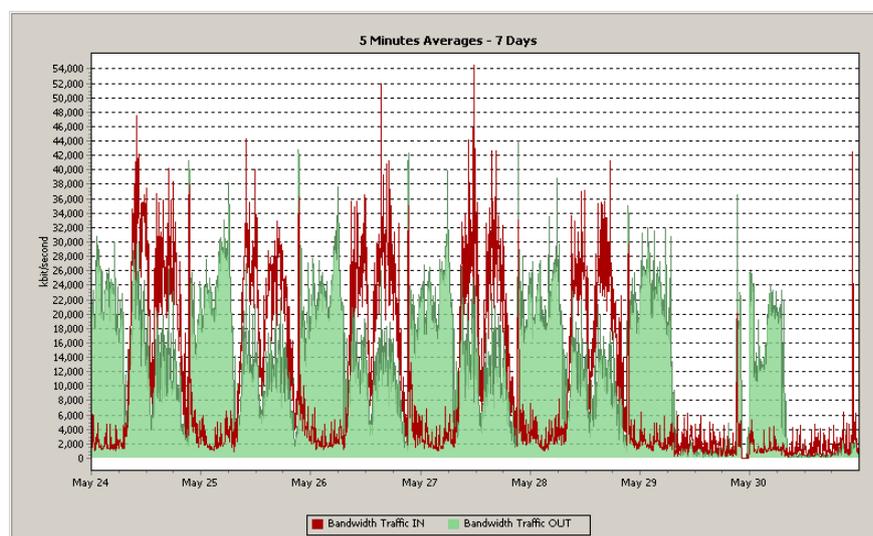


Figura 4.3 - Tráfego real coletado na escala de 5min.

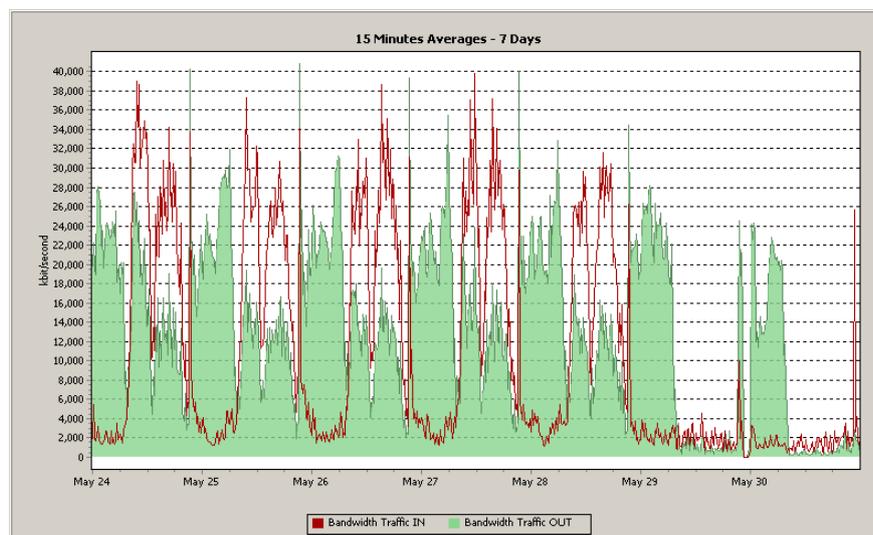


Figura 4.4 – Tráfego real coletado na escala de 15 min.

A avaliação gráfica indica a possível presença da autossimilaridade, uma vez que na diferentes escalas de tempo o gráfico apresenta graficamente o mesmo comportamento, característica básica da autossimilaridade como citado no capítulo 3.1.2.

4.3 ESTIMATIVA DO PARAMETRO DE HURST

Os métodos de estimativa do parâmetro de Hurst análise R/S e Periodograma são utilizados nesta etapa com o objetivo de verificar a presença da autossimilaridade no tráfego. Com estes métodos procura-se complementar a avaliação gráfica feita anteriormente utilizando-se métodos matemáticos que já permitem uma maior precisão na avaliação.

A estimativa foi calculada utilizando o programa SELFIS (SELF-similarity analysis tool) que permite estimar valor do parâmetro de Hurst pelos métodos Análise R/S e Periodograma e também mostra o resultado de forma gráfica (KARAGIANNIS, 2003).

Na Figura 4.5 é apresentado o gráfico obtido pelo método da análise R/S e na Figura 4.6 para o método Periodograma. Em ambos os casos foi utilizados os dados coletados no período de 24/05/2010 a 30/05/2010.

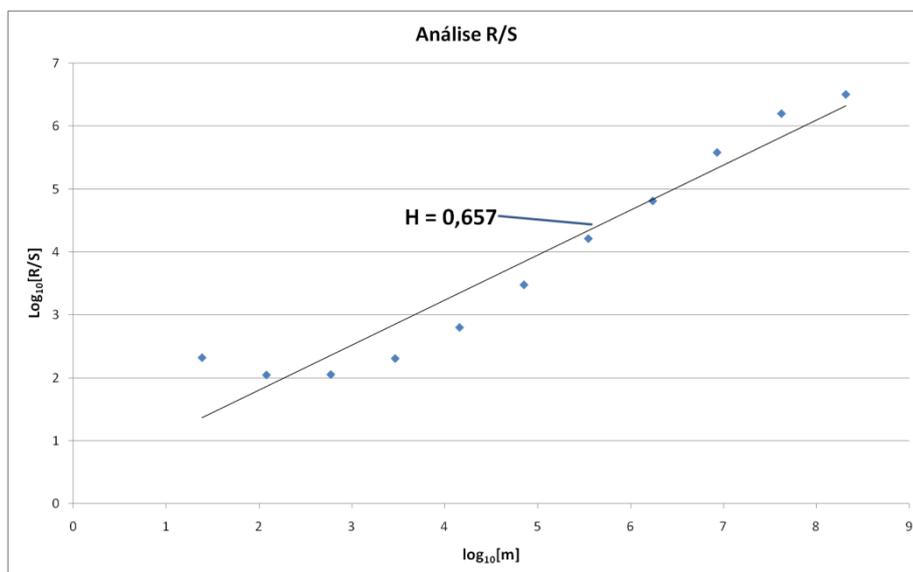


Figura 4.5 – Análise R/S

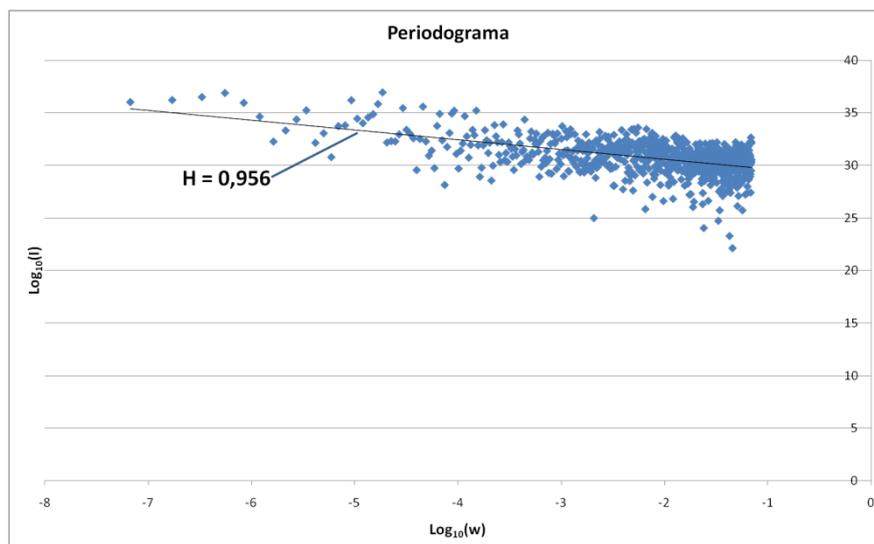


Figura 4.6 – Método periodograma

Os valores estimados de Hurst obtidos estão registrados na Tabela 4-2, onde também estão os valores calculados nos demais períodos coletados. A presença da autossimilaridade é verificada, uma vez que os valores estão dentro da faixa $0,5 < H < 1$, como definido anteriormente no capítulo 3.1.2. Note-se que ambos os métodos são indicados para uma avaliação “grosseira”, ou inicial da autossimilaridade, que uma vez confirmada, deve ser verificada utilizando-se um método mais robusto.

Tabela 4-2 - Estimativa de Hurst pelos métodos Periodogram e R/S

ARQUIVO DADOS	Periodogram	R/S
mail-2010-05-10-2dias-30s.xls	0,956	0,657
mail-2010-05-19-1dia-30s.xls	0,914	0,637
mail-2010-05-24-7dias-60s.xls	0,926	0,716
mail-2010-07-04-7dias-60s.xls	0,930	0,758
mail-2010-07-14-1dia-30s.xls	0,852	0,573

Uma vez que os métodos anteriores não descartam a presença da autossimilaridade quando aplicada aos arquivos de dados coletados, cabe agora utilizar um método mais rigoroso para estimar mais precisamente o valor do parâmetro de Hurst. Neste trabalho para esta avaliação será utilizado o método Whittle, apresentado no capítulo 3.1.2.3.

A ferramenta GTAR (QUEIROZ, et al., 2006) foi utilizada para calcular o parâmetro de Hurst. Os resultados obtidos para os arquivos de coleta são apresentados na Tabela 4-3 junto com o media e desvio padrão do tráfego analisado.

Tabela 4-3 - Estimativa de Hurst utilizando o GTAR

Arquivo de Dados	Média	Desvio Padrão	Whittle
mail-2010-05-24-7dias-60s	22.586,948	15.880,472	0,924
mail-2010-07-04-7dias-60s	21.291,657	17.174,705	0,935
mail-2010-07-14-1dia-30s	26.990,192	17.279,440	0,976
mail-2010-05-11-1dia-30s	29.562,009	15.573,409	0,913
mail-2010-05-10-2dias-30s	30.443,098	16.062,857	0,927

Os valores estimados, mais uma vez confirmam a presença de autossimilaridade nos tráfegos coletados, pois, encontram-se na faixa exigida para isso $\frac{1}{2} < H < 1$.

A caracterização do tráfego iSCSI como autossimilar permite que seja aplicado para simulação desse tráfego os modelos matemáticos já desenvolvidos por diversos pesquisadores e implementados em ferramentas como a GTAR utilizada nesse trabalho.

A propriedade da autossimilaridade também permite a utilização do parâmetro de Hurst no cálculo da banda efetiva de rede utilizada pelo tráfego, assunto abordado na próxima seção.

4.4 CÁLCULO DA BANDA DE REDE

Nam, *et al.* (2004) no seu trabalho apresenta os métodos mais comuns para o cálculo da necessidade de banda em um rede de armazenamento. Este método está descrito no capítulo 2.3 deste trabalho. Neste capítulo o procedimento de Nam será aplicado ao ambiente real de onde foram obtidos os dados utilizados nesse trabalho.

Para isso foram levantadas informações do ambiente de produção real que permitiram a definição das seguintes premissas e valores a serem aplicados nas equações apresentadas no capítulo 2.3:

- Taxa de leitura/gravação conservadora de 66/33, 66% de leitura para 33% de gravação (MICROSOFT, 2006), o que define o parâmetro $f = 0,66$.
- Tamanho médio do bloco para acesso ao disco em $sz = 4096$ bytes conforme informação constante no site da Microsoft.
- Considerando ainda 1 IOPS por usuários, temos para os 966 usuários do ambiente o requisito de $966 \times 1 = 966$ IOPS. O tamanho do *frame ethernet* é 1518 bytes.

- Mantido o valor padrão para $FirtsBurstLenght = 64$ Kbytes.

Estes valores, aplicados nas equações 2.6 e 2.7 resultam em $\hat{b}_i^{c \rightarrow s} = 35.417$ Kbps e $\hat{b}_i^{s \rightarrow c} = 23.333$ Kbps. O que indica uma banda de rede total, identificada como banda com overhead do protocolo (B_{ov}) de:

$$B_{ov} = b^{c \rightarrow s} + b^{s \rightarrow c} = 35.417 + 23.333 = 58.750 \text{ Kbps} \quad (3.25)$$

Fazendo o cálculo utilizado o método empírico, ou *naive* como denominado por Nam, onde é considerado apenas o tamanho médio do bloco de acesso ao disco e a quantidade de IOPS esperado é obtido seguinte resultado:

$$B_{naive} = sz \times IOPS \times 2 = 4096 \times 966 \times 2 = 7.913 \text{ KBps} = 63.308 \text{ Kbps} \quad (3.26)$$

Considerando que foi demonstrado na seção anterior que o tráfego iSCSI apresenta propriedade autossimilar, temos agora uma outra opção para calcular a banda de rede utilizando o fluxo apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para o caso e tráfego autossimilar.

Para isso, utilizando os valores já calculados e registrados na Tabela 4-3 e aplicados na equação 3.24, onde o tamanho do *buffer* K é 2 Mbytes, segundo informação obtida junto ao fabricante CISCO para o *switch* catalyst 2960, e probabilidade de perda (P_{loss}) foi definida em 0,001 para a rede ethernet em questão. Na Tabela 4-4 são relacionados os valores obtidos nos cálculo da banda efetiva considerando essas premissas.

Tabela 4-4 - Cálculo da Banda Estimada

ARQUIVO DADOS	Média	Desvio Padrão	Hurst (Whittle)	EB (Kbps)
mail-2010-05-24-7dias-60s	22.586,948	15.880,472	0,924	50.419
mail-2010-07-04-7dias-60s	21.291,657	17.174,705	0,935	54.910
mail-2010-07-14-1dia-30s	26.990,192	17.279,440	0,976	45.321
mail-2010-05-11-1dia-30s	29.562,009	15.573,409	0,913	54.071
mail-2010-05-10-2dias-30s	30.443,098	16.062,857	0,927	59.441

Para comparação dos resultados obtidos foi traçado o gráfico da Figura 4.7 da coleta do período de 24/05/2010 a 30/05/2010, onde a legenda tráfego indica o tráfego real coletado no intervalo de 1 minuto. Média representa o tráfego médio, FEP á a banda estimada pelo *Fractal Envelope Process*, OVP a banda considerando o *overhead* do protocolo e NAIVE a banda empírica.

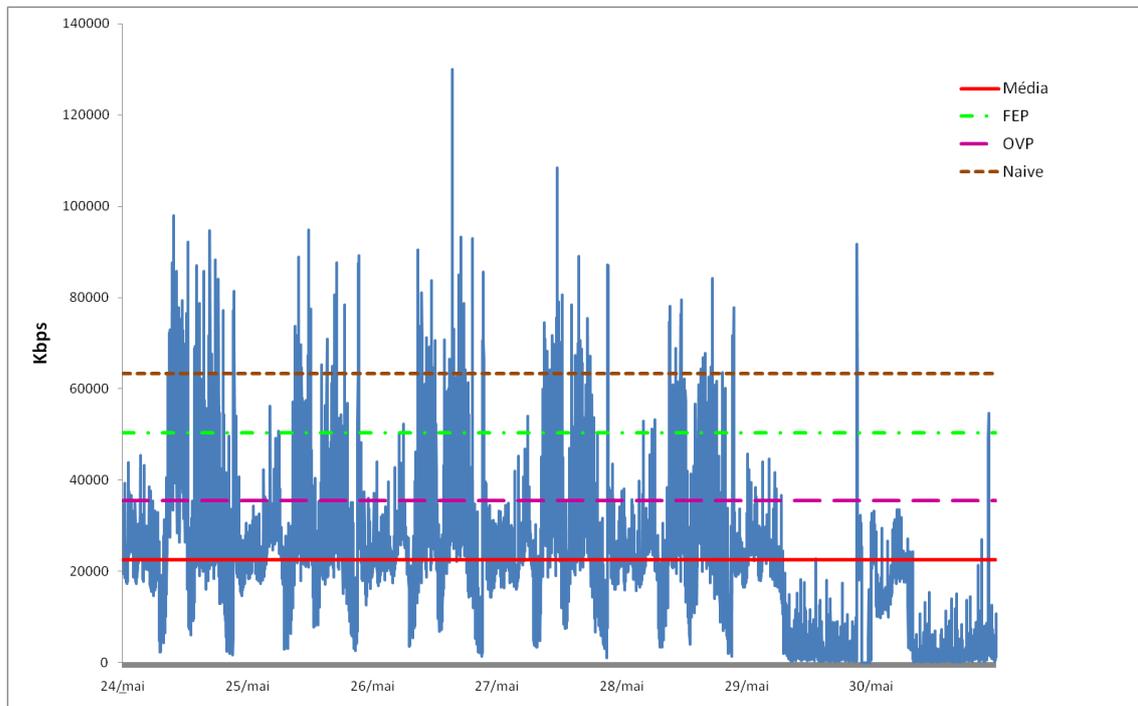


Figura 4.7 - Gráfico comparativo entres os métodos de cálculo da banda.

Para avaliar a eficiência de cada método será feita uma simulação desse ambiente para verificar o impacto de cada um dos valores obtidos.

4.5 SIMULAÇÃO DE REDE SAN IP ISCSI

Com o objetivo de avaliar o efeito no tráfego real quando a banda da rede SAN IP iSCSI é limitada pelos valores obtidos nos métodos de cálculo de banda apresentados na seção anterior, foi construído um modelo na ferramenta OPNET (OPNET, 2010) para simular a rede SAN IP real, utilizada como referência nesse trabalho. Esse modelo é representado na Figura 4.8, em que cada elemento tem a seguinte função:

- *Exchange*: uma estação de trabalho *ethernet* com interface 1.000 Mbps, simulando o servidor de e-mail Microsoft Exchange Server.
- *Storage*: um servidor *ethernet* com *interface* de rede 1.000 Mbps, simulando

o sistema de armazenamento (*storage*).

- *Switch*: um *switch* ethernet com duas interfaces de rede *ethernet* 1.000 Mbps (identificadas por IF8 e IF9), simulando o *switch* da rede SAN-IP.
- *QoS Parameters*: elemento da ferramenta para configuração dos parâmetros de QoS da simulação.
- *Tráfego*: elemento que simula o tráfego IP entre o servidor de Exchange e o *storage*.

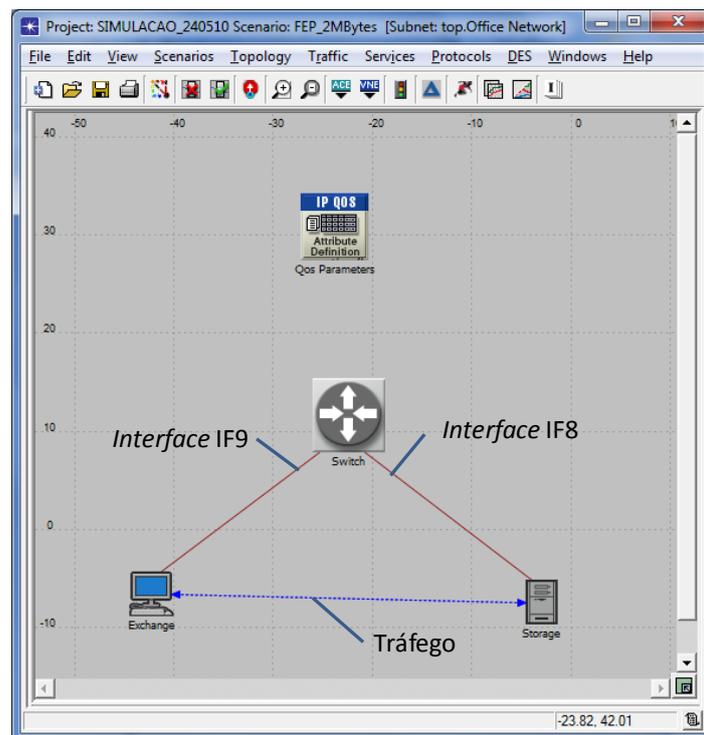


Figura 4.8 – Topologia da Simulação

A comparação será efetuada pela avaliação estatística dos seguintes parâmetros na interface IP IF9 do switch em cada execução da simulação:

- *Buffer Usage* (bytes): mostra a quantidade de bytes que esperaram na fila em qualquer momento durante a simulação, ou seja, a utilização do *buffer*.
- *Queuing Delay* (segundos): mostra quanto tempo o pacote ficou aguardando na fila antes de ser encaminhado.
- *Traffic Dropped* (bits/segundos): quantidade de tráfego em bits por segundo que foi descartada durante a simulação.
- *Background Traffic Delay* (segundos): mede o atraso fim-a-fim do fluxo de tráfego entre a origem e o destino.

As estatísticas acima são obtidas na ferramenta OPNET configurando-se a qualidade de serviço (QoS) na simulação. Para isso, é inserido o elemento *QoS Parameters* e selecionado o mecanismos de QoS desejado. Em todos os cenários simulados foi utilizado o mecanismo FIFO (*First In First Out*) por ser o mais simples e padrão da ferramenta.

No mecanismo de QoS FIFO, todos os pacotes são tratados igualmente e colocados numa única fila. A ordem na qual os pacotes chegam à fila é a mesma em que são retirados, ou seja, o primeiro pacote que chega é o primeiro a ser enviado para a interface do equipamento. Embora simples esse mecanismo atende, uma vez que o objetivo aqui não é comparar a eficiência entre mecanismos de QoS diferentes, e sim o impacto no tráfego, quando a banda de rede é limitada pelos valores calculados nos métodos abordados nesse trabalho. Para isso o mecanismo de QoS FIFO é aplicado em todos os cenários de simulação realizados, alterando somente a banda de rede com os valores obtidos em cada um dos métodos apresentados nesse trabalho.

Entre os elementos *Exchange* e *Storage* foi estabelecido um tráfego importado para a ferramenta a partir do tráfego real coletado na porta do *switch* onde esta conectado o servidor de e-mail Exchange. A Figura 4.9 mostra esse tráfego importado para a rede SAN-IP no simulador OPNET.

O detalhamento do procedimento para configuração do ambiente simulado está documentado no Anexo B do trabalho.

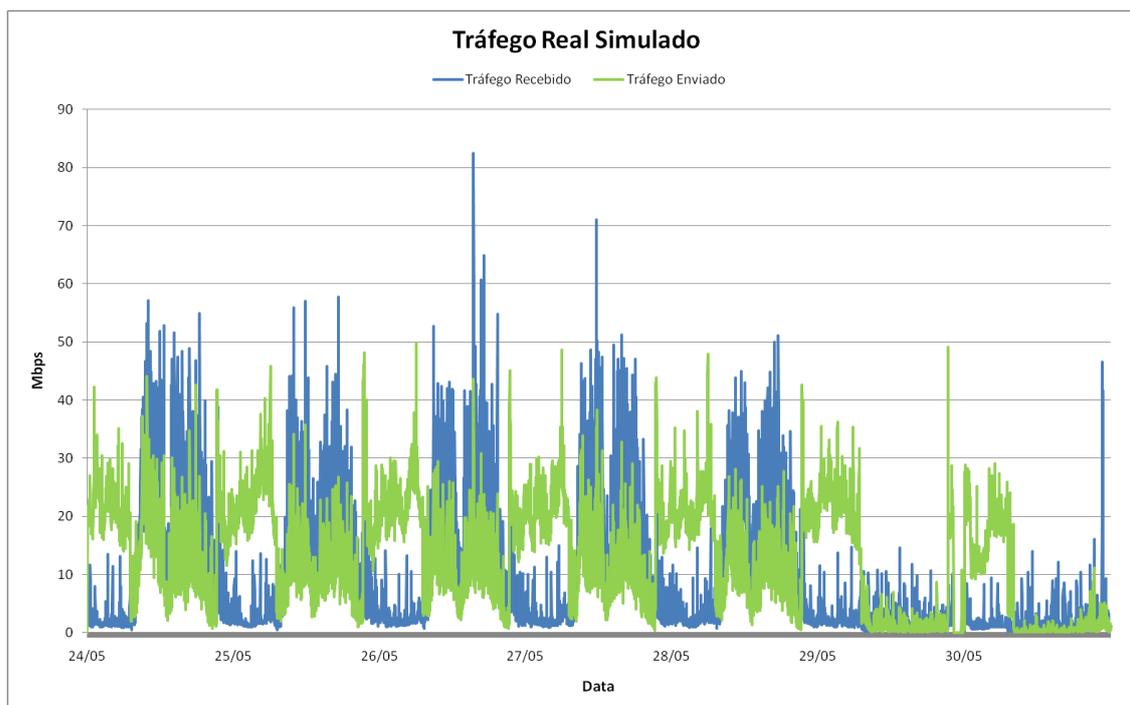


Figura 4.9 – Tráfego real simulado na ferramenta OPNET

A Tabela 4-5 relaciona as simulações executadas. A banda na interface do *switch* foi limitada pelos valores obtidos nos cálculos de banda apresentados nas seções 3.1.3 e 4.4, criando os cenários: *interface*, *média*, *naive*, *overhead* e *FEP*. Os valores de banda calculados são utilizados para configurar o parâmetro *Maximum Reserved Bandwidth* que limita o tráfego na interface do switch a utilizar no máximo o valor definido nesse parâmetro.

Tabela 4-5 – Cenários da simulação

CENÁRIOS	MÉTODO	<i>Maximum Reserved Bandwidth</i> (bps)
Interface	Banda da interface	Banda total da interface
Media	Média do tráfego	22.587.000
Naive	<i>Naive</i>	63.308.000
Overhead	<i>Overhead</i> do protocolo	35.471.000
FEP	<i>Fractal Envelope Process</i>	50.419.000

A configuração do parâmetro *Maximum Reserved Bandwidth* é feita editando-se esse atributo na interface do equipamento como mostra a Figura 4.10. A mesma janela do OPNET permite a configuração do atributo *Buffer size*. O valor de 2 MB configurado nesse

parâmetro foi obtido em consulta feita a CISCO System Inc², fabricante do *switch* utilizado no ambiente de produção de onde o tráfego foi coletado.

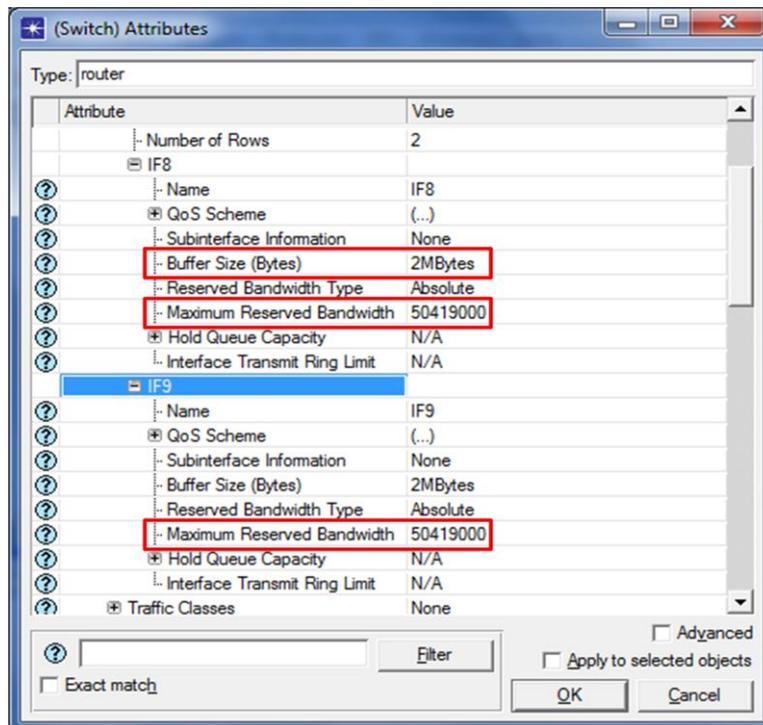


Figura 4.10 – Configuração de atributos no OPNET

Nas próximas seções, serão apresentados os resultados obtidos nas simulações executadas.

4.5.1 Cenário Banda da Interface

O primeiro cenário foi configurado mantendo-se a capacidade total da interface do *switch* disponível para o tráfego, situação comum em redes SAN IP onde tem-se um *switch* dedicado para a rede de armazenamento.

O cenário interface será utilizado como referência para comparação com os demais. Esta premissa foi adotada na análise considerando-se que, do ponto de vista de infraestrutura de rede disponível, a oferta da banda total da interface física do *switch* seria o máximo possível para garantir o nível de serviço da rede.

² www.cisco.com

Na Figura 4.11, o gráfico mostra a utilização média do *buffer* durante o período da simulação. Como pode ser verificado, a utilização do *buffer* é de 240 bytes, muito pequena considerando-se que a capacidade de *buffer* configurado no *switch* é 2 MB. A baixa utilização é justificada pela alta capacidade da interface do servidor e da porta do *switch*, ambos com 1 Gbps, velocidade essa, muito superior à necessidade do tráfego real simulado, que como pode ser verificado na Figura 4.9, não ultrapassa os 90 Mbps.

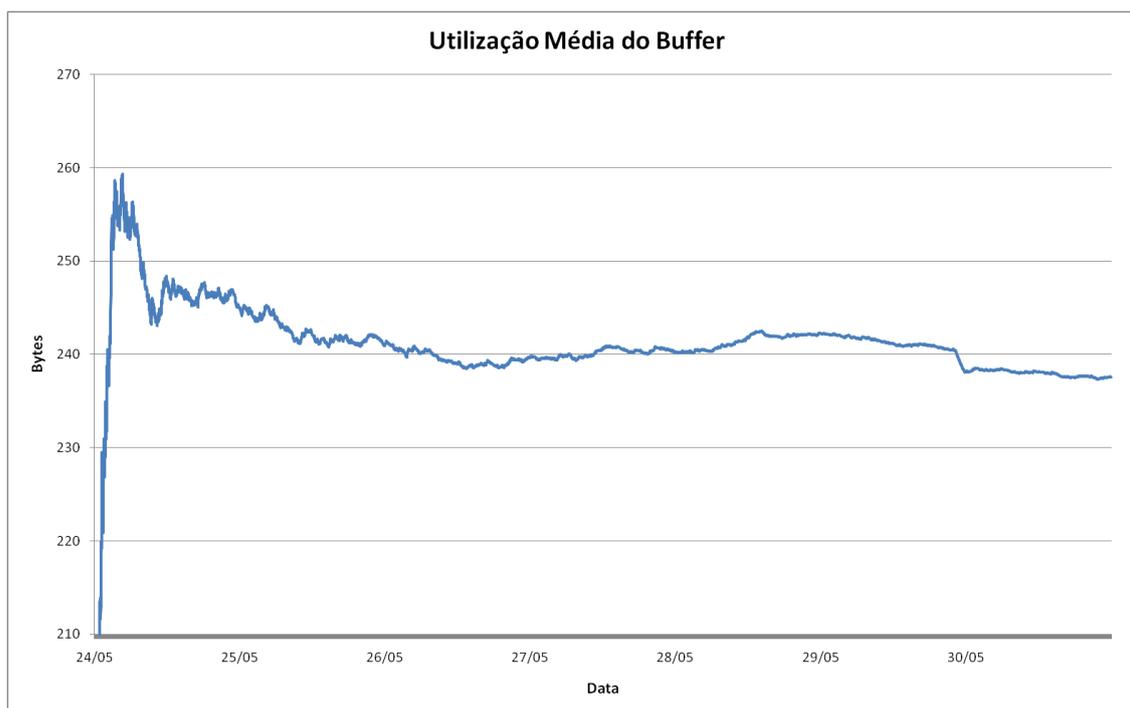


Figura 4.11 – Cenário interface: utilização média do *Buffer*

O pico inicial presente no gráfico da Figura 4.11 ocorre devido à sensibilidade das médias para o número relativamente pequeno de amostras na fase inicial da simulação. Ele tende a estabilizar no decorrer da simulação. Esse comportamento está documentado no manual do produto OPNET.

A utilização média na faixa de 240 bytes é comprovada quando se traça no mesmo gráfico a utilização total e média do *buffer* como mostra a Figura 4.12. A ocupação do *buffer* é constante e não apresentando grandes rajadas de tráfego, o que gera a linha em 240 bytes quando traçado o gráfico pela média.

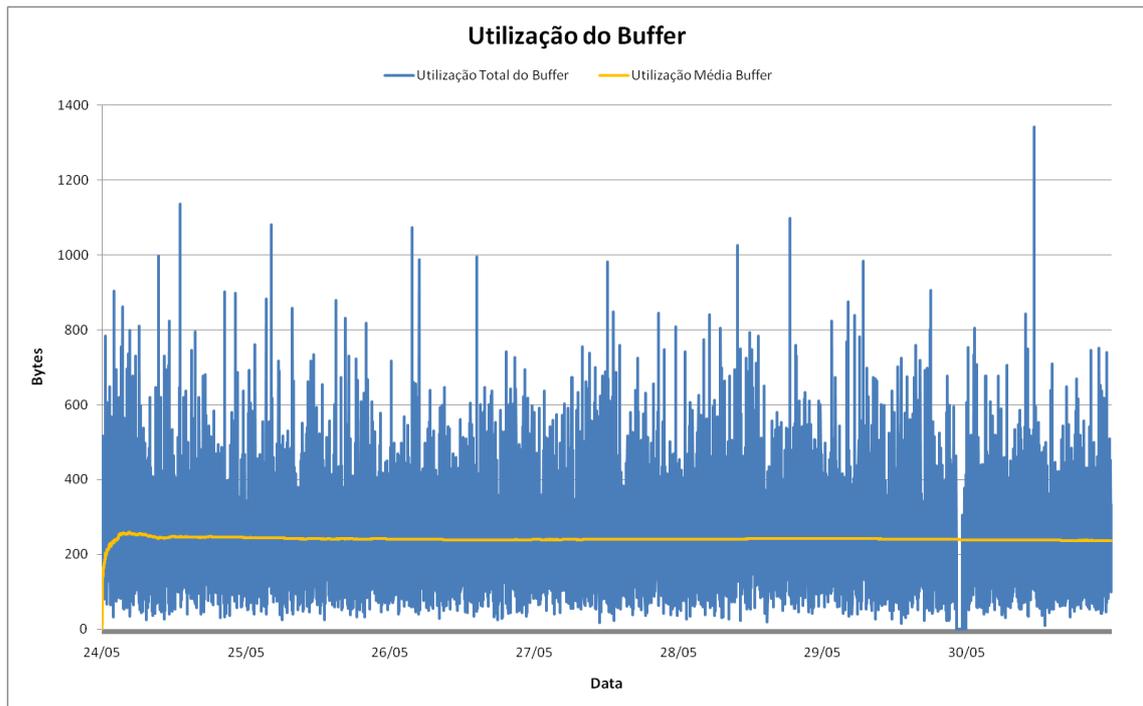


Figura 4.12 – Cenário Interface: Utilização total e média do buffer

A baixa utilização do *buffer* se confirma quando se observa que o tempo médio de espera do pacote na fila esta na faixa de $0,030 \mu\text{s}$, como mostra a Figura 4.13. Isso indica que o pacote é rapidamente enviado para a interface do switch.

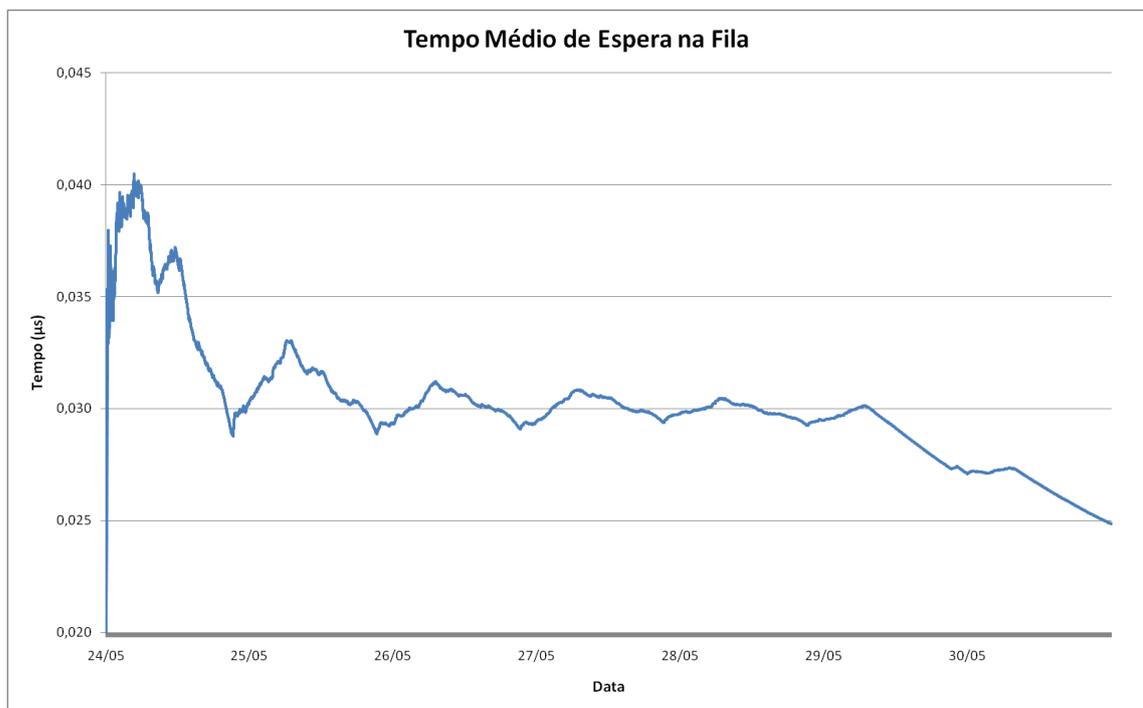


Figura 4.13 – Cenário interface: tempo médio de espera na fila.

A baixa utilização do *buffer* e o pouco tempo de espera do pacote no *buffer* são indicativos da ausência de congestionamento na rede, conseqüentemente não ocorre o descarte de pacotes como confirma o gráfico da Figura 4.14.

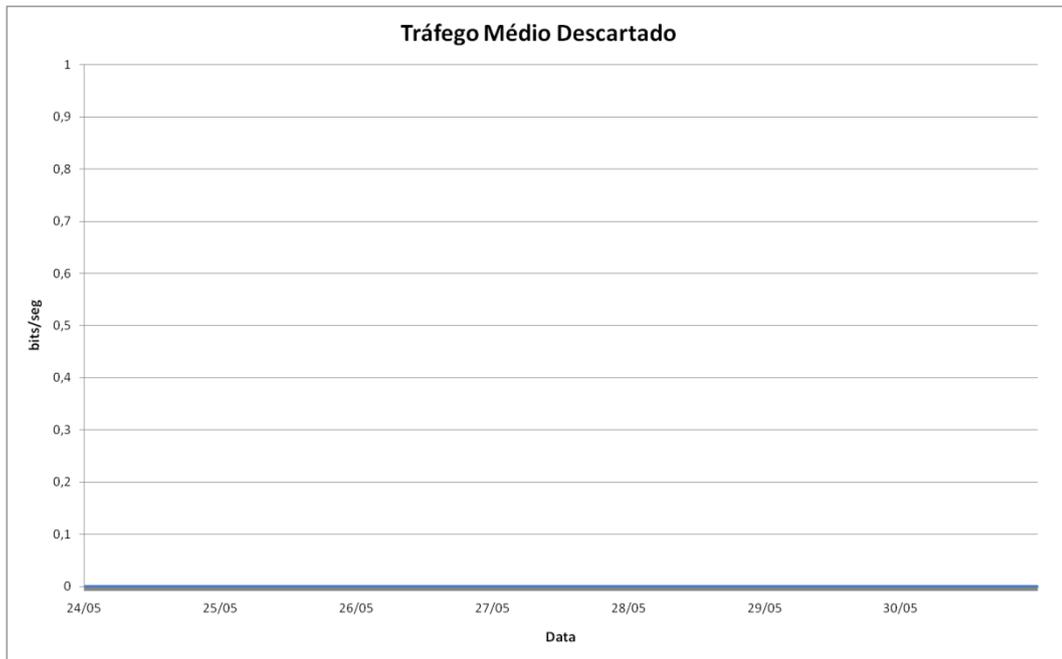


Figura 4.14 – Cenário interface: tráfego médio descartado.

Neste cenário o tempo médio que o pacote leva para transportar a informação entre o servidor de Exchange e o *storage* é de aproximadamente 12,40 μ s. A Figura 4.15 mostra o gráfico do atraso médio durante a simulação.

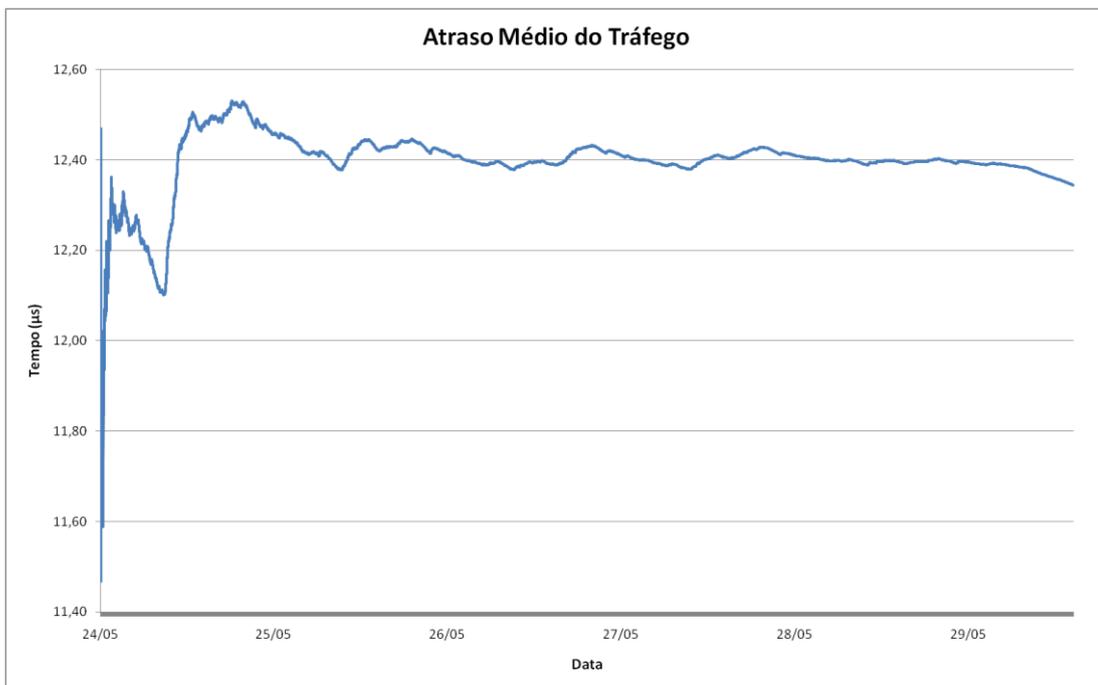


Figura 4.15 – Cenário interface: atraso médio do tráfego.

4.5.2 Cenário Banda Média

Neste cenário, o atributo *maximum reserved bandwidth* foi configurado em 22.587 kbps. A Figura 4.16 mostra o gráfico resultante dessa configuração, em que a ocupação média do *buffer* passa dos 250 bytes registrados no cenário interface, para 15 kB nesse cenário.

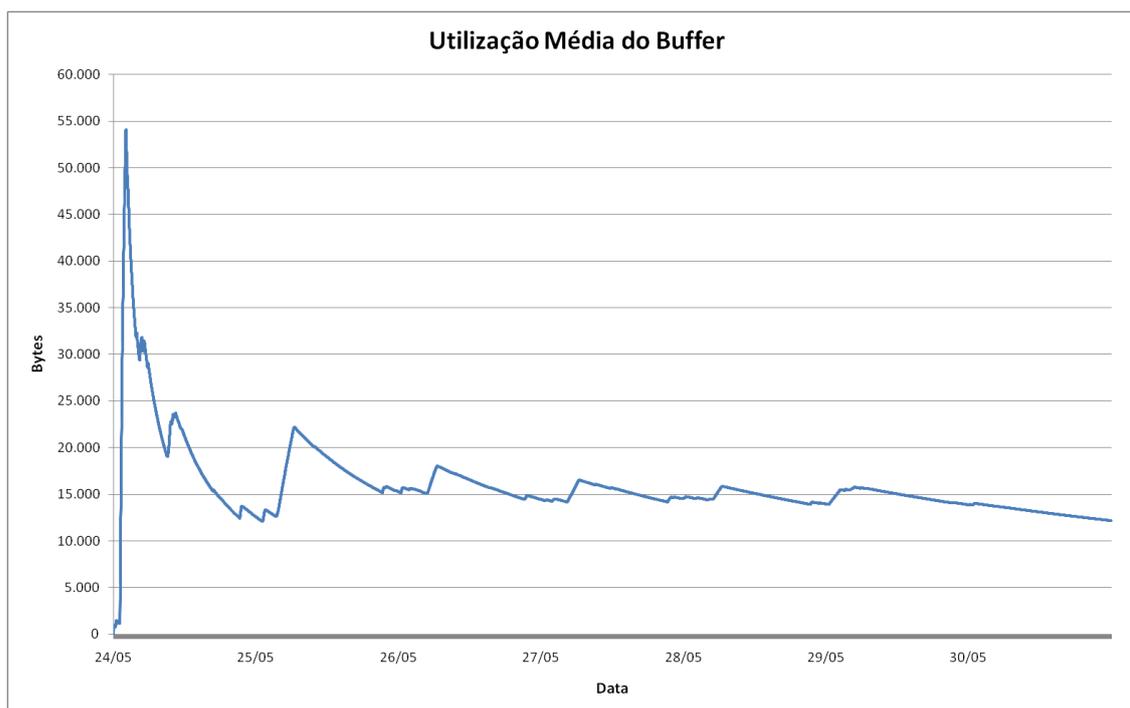


Figura 4.16 – Cenário Média: utilização média do *Buffer*

O pico inicial no gráfico, como já explicado anteriormente, é devido à sensibilidade da média a pequena quantidade de amostras analisadas no início da simulação. A presença dos picos é justificada pela ocorrência das rajadas na ocupação do *buffer* como mostra a Figura 4.17.

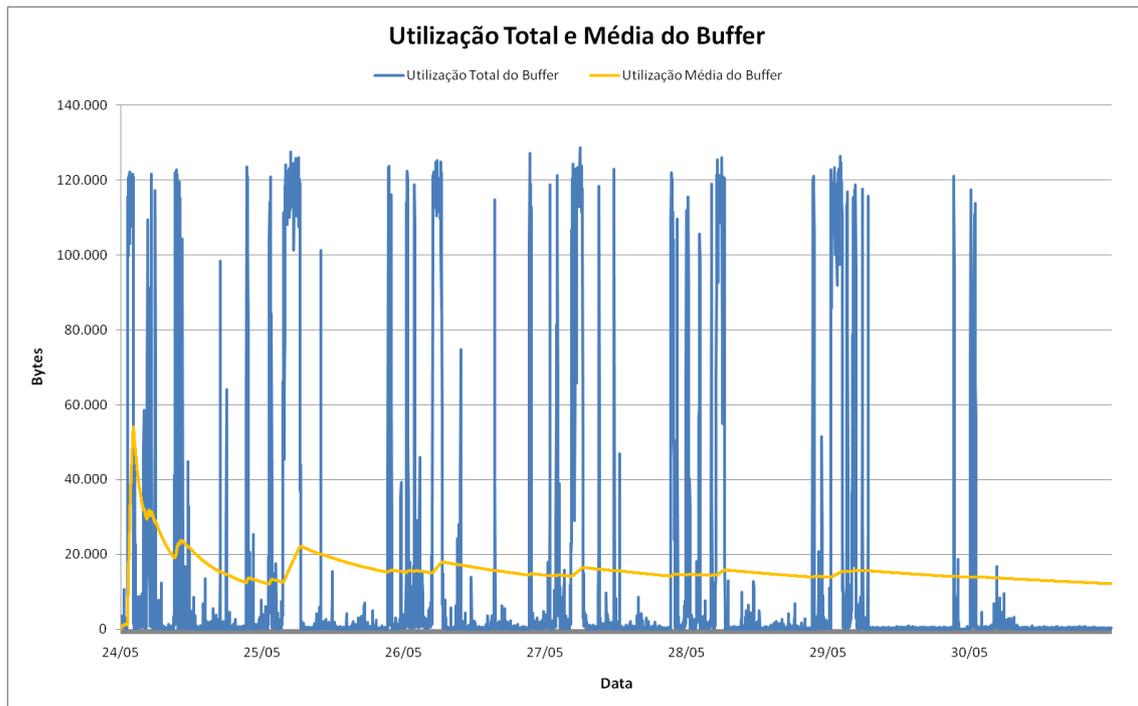


Figura 4.17 – Cenário Média: utilização total e média do buffer.

A consequência do aumento na ocupação do *buffer* é o maior tempo de espera do pacote para ser encaminhado, cerca de 5 ms, como mostra a Figura 4.18. Esse tempo é 166.666 vezes superior aos 0,030 μ s registrados no cenário interface.

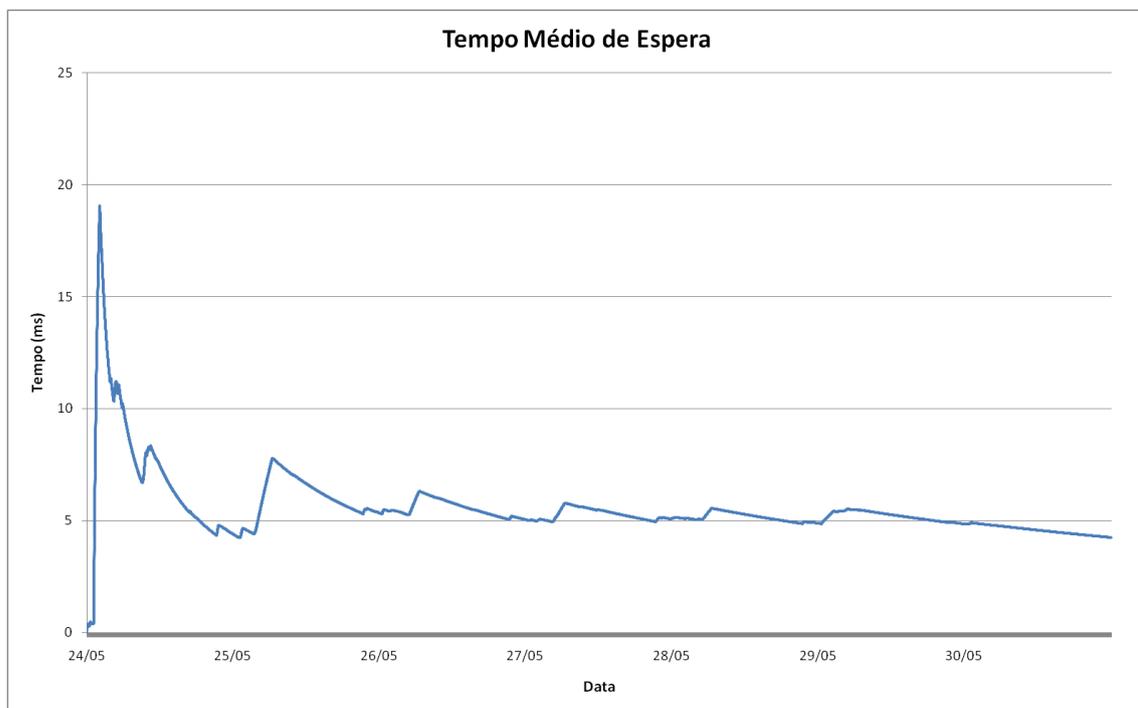


Figura 4.18 – Cenário Média: tempo médio de espera na fila.

A Figura 4.19 mostra um aumento na quantidade de pacotes descartados, que passa de zero, registrado no cenário interface, para 2 Mbps no cenário média. Esse resultado deve gerar impacto considerável no tempo de resposta da aplicação devido à necessidade de retransmissão dos pacotes descartados.

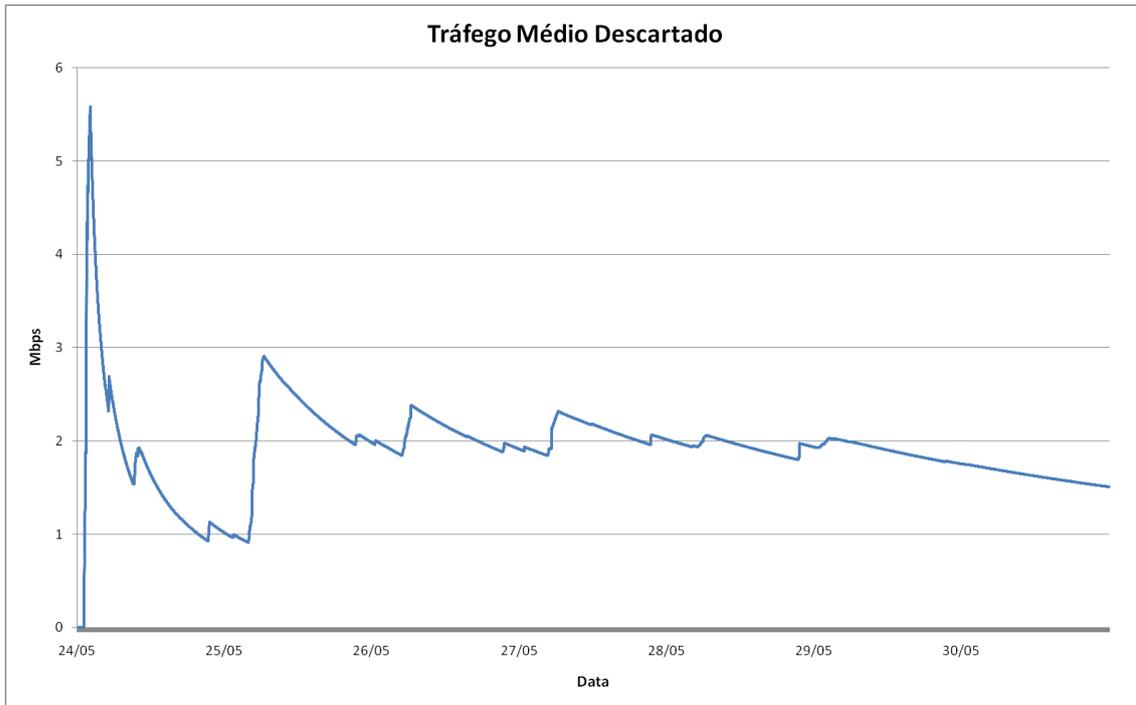


Figura 4.19 – Cenário Média: tráfego médio descartado.

O aumento do atraso se confirma quando avaliado o gráfico da Figura 4.20, que mostra o valor médio de 5,5 ms, o que representa uma aumento de 458 vezes no atraso do tráfego quando comparado com os 12 μ s registrados no cenário interface.

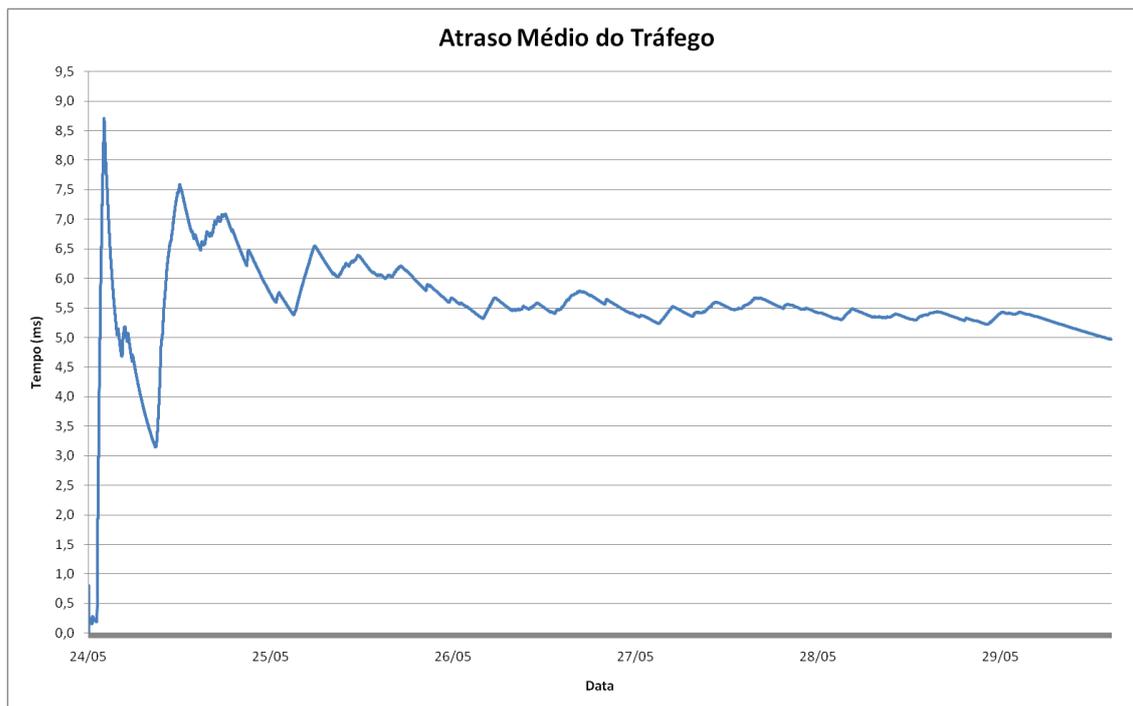


Figura 4.20 – Cenário Média: atraso médio do tráfego.

4.5.3 Cenário Banda *Overhead*

Neste cenário a banda na interface do *switch* foi limitada pelo valor obtido no método que considera o *overhead* do protocolo iSCSI. Este valor é identificado como *overhead* na Tabela 4-5 com valor de banda em 35.417 kbps.

O gráfico da ocupação média do *buffer* na Figura 4.21 apresenta uma taxa de ocupação na faixa de 1.000 bytes que, quando comparado com os valores do cenário interface com ocupação de 240 bytes indica uma aumento de 4,2 vezes. Embora superior é melhor do que o valor de 15 KB obtido no cenários média.

Esse comportamento já é um indicativo de que o método que considera o *overhead* do protocolo resulta em um valor de banda mais próxima do exigido para este tráfego.

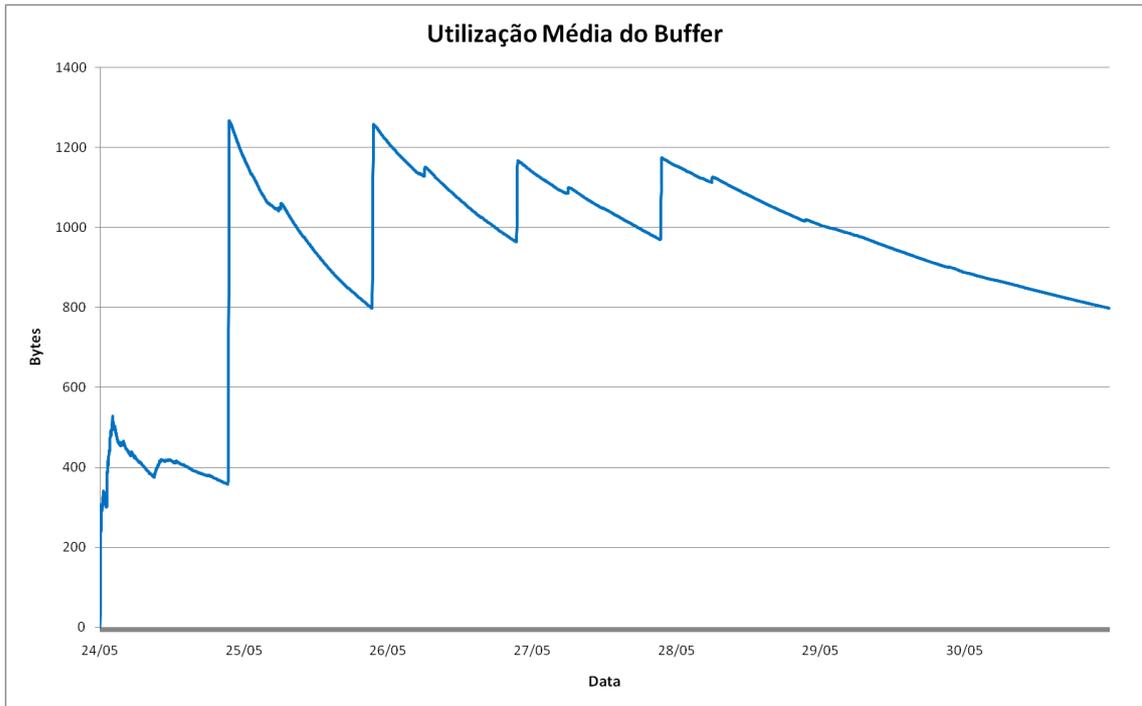


Figura 4.21 – Cenário *Overhead*: utilização média do buffer.

O valor inicial em 400 bytes na Figura 4.21 deve ser ignorado como já explicado anteriormente. O formato de dente de serra é justificado quando se traça a ocupação média do *buffer* com a ocupação total, e se verifica a ocorrência de picos no tráfego total que coincidem com os dentes apresentados no traço da média como se vê na Figura 4.22.

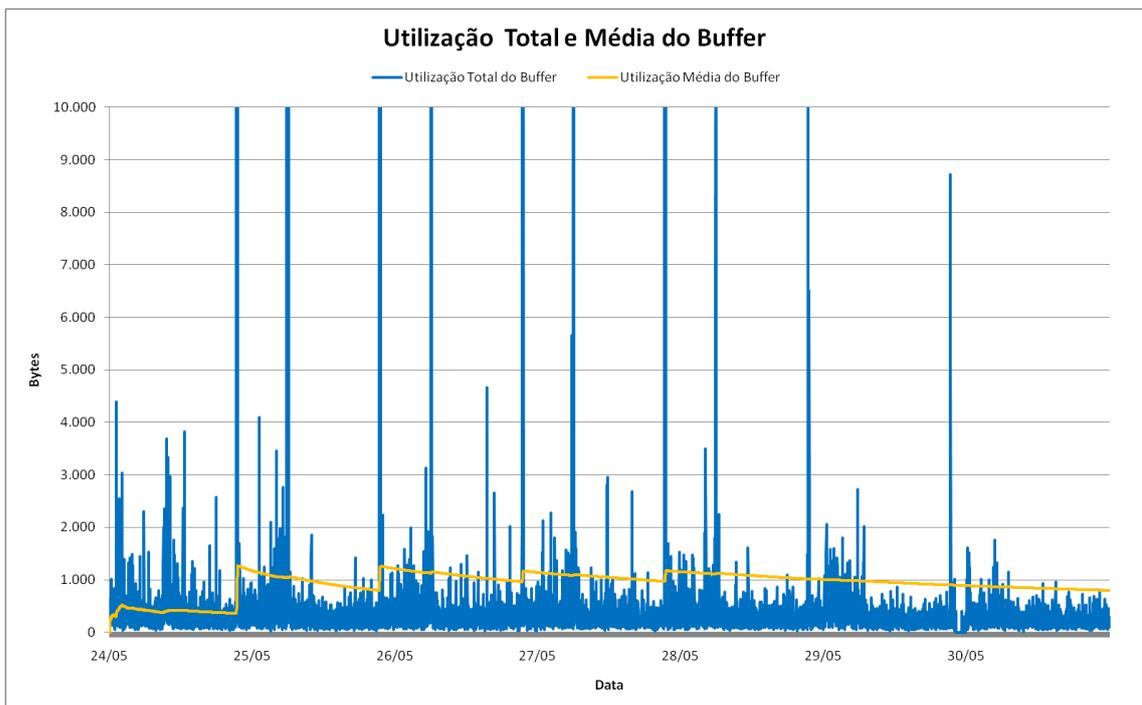


Figura 4.22 - Cenário *Overhead*: utilização total e média do buffer.

O tempo de espera do pacote no *buffer* obtido é de 0,2 ms, valor 25 vezes menor que o obtido no cenário média. Este resultado indica que esse método deve ser mais eficiente para o dimensionamento da banda, que o método média, apresentado na seção anterior. A Figura 4.23 mostra o gráfico da ocupação média do *buffer* obtido no cenário *overhead*.

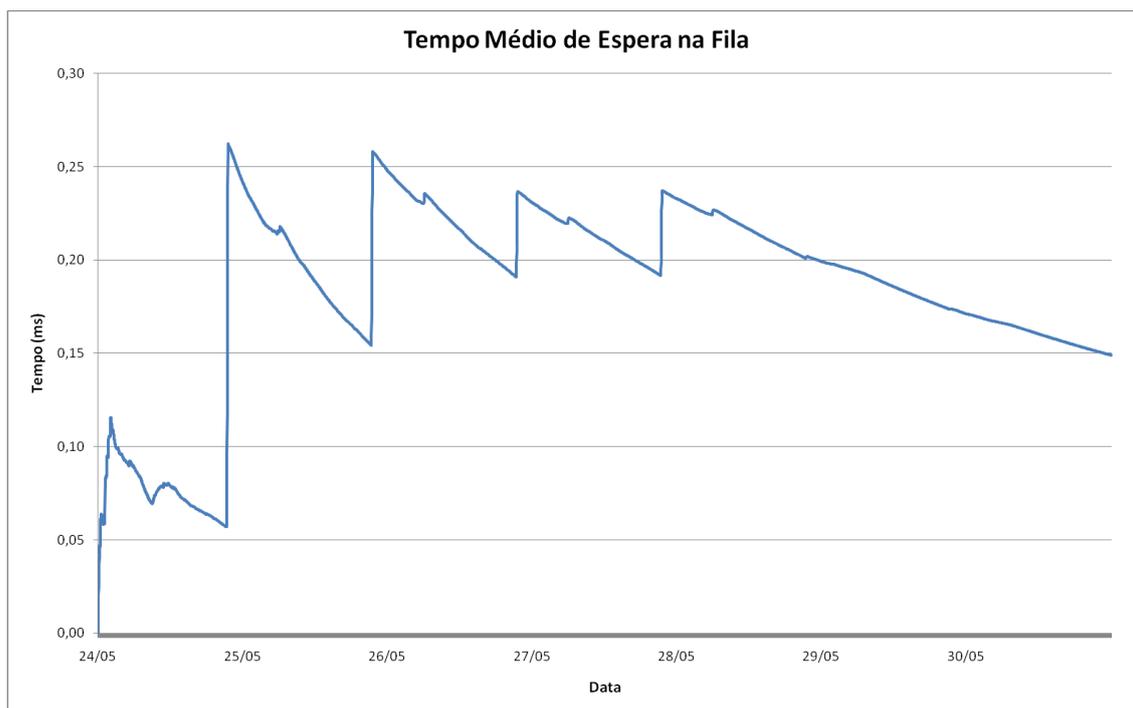


Figura 4.23 – Cenário *Overhead*: tempo médio de espera na fila.

Entretanto, analisando a Figura 4.24, embora continue a ocorrer o descarte de pacotes, o volume é menor que o ocorrido no cenário média. Considerando-se o descarte em aproximadamente 70 kbps, isso implica em uma redução de 78 vezes em relação ao cenário média.

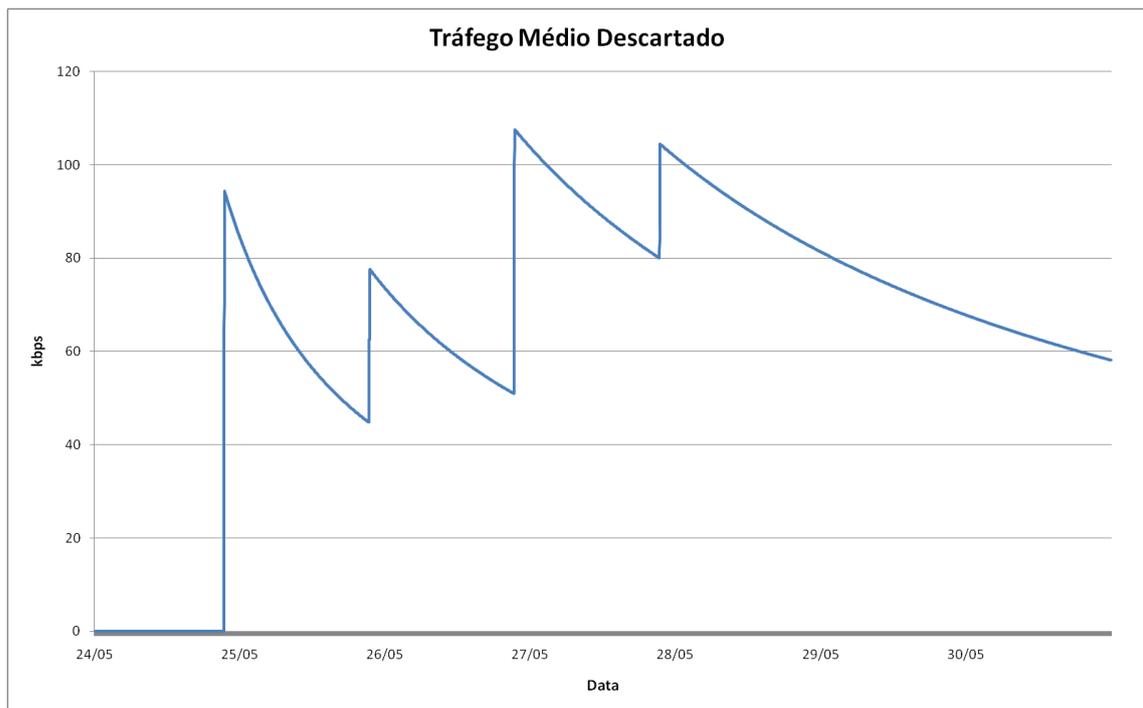


Figura 4.24 – Cenário *Overhead*: tráfego médio descartado.

A redução na ocupação do *buffer* e o descarte de tráfego impactam diretamente no atraso médio da rede, que passa para a faixa de 250 μ s, como indica a Figura 4.25.

Todos de resultados obtidos nesse cenário: ocupação média do buffer, tempo médio de espera no buffer, descarte e atraso no tráfego foram inferiores aos obtidos no cenário média e mais próximos aos obtidos no cenário interface, utilizado como referência. Isso indica que este método de calculo gera resultados que permitem um melhor dimensionamento da capacidade da rede que os obtidos pelo método da média.

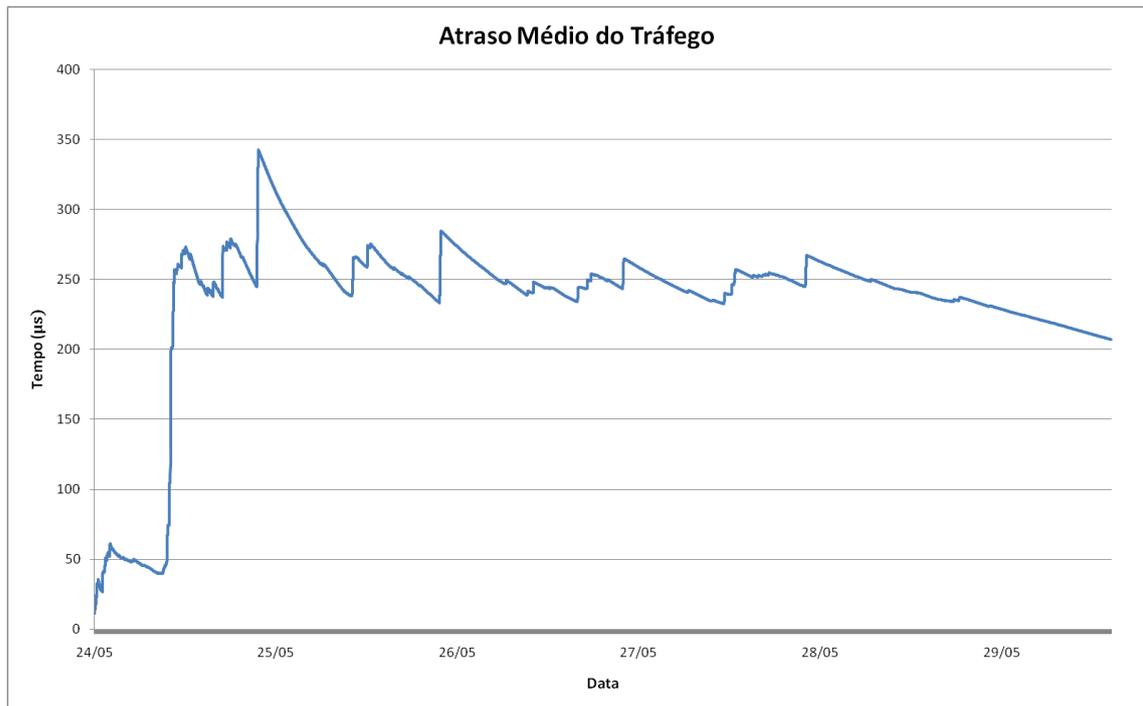


Figura 4.25 - Cenário *Overhead*: atraso médio do tráfego.

4.5.4 Cenário Banda FEP

Este é o cenário da simulação com a banda na interface do *switch* limitada em 50.419 kbps, valor calculado pelo processo *fractal envelope process* (FEP).

A utilização média do *buffer* em 265 bytes representada no gráfico da Figura 4.26 é muito próxima do valor de 240 bytes, obtido no cenário interface.

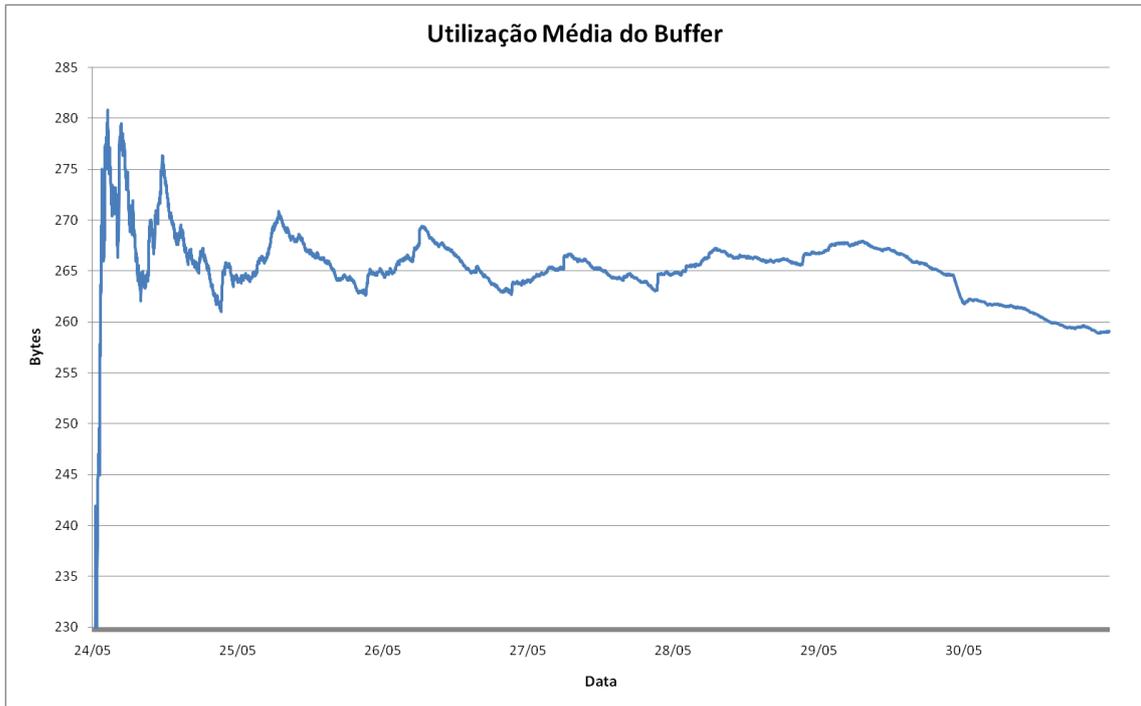


Figura 4.26 – Cenário FEP: utilização média do buffer.

A utilização média praticamente constante em 265 bytes é explicada quando se compara com o gráfico da ocupação total, representado na Figura 4.27, que também se mantém constante, com poucas rajadas durante toda a simulação.

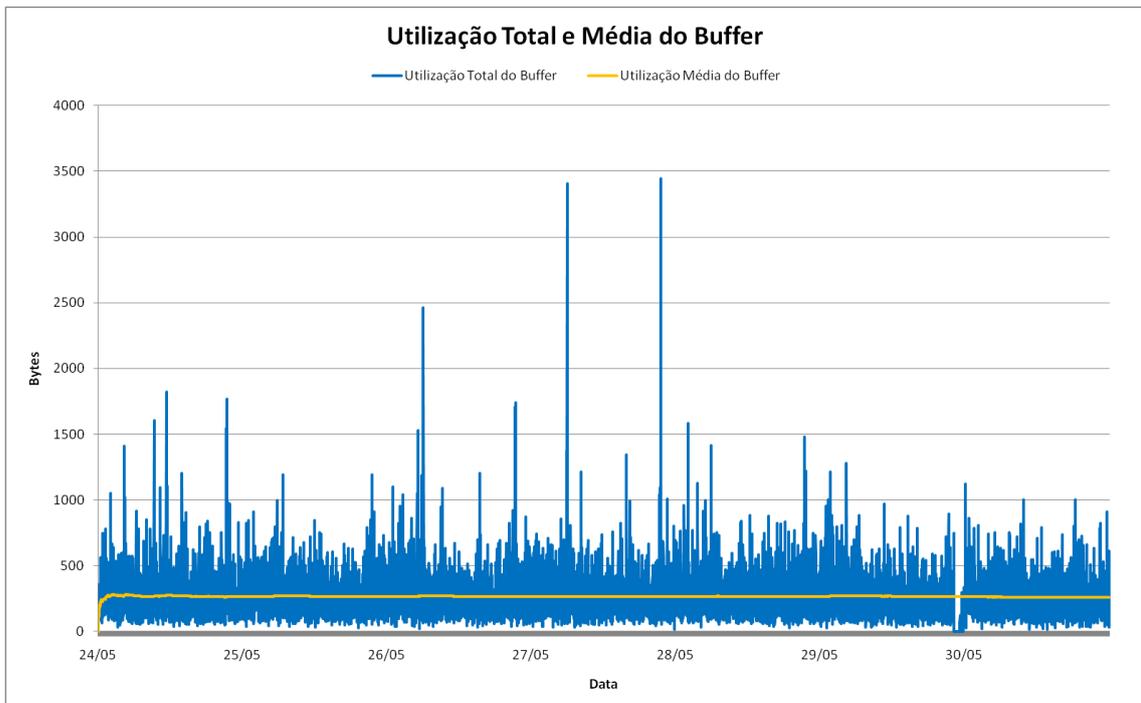


Figura 4.27 – Cenário FEP: utilização total e média do buffer.

Na Figura 4.28 o gráfico mostra o tempo médio de espera do pacote na fila é aproximadamente de 20 μ s. Este valor é 10 vezes menor que o obtido no cenário média, o que pode indicar que este método deve permitir um dimensionamento mais preciso da banda.

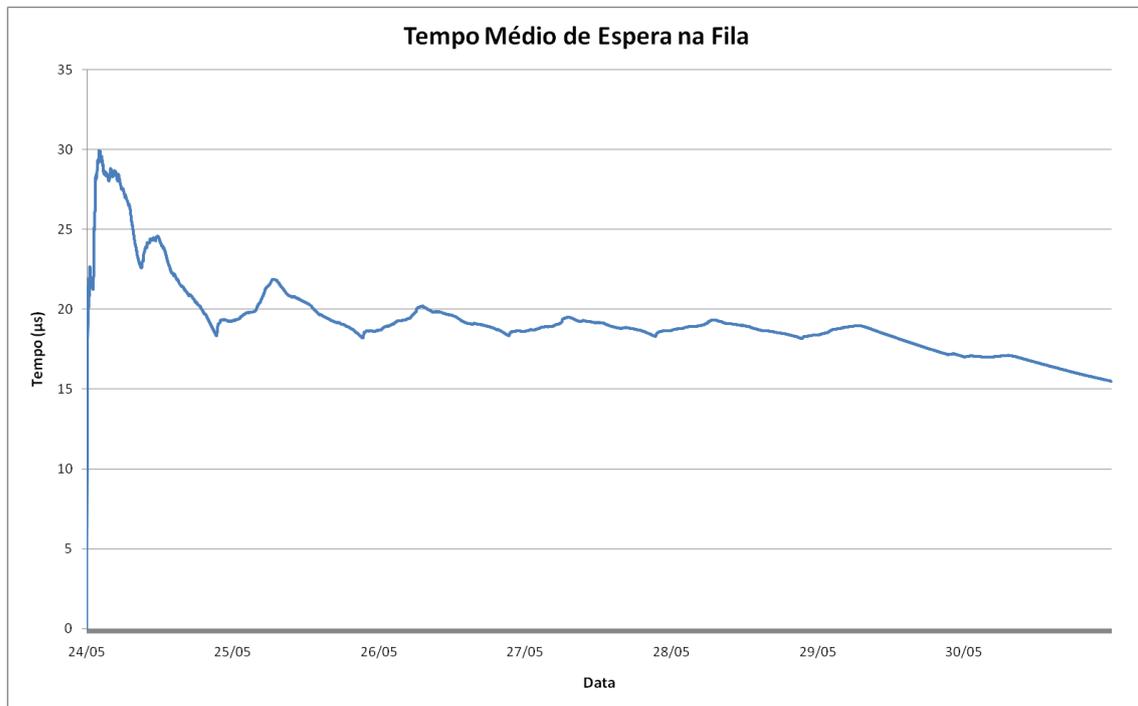


Figura 4.28 – Cenário FEP: tempo médio de espera na fila.

A suposição de que o método FEP permite o melhor dimensionamento se comprova quando se analisa o gráfico do tráfego médio descartado, mostrado na Figura 4.29, que mostra não ter ocorrido nenhum descarte de tráfego durante toda a simulação do cenário FEP.

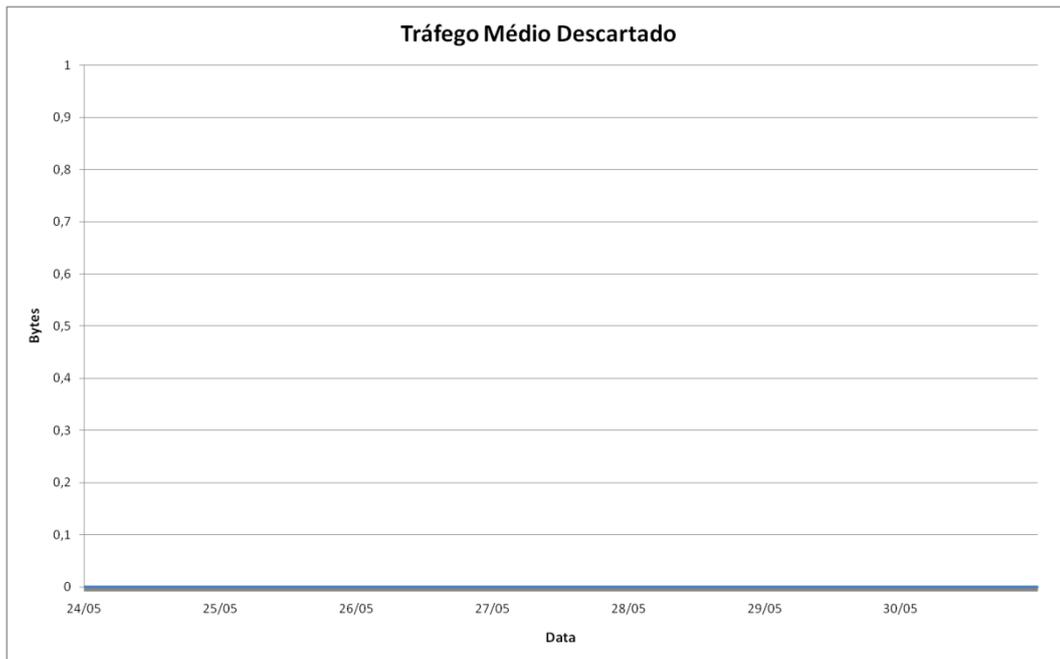


Figura 4.29 – Cenário FEP: tráfego médio descartado.

Como consequência da redução do tempo de espera no *buffer* e a ausência de descarte do tráfego, tem-se a redução do atraso médio do tráfego, que como mostra a Figura 4.30 é de 25 μs . Esse tempo é aproximadamente 2 vezes o valor obtido no cenário interface.

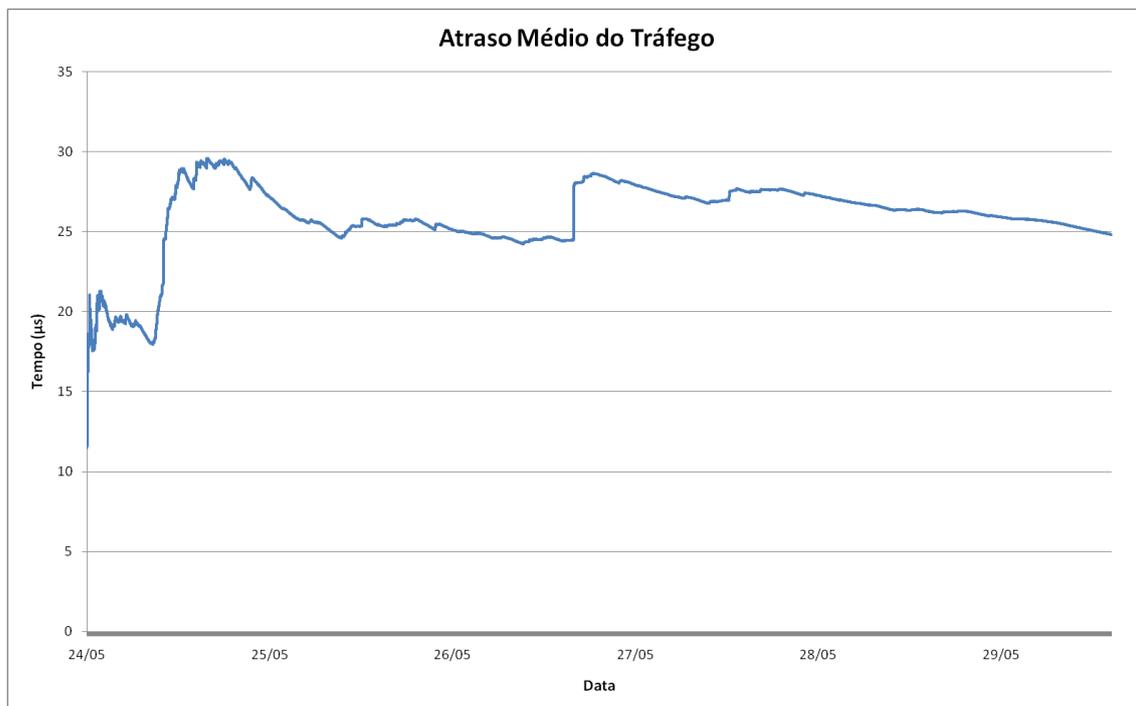


Figura 4.30 – Cenário FEP: atraso médio do tráfego.

O conjunto de resultados obtidos nesse cenário permite afirmar que uma banda de 50.419 bps permite transportar o tráfego analisado sem descarte de tráfego e com um atraso de 25 μ s. Esses valores são, até o momento, o melhores entre os métodos abordados.

4.5.5 Cenário Banda *Naive*

Restringindo a banda na rede para o valor 63.308 kbps calculado pelo método *NAIVE*, são obtidos valores muito próximos aos do cenário *interface*, como será demonstrado a seguir.

O comportamento semelhante é verificado na ocupação média do *buffer* em 250 bytes, representado na Figura 4.31, que é muito próximo dos 240 obtidos no cenário *interface*. Da mesma forma, pode-se constatar na análise da figura a semelhança com gráfico da utilização média do *buffer* obtido no cenário *interface*.

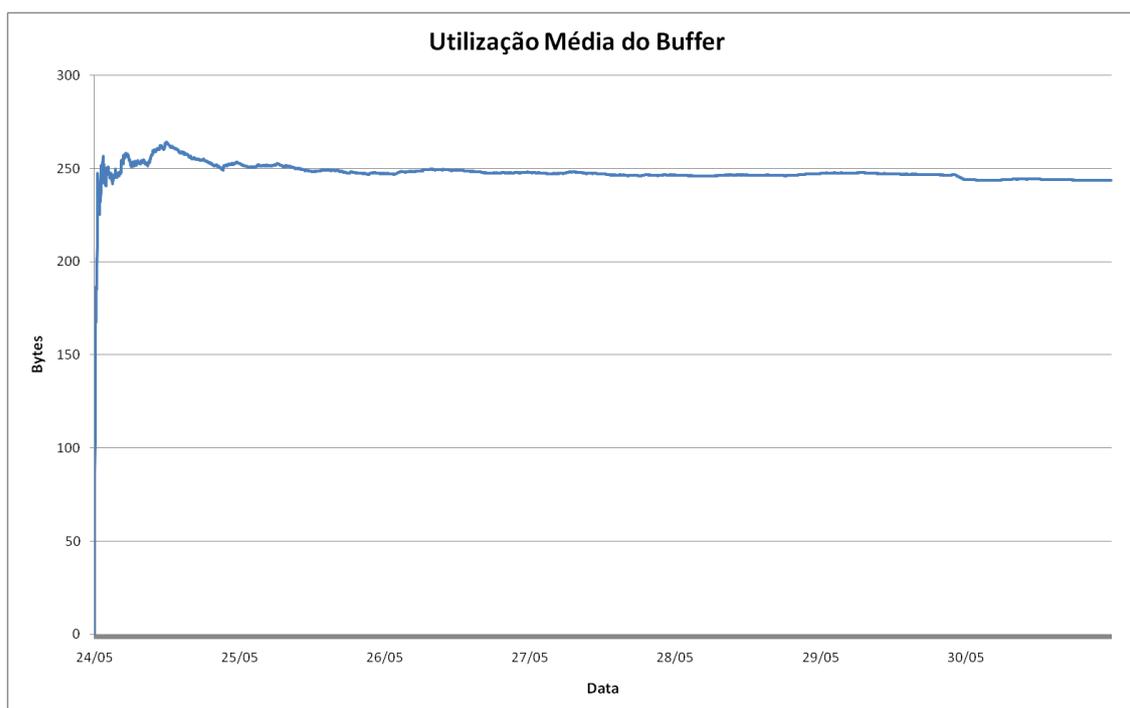


Figura 4.31 – Cenário *Naive*: utilização média do *buffer*.

O mesmo ocorre quando é analisado o tempo médio de espera do pacote no *buffer*, Figura 4.32. O tempo de espera registrado é de 11 μ s, o mais próximo do valor de 0,030 μ s obtido no cenário *interface* e com o comportamento médio praticamente idêntico.

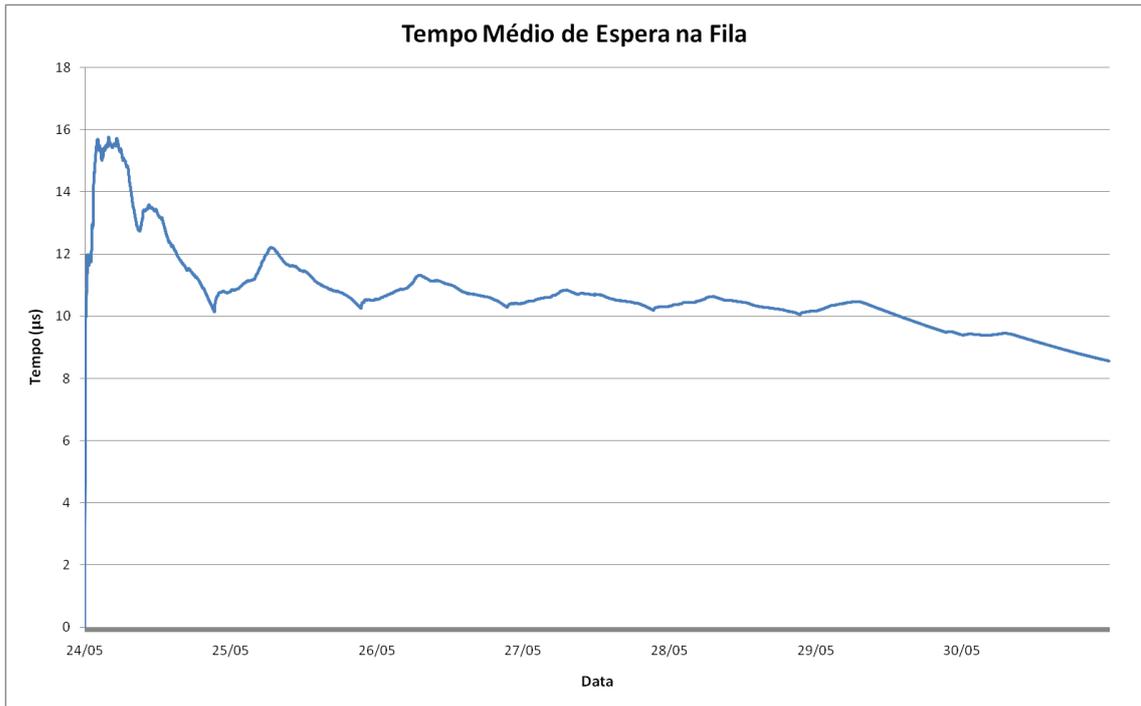


Figura 4.32 – Cenário *Naive*: tempo médio de espera na fila.

A Figura 4.33 é mostra que não é registrado descarte de tráfego durante toda a execução da simulação, da mesma forma como ocorreu no cenário interface.

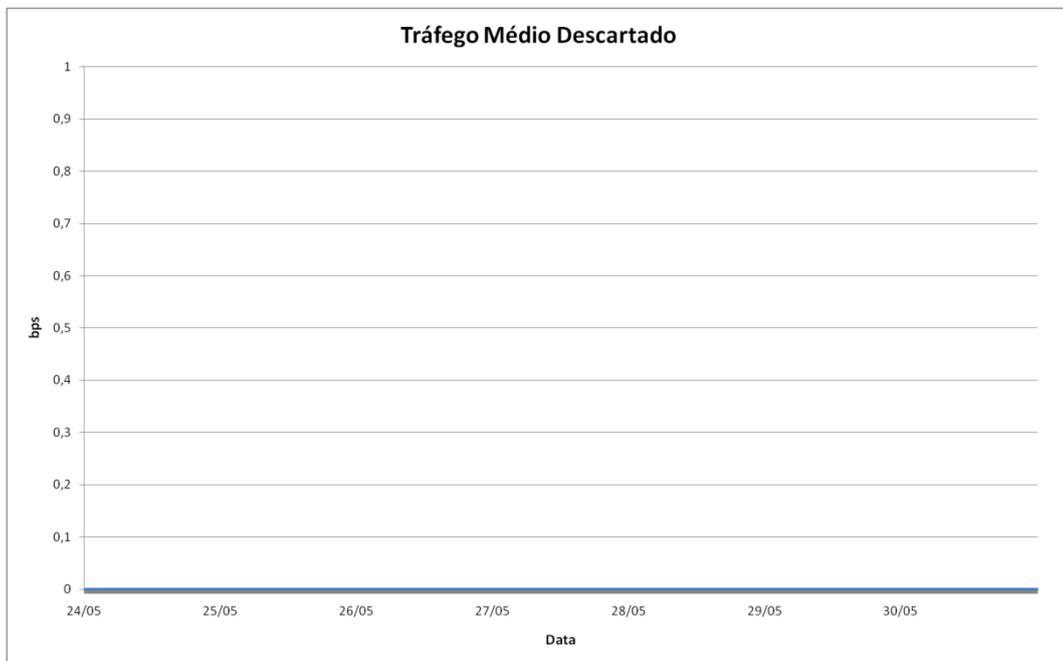


Figura 4.33 – Cenário *Naive*: tráfego médio descartado.

O atraso médio registrado é de 17 μ s, novamente o mais próximo dos 12,4 μ s obtidos no cenários interface. A Figura 4.34 mostra esse valor e o traço muito semelhante ao cenário interface.

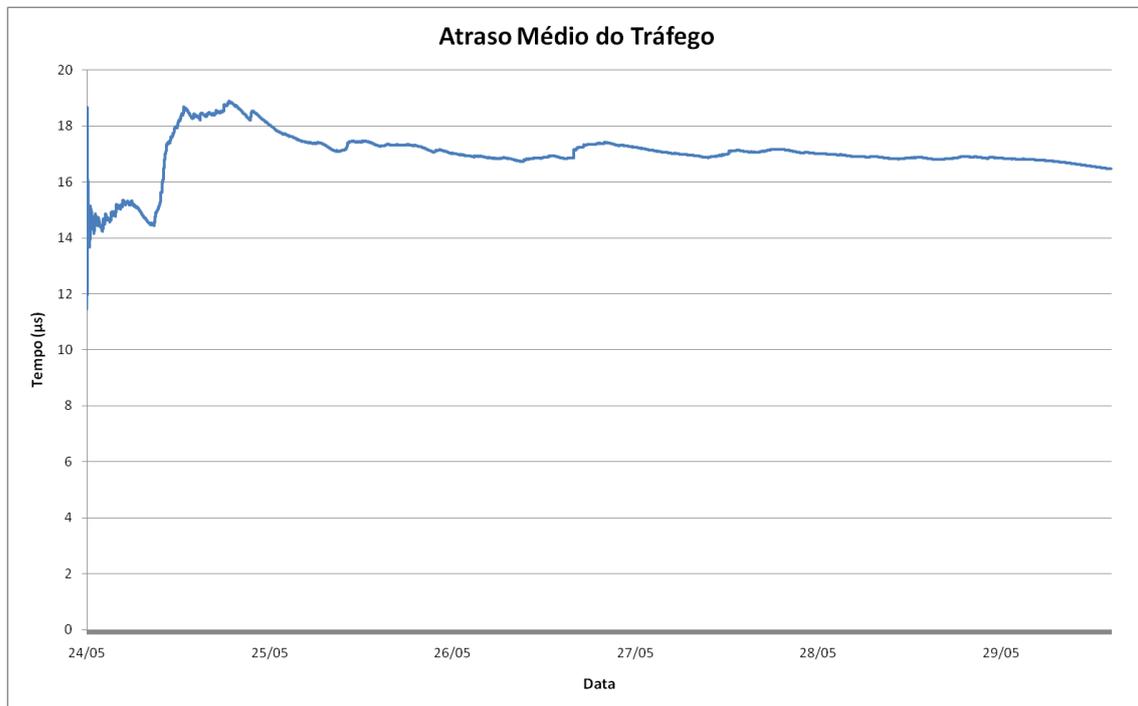


Figura 4.34 – Cenário *Naive*: atraso médio do tráfego.

Este comportamento permite concluir que esse apresenta os resultados mais próximos ao cenário interface, definido como a referencia para essa análise. Entretanto, assim com o cenários interface oferece banda muito superior a requisitada pelo tráfego em análise, o método *naive* também tende a superestimar a necessidade de banda do tráfego. Resultado esperado tendo em vista a simplicidade do método utilizado, uma vez que considera somente o tamanho médio de bloco de acesso ao sistema de armazenamento e a quantidade de requisições de entrada e saída por segundo (IOPS).

4.6 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO

A caracterização do tráfego real aplicando-se os métodos apresentados no capítulo 3, comprovam a presença de características autossimilares na rede SAN IP utilizando protocolo iSCSI. Essas características são confirmadas pela análise gráfica e pela estimativa de parâmetro de Hurst, que se manteve dentro dos valores ($1/2 < H < 1$) esperados para tráfego autossimilar.

A próxima etapa, com objetivo de dimensionar a rede SAN-IP, foi calculado a banda de rede consumida pelo tráfego. Para esse cálculos foram utilizados o métodos *naive* de uso comum em rede SAN-FC, *overhead* que considera o overhead do protocolo iSCSI e FEP (*Fractal Envelope Process*), que considera as características autossimilares do tráfego.

Os valores de banda obtidos foram configurados em uma simulação do ambiente real na ferramenta OPNET, gerando os cenários onde foram monitorados os parâmetros apresentados na Tabela 4-6.

Tabela 4-6 – Resumo dos Resultados Obtidos

CENÁRIO	INTERFACE	MÉDIA	OVERHEAD	FEP	NAIVE
Utilização Buffer	240 Bytes	15 kbytes	1 kbytes	265 Bytes	240 Bytes
Tempo Espera fila	0,030 μ s	5 ms	0,2 ms	20 μ s	11 μ s
Descarte	0	2 Mbps	70 kbps	0	0
Atraso	12,4 μ s	5,5 ms	250 μ s	25 μ s	17 μ s
Banda	1 Gbps	22,6 Mbps	35,5 Mbps	50,4 Mbps	63,4 Mbps

Tomando como referência o cenário interface, a análise dos resultados obtidos permite as seguintes conclusões:

No cenário interface, em que é oferecida a banda de 1 Gbps para o tráfego, verifica-se uma baixíssima utilização do *buffer*, em média 240 bytes, com um tempo de espera na fila também muito baixo (0,030 μ s), sem descarte de tráfego. Esses valores permitem concluir que a banda oferecida esta superdimensionada para que o tráfego gerado.

Quando a banda é limitada pelo valor médio, a utilização do *buffer*, o tempo de espera e o descarte aumentam consideravelmente. Esse resultado é esperado, uma vez que para tráfego com características autossimilares, a média não é uma medida indicada, pois não captura o efeito das rajadas presentes nesse tipo de tráfego.

No cenário *overhead*, que considera o *overhead* do protocolo iSCSI, os valores obtidos já são melhores, a utilização do *buffer* é 1 Kbytes com tempo de espera em 0,2 ms e com 70 kbps de descarte de tráfego. A banda obtida pelo método que considera o *overhead* do protocolo iSCSI é mais precisa que a obtida pelo método que utiliza a média do tráfego pois, em todos os parâmetros utilizados para avaliação apresentaram valores menores que os gerados no cenário média.

Os resultados obtidos pelo método FEP, que aproveita as propriedades autossimilares do tráfego para estimar a banda de rede, permite obter valores mais precisos da banda. Essa conclusão se comprova com uma utilização de buffer em 265 bytes, muito próxima dos valores obtidos no cenário interface, utilizado como referência. O mesmo se verifica para o tempo de espera na fila em 20 μ s e o descarte de tráfego nulo, assim como o atraso de 25 μ s contra 12,4 μ s no cenário interface.

Verifica-se no cenário *naive* que os valores são muito semelhantes ao cenário interface, indicando um superdimensionamento da banda, resultado também dentro do esperado considerando a simplicidade do método, que pode ser utilizado para uma estimativa inicial da capacidade de banda.

Com base no exposto acima, conclui-se que o método FEP apresenta os melhores resultados para o dimensionamento da banda necessária para uma rede SAN-IP utilizando o protocolo iSCSI.

5 CONCLUSÕES

Os cálculos e avaliações realizados no desenvolvimento desse trabalho, permitem concluir que o tráfego gerado pelo serviço de correio eletrônico MS Exchange, no acesso ao disco onde estão armazenadas as caixas postais dos usuários, utilizando redes de armazenamento com o protocolo iSCSI (SAN-IP iSCSI), apresentam comportamento autossimilar.

Essa conclusão permite que utilizem os modelos matemáticos desenvolvidos para a geração de tráfego autossimilar, disponível em ferramentas como o GTAR, no planejamento e projeto de redes SAN-IP para atender ambientes corporativos com o MS Exchange. Um recurso que pode ser muito útil quando consideramos que o MS Exchange esta presente em 65% das empresas, segundo pesquisa publicada pelo *Ferris Research*³.

Foram apresentados alguns métodos para estimativa da banda de rede. O método *naive* ou ingênuo, o método *overhead*, o cálculo pela média do tráfego e, com a caracterização do tráfego como autossimilar foi possível também estimar a banda pelo processo *fractal envelop process* (FEP). Os valores obtidos foram aplicados em ambiente simulado na ferramenta OPNET para comparar qual dos valores melhor atende o tráfego na rede SAN-IP, avaliando-se os requisitos utilização média do buffer, tempo de espera na fila, descarte de pacotes e atraso na rede.

O resultado dessa comparação, efetuada em ambiente simulado, mostrou que o método FEP apresenta melhores resultados, conseguindo definir a banda que atende o tráfego da rede com os melhores valores nos parâmetros observados na simulação.

Como trabalhos futuros cabe a avaliação do tráfego iSCSI em aplicações como servidores de arquivos e acesso a banco de dados e mesmo servidores de *e-mail* Exchange com diferentes cargas.

Outro estudo proposto é verificar se o tráfego gerado por ferramentas comuns utilizados no dimensionamento de sistemas de armazenamento, como por exemplo,

³ www.ferris.com

IOMETER⁴ e ORION⁵, ambos citados em diversos trabalhos, possuem propriedade autossimilar.

Finalmente, esta em fase final de especificação o protocolo *Fibre Channel over Ethernet* (FCoE) que utiliza as novas *interfaces* de rede *Converged Network Adapter* (CNA) de 10 Gbps, onde na mesmo *interface* é possível o uso do *fibre channel* e *ethernet*. O FCoE exigiu o desenvolvimento de novos protocolos no ethernet que foram recentemente especificados pelo INCITS (*International Committee for Information Technology Standards*) no grupo de trabalho T11 criando o *Data Center Brindging* (DCB). A proposta é avaliar se o tráfego de acesso a sistema de armazenamento possui propriedade autossimilar nessa nova tecnologia.

⁴ Disponível em <http://www.iometer.org/>

⁵ Disponível em <http://www.oracle.com/technetwork/topics/index-089595.html>

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

BIANCHI, GABRIEL ROCON. 2005. Um Modelo Multifractal Aplicado à Predição de Tráfego de Rede - Proposta e Avaliação. Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 2005.

CROVELLA, M. e BESTAVROS, A. 1996. Self-similarity in world wide web traffic: Evidence and possible causes. *In Proceedings of the 1996 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems.* Maio de 1996.

DEUS, MARCIO AUGUSTO DE. 2007. Estratégias de Gerenciamento de Banda IP/MPLS para o Transporte Eficiente de Serviços Integrados. Brasília : Universidade de Brasília, 2007. p. 127.

DRUMMOND, A. C., FONSECA, N. L. S. e DEVETSIKIOTIS, M. 2005. Uma Avaliação de Estimadores de Banda Passante Baseados em Medições. 2005. pp. 2946-2963.

GAUGER, C. M., et al. 2005. Modeling and Performance Evaluation of iSCSI Storage Area Networks over TCP/IP-based MAN and WAN networks. *Proceedings of IEEE Broadnets 2005.* 2005.

HUFFERD, JOHN L. 2003. *iSCSI The Universal Storage Connection.* Boston : Pearson Education, Inc., 2003.

HWANG, FERNANDO. 2004. Análise dos Efeitos Gerados pelo Comportamento das Aplicações e pelo Perfil das Redes na Característica Auto-Similar do Tráfego Internet. Campinas : UNICAMP, 2004.

JÚNIOR, OSCAVO GONZAGA PRATA. 2003. Uma Proposta de Modelagem Matemática para Tratamento de Tráfego com Características Autossimilar. Santa Rita do Sapucaí : s.n., 2003.

KARAGIANNIS, THOMAS. 2003. The SELFIS Tool. *Thomas Karagiannis Home Page.* [Online] 2003. [Citado em: 15 de 05 de 2010.] <http://alumni.cs.ucr.edu/~tkarag/Selfis/Selfis.html>.

KARAGIANNIS, THOMAS, FALOUTSOS, MICHALIS e RIEDI, RUDOLF H. 2002. Long-Range Dependence: Now you see it, now you don't! 2002.

KELLY, FRANK. 1996. Notes on Effective Bandwidth. [A. do livro] Frank Kelly, S. Zachary e I. B. Ziedins. *Stochastic Networks: Theory and Applications*. Oxford : Oxford University Press, 1996, pp. 141-168.

LELAND, WILLIE E., et al. 1994. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (extended version). 1 *IEEE/ACM Trans. On Networking*. Fevereiro de 1994. Vol. 2, pp. 1-15.

LONG, JAMES. 2006. *Storage Networking Protocol Fundamentals*. Indianapolis : Cisco Press, 2006.

METH, KALMAN Z. e SATRAN, JULIAN. 2003. Features of the iSCSI Protocol. Agosto de 2003. pp. 72-75.

MICROSOFT. 2006. How to Calculate Your Disk I/O Requirements. *Microsoft TechNet*. [Online] 16 de 05 de 2006. [Citado em: 20 de 06 de 2010.] <http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb125019%28EXCHG.65%29.aspx>.

NAM, YOUNG JIN, et al. 2004. A Network Bandwidth Computation Technique for IP Storage with QoS Guarantees. 2004. pp. 473-480.

NETO, ANTÔNIO J. R. e FONSECA, NELSON L. S. 2007. Um Estudo Comparativo do Desempenho dos Protocolos iSCSI e Fibre Channel. 2007. pp. 151-157.

NORROS, IILKKA. 1995. On the use of Fractional Brownian Motion in the Theory of Connectionless Networks. 1995. pp. 953-962.

OPNET. 2010. OPNET Moduler 16.0 - Educational Version. *OPNET*. [Online] 2010. www.opnet.com.

ORENSTEIN, GARY. 2003. *IP Storage Networking*. Boston : Addison Wesley, 2003.

PAESSLER. 2009. PRTG Traffic Grapher. *Site da Paessler*. [Online] 2009. [Citado em: 7 de junho de 2010.] <http://www.paessler.com/prtg6>.

PAXSON, V. e FLOYD, S. 1995. Wide-area traffic: The failure of Poisson. Junho de 1995. Vol. 3, pp. 226-244.

PERLINGEIRO, FIRMIANO RAMOS. 2006. *Estudo de Tráfego e Alocação de Banda para Redes Multiserviço.* Campinas : Universidade Estadual de Campinas, 2006.

PRANGGONO, BERNARDI e ELMIRGHANI, JAAFAR M. H. 2008. Design of Storage Area Network Based on Metro WDM Networking. Londres : s.n., 2008.

PRISCILA, SOLIS BARRETO. 2007. Uma Metodologia de Engenharia de Tráfego Baseada na Abordagem Auto-Similar para a Caracterização de Parâmetros e a Otimização de Redes Multimídia. Brasília : Universidade de Brasília, 2007. p. 164.

QUEIROZ, BRUNO GIANCRISTOFORO e CARNEIRO, BRENO NERI. 2006. Modelagem, Geração e Análise de Tráfegos em Redes Multiserviço. s.l. : UnB, 2006.

SHELUHIN, OLEG I., SMOLSKIY, SERGEY M. e OSIN, ANDREY V. 2007. Self-Similar Processes in Telecommunications. West Sussex , England : John Wiley & Sons, Ltd, 2007.

SILVA, MAGDA, et al. 2001. *Caracterização de Tráfego Diferenciado na Universidade do Minho.* 2001.

ANEXOS

A - PRTG Traffic Grapher

O PRTG Traffic Grapher é um produto da empresa PAESSLER (www.paessler.com) que permite a monitoração via SNMP, *packet sniffing* e NetFlow da banda consumida na rede monitorada. A empresa oferece no site uma versão grátis (*Freeware Edition*) para uso comercial e particular limitada a 10 sensores.

Na Figura A.1 é apresentada a tela inicial após a configuração do sensor para a coleta da banda consumida na interface do switch onde esta conectado o servidor de e-mail Exchange utilizado nesse trabalho.

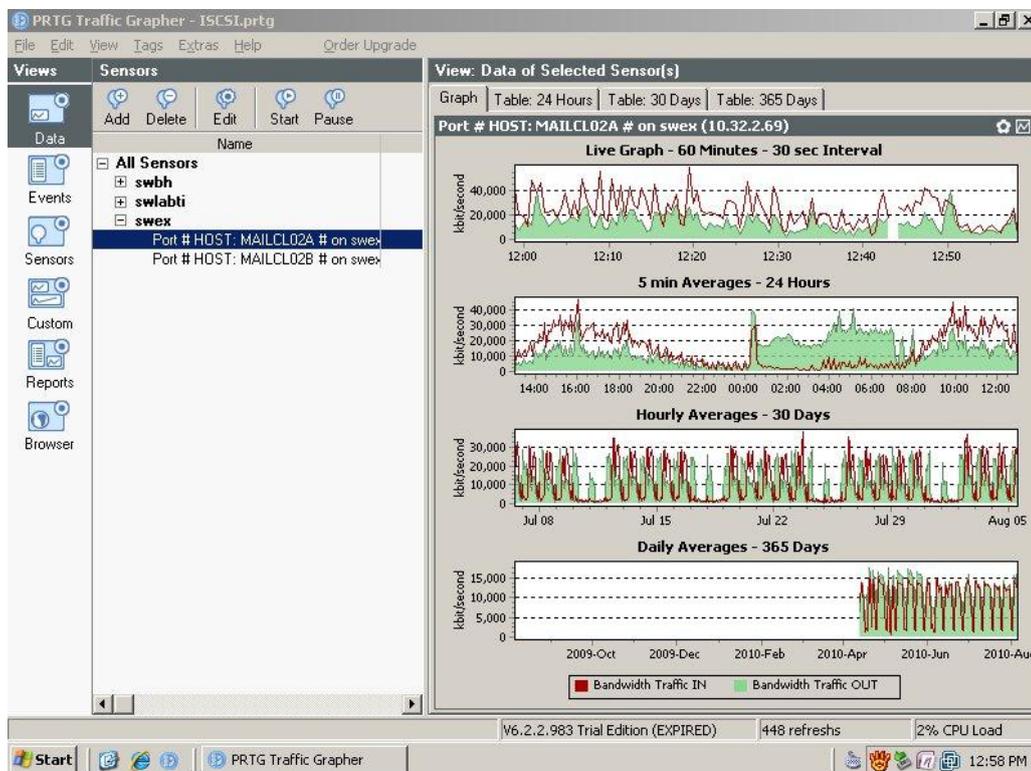


Figura A.1 - Tela PRTG Traffic Grapher

A ferramenta armazena os dados coletados e permite a importação deles em formato TXT, CSV e Excel. Esta importação é feita selecionando no meu *View* a opção *Historic Data* que abre a janela apresentada na Figura A.2. Nesta tela seleciona-se o sensor desejado, o período de coleta e o intervalo de tempo e pressionar o botão OK.

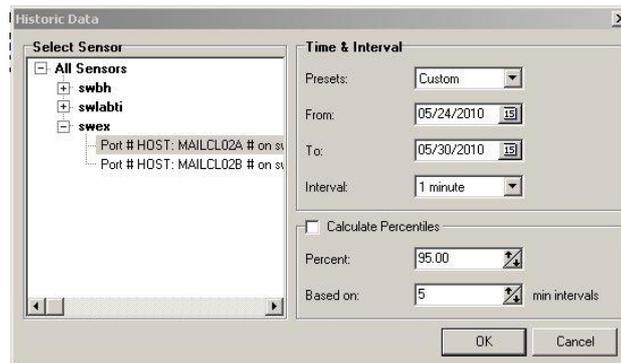


Figura A.2 - Tela *Historic Data* para importação de dados

A Figura A.3 mostra a tela a parti da qual é gerada a exportação para planilha Excel. Isso é feito ao pressionar o botão direito do mouse em qualquer linha da tabela e selecionar o item *Save Table to XLS*.

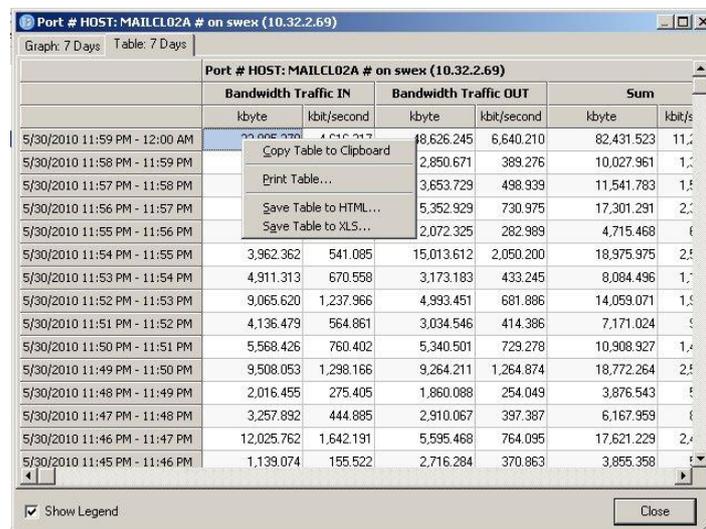


Figura A.3 - Tela para exportação dos dados

O arquivo gerado pode ser aberto no Microsoft Excel e apresenta o formato mostrado na Figura A.4. A partir dessa tabela foram gerados os dados que foram importados para outras ferramentas utilizadas nesse trabalho.

	Port # HOST: MAILCL02A # on swex	Port # HOST: MAILCL02B # on swex	Port # HOST: MAILCL02A # on swex			
	Bandwidth Traffic IN	Bandwidth Traffic IN	Bandwidth Traffic OUT	Bandwidth Traffic OUT	Sum	Sum
	megabyte	megabyte/second	megabyte	megabyte/second	megabyte	megabyte
4	5/30/2010 11:59 PM - 12:00 AM	33.013	0.55	47.487	0.792	80.5
5	5/30/2010 11:58 PM - 11:59 PM	7.009	0.117	2.784	0.046	9.793
6	5/30/2010 11:57 PM - 11:58 PM	7.703	0.128	3.568	0.059	11.271
7	5/30/2010 11:56 PM - 11:57 PM	11.668	0.195	5.227	0.087	16.896
8	5/30/2010 11:55 PM - 11:56 PM	2.581	0.043	2.024	0.034	4.605
9	5/30/2010 11:54 PM - 11:55 PM	3.869	0.065	14.662	0.244	18.531

Figura A.4 - Formato da tabela Excel obtida.

B - Configuração do OPNET

Para realizar as simulações foi configurado no OPNET Moduler versão 16.0 a topologia apresentada na Figura B.1.

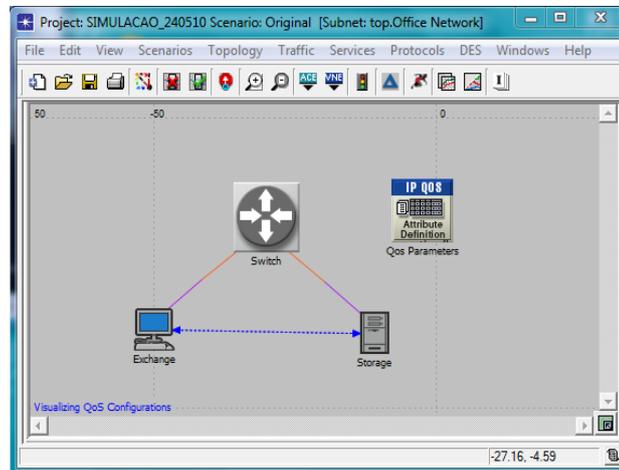


Figura B.1 - Topologia da simulação

A configuração do QoS é feita selecionando o menu *Protocol*, item *IP*, *QoS*, *Configure QoS...* para abrir a janela da **Erro! Fonte de referência não encontrada..** essa janela pressione o botão OK para inserir na topologia o ícone *QoS Parameters* configurado com o mecanismo padrão FIFO.

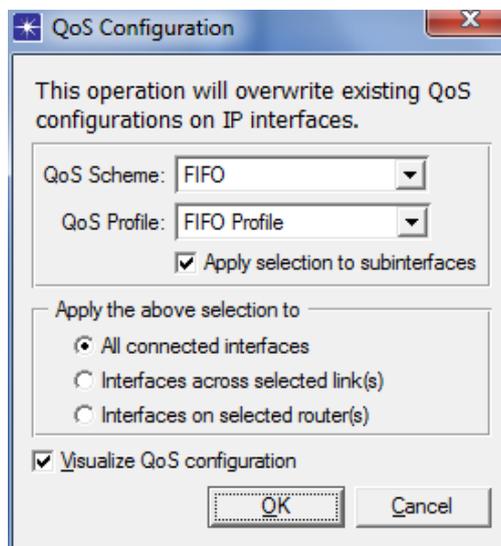


Figura B.2 - Configuração de QoS

O tráfego real foi importado para a simulação utilizando o recurso de configuração de um fluxo IP entre o elemento Exchange e *Storage*, indicado pela seta azul tracejada na Figura B.1. Selecionar o fluxo com o mouse e clicar o botão direito do mouse para editar os atributos do fluxo. Na janela de *Attributes*, selecionar o atributo *Traffic (bits/second)* e clicar com o botão direito do mouse para editar. Na janela *Profile*, pressionar o botão *Import* e abrir o arquivo com tráfego a ser importado. Este arquivo deve ser do tipo texto com duas colunas, a primeira definindo o intervalo de tempo entre coletas e a segunda com o valor do tráfego gerado.

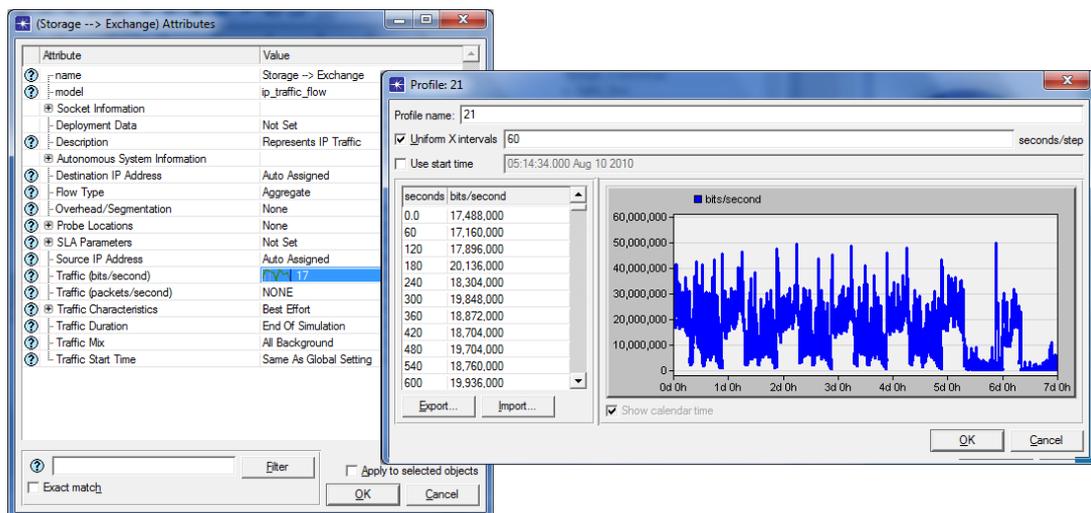


Figura B.3 - Importação de tráfego para a simulação.

Para executar a simulação foram utilizados os parâmetros mostrados na janela da Figura B.4.

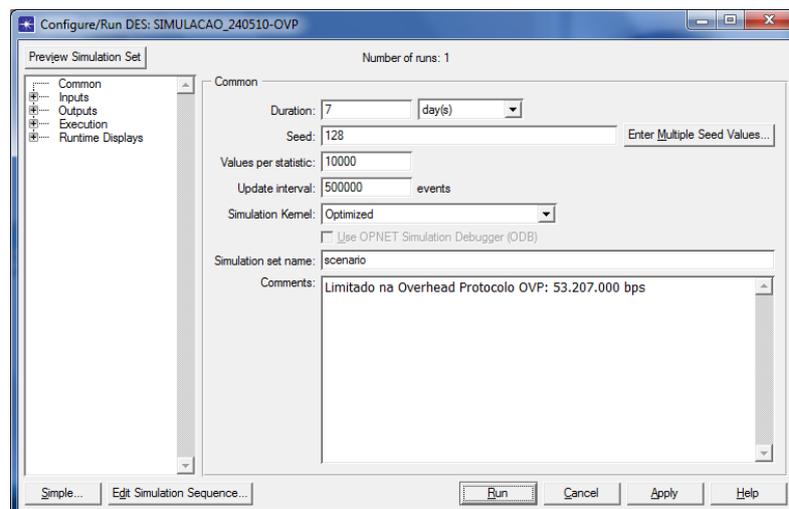


Figura B.4 - Janela de execução da simulação

C – GTAR – Gerador de Tráfego e Analisador de QoS na Rede

O GTAR é um software de código aberto multiplataforma desenvolvido na Universidade de Brasília (UnB) que oferece via interface gráfica amigável as funcionalidades de geração, análise e inferência da estatística do tráfego. Neste trabalho foi utilizado o módulo de inferência que permite a estimativa do parâmetro de Hurst pelos métodos Whittle, VTP, Kettani-Gubner e Periodograma. A estimativa do parâmetro de Hurst e também o qui-quadrado podem ser calculados a partir do tráfego gerado na ferramenta ou tráfego importado.

A tela inicial do GTAR é apresentada na Figura C.1. Nesta tela o arquivo de tráfego gerado em formato texto é importado selecionando no *menu file* o item *open*. Na janela que se abre marque *inference* e selecione o arquivo texto com os dados de tráfego que deseja importar.

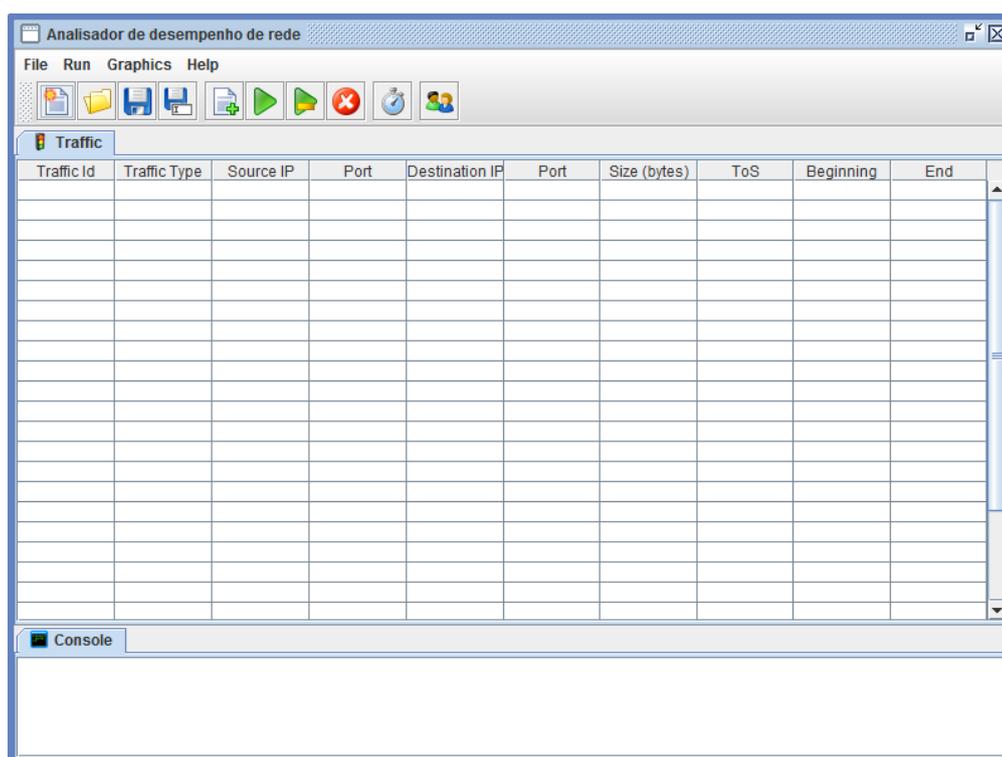


Figura C.1 – Tela inicial do GTAR

Tendo o tráfego desejado já importado é aberta automaticamente a janela da Figura C.2. A partir da janela ilustrada na Figura C.2 ao selecionar no menu *Graphics* o item *Sample Path* é possível traçar o gráfico do tráfego. No menu *Parameter* o item Hurst abre a janela para estimativa do parâmetro de Hurst pelos métodos implementados na ferramenta.

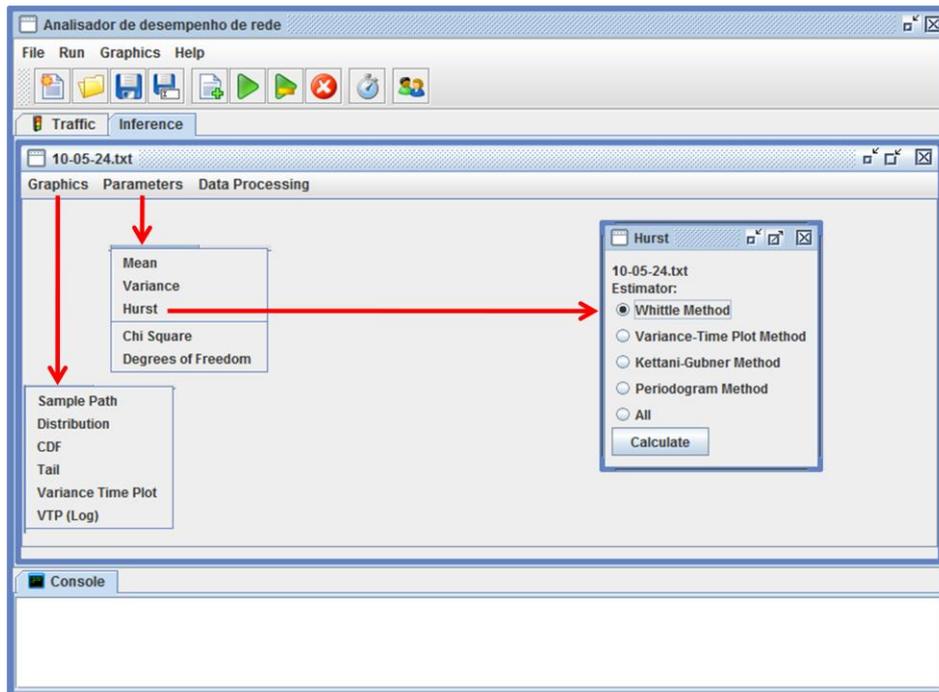


Figura C.2 – Janela de inferência do GTAR

A janela ilustrada na Figura C.3 apresenta os resultados finais obtidos após o processamento do tráfego importado para a ferramenta.

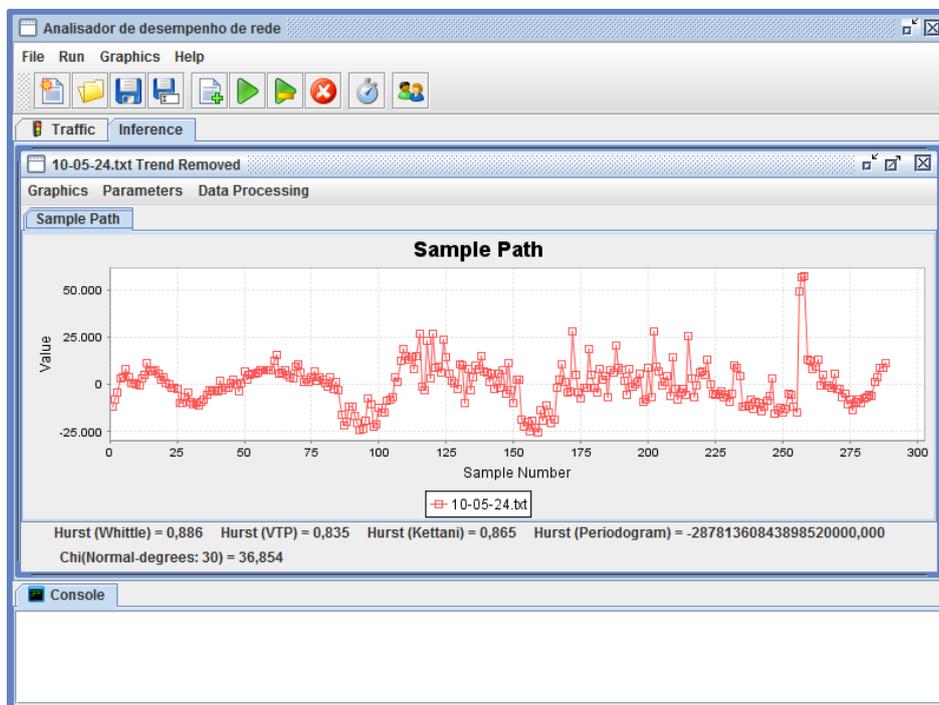


Figura C.3 – Janela de resultados