

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

DÉBORA TODT PETRY

**Avaliação de ferramentas de
monitoramento ativo de redes**

Trabalho de Graduação

Prof. Dr. Valter Roesler
Orientador

Eng. William Lautenschläger
Co-orientador

Porto Alegre, 14 de outubro de 2013.

*“Challenge what the future holds
Try and keep your head up to the sky...”*

Des'ree

SUMÁRIO

SUMÁRIO	3
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Organização do texto.....	13
1.2 Objetivos	13
2 CONCEITOS BÁSICOS	14
2.1 Monitoramento ativo e passivo	14
2.2 Métricas de Rede.....	15
2.2.1 Atraso.....	16
2.2.2 Largura de banda.....	17
2.2.3 Jitter	19
2.2.4 Pacotes fora de ordem	19
2.2.5 Perda	19
2.3 Mecanismos de medições ativas para <i>throughput</i>	20
2.3.1 Pares de pacotes.....	20
2.3.2 Trens de pacotes.....	21
2.3.3 <i>Download</i>	22
2.4 Conceitos em medição de redes.....	23
2.4.1 Intrusividade.....	23
2.4.2 Tempo de medição.....	23
3 FERRAMENTAS DE MEDIÇÃO ATIVA DE REDES	25
3.1 O Sistema Speedtest	25
3.2 O Sistema Simet	27
3.3 O Sistema Netmetric	29
4 METODOLOGIA	35
4.1 Cálculo da média e desvio padrão.....	35
4.1.1 Média:	35
4.1.2 Desvio padrão:.....	35
4.2 Intrusividade	39
4.3 Tempo de medição	40
4.4 Avaliação de métricas em redes emuladas	36
4.5 Avaliação de métricas em redes reais.....	38
5 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS DE VALIDAÇÃO	40
5.1 Intrusividade	41
5.2 Tempo de medição	45
5.3 Avaliação de latência	48
5.4 Avaliação de <i>throughput</i> TCP	54
5.5 Avaliação de <i>throughput</i> UDP	60

6	CONCLUSÕES.....	65
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXO O SISTEMA NETMETRIC	73

RESUMO

O uso de redes de computadores tem aumentado extensivamente nos últimos anos, o que provoca o aumento de problemas internos que são percebidos pelos usuários finais. O uso de métricas de rede permite aferir o desempenho delas, fornecendo embasamento para entidades regulamentadoras, empresas prestadoras de serviço e usuários. Neste trabalho, três ferramentas de monitoramento de redes são avaliadas em detalhe com relação às métricas de *throughput*, latência, intrusividade e tempo de duração do teste. Os testes foram realizados em redes reais e emuladas, com duas tecnologias diferentes: banda larga fixa e banda larga móvel. Concluiu-se que existem diferenças entre as ferramentas testadas, em todos os quesitos observados. Com relação à intrusividade e tempo de medição, foi observado que uma ferramenta utiliza menos tráfego que as outras, com um tempo de medição semelhante, mostrando que é possível melhorar as características que são inferiores. Também foi observado que as aplicações adaptam-se a redes 3G, injetando menos tráfego, mas também que os testes são mais longos. A latência medida por todas as ferramentas foi semelhante à ferramenta Ping, com pequenas variações. Quanto ao *throughput* TCP e UDP, algumas ferramentas foram mais exatas que outras. A variação do *throughput* no tempo foi maior nas redes 3G do que em rede banda larga fixa. O ambiente de rede emulada se mostrou eficaz para este tipo de estudo, possibilitando a comparação com valores configurados.

Palavras-chave: Monitoramento de redes, *throughput*, latência, 3G, banda larga, WANem, Netmetric, Simet, Speedtest

ABSTRACT

The use of computer networks has increased extensively in the past years, which brings along internal problems that are perceived by end users. The use of network metrics allows inferring their performance providing basis for regulatory entities, service providers and users. In the present work, three network monitoring tools are studied in detail with respect to the following metrics: throughput, latency, intrusiveness and test duration. The experiments were performed in real and emulated networks with two different technologies: broadband and mobile broadband. It was concluded that there are differences between the tested applications, in all observed metrics. With respect to intrusiveness and test duration, it was observed that one of the tools used less traffic than the others, with a similar test time, showing that it is possible to improve the metrics with poor behavior. Besides, it was observed that the applications adapt itself to 3G networks, injecting less traffic, but also that the tests take longer. The measured latency for all tools was similar to the Ping tool, with minor variations. As for TCP and UDP throughput, some tools were more accurate than others. The throughput variation in time was greater on 3G than broadband network. The simulated network environment proved effective for this type of study, enabling a comparison with configured values.

Key words: Network monitoring, throughput, RTT, 3G, WANem, Netmetric, Simet, Speedtest

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	<i>Acknowledgement</i>
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
ARPANet	<i>Advanced Research Projects Agency Network</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BTC	<i>Bulk Transfer Capacity</i>
DNS	<i>Domain Name Server</i>
ERB	Estação Rádio Base
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LAC	<i>Location Area Code</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MoM	<i>Manager of Managers</i>
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i>
NAT	<i>Network Address Translation</i>
OWD	<i>One Way Delay</i>
PTT	Ponto de Troca de Tráfego
POM	<i>Packets Order Metric</i>
PRAV	Projetos em Áudio e Vídeo
QoS	<i>Quality of Service</i>
RFC	<i>Request for Comment</i>
RRC	<i>Radio Resource Control</i>
RTT	<i>Round-trip Time</i>
SWF	<i>Shockwave Flash</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TTL	<i>Time to Live</i>
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
WAN	<i>Wide Area Networks</i>
WANem	<i>WAN Emulator</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Porcentagem de uso de planos de dados de 2007 a 2011. Na linha azul temos os países desenvolvidos, na vermelha dados mundiais e na verde dados dos países em desenvolvimento. Fonte: ITU Statistics, 2011.....	12
Figura 2.1. Medição ativa da rede. Fonte: Pásztor, 2003.	15
Figura 2.2. Exemplo de um teste ping para o site www.google.com.br	17
Figura 2.3. Topologia de uma rede de computadores fictícia.	19
Figura 2.4. Espaçamento entre pares de pacotes. Fonte: Roesler, 2003a.	21
Figura 2.5. Modelo de trens de pacotes e os tempos utilizados: Inter-car: Espaçamento entre vagões. Inter-Train: espaçamento entre trens. Fonte: Löffler, 1997.....	22
Figura 2.6. Método de <i>download</i> de arquivo ilustrado entre dois terminais. $\Delta T =$ Intervalo de tempo.....	23
Figura 3.1 Interface gráfica e resultado de um teste do sistema Speedtest. Fonte: Ookla, 2013.	26
Figura 3.2. Resultado de um <i>traceroute</i> realizado para o servidor do Speedtest do teste apresentado na Figura 3.1.	27
Figura 3.3. Interface gráfica do sistema Simet. Fonte: Simet, 2013.	28
Figura 3.4. Visão esquemática do Netmetric com seus componentes.	30
Figura 3.5. Perfis de medição para <i>throughput</i> UDP do Netmetric. A) Perfil para redes 3G. B) Perfil para redes banda larga.	31
Figura 3.6. Perfis de medição para <i>throughput</i> TCP do Netmetric. A) Perfil para redes 3G e todos os agentes Windows. B) Perfil para redes banda larga.....	32
Figura 3.7. Método de extração das métricas principais.....	32
Figura 3.8. Cabeçalho dos pacotes Netmetric.	33
4.1. Funcionamento do WANem. Fonte: Kalitay e Nambiarz, 2011.	36
Figura 4.2. Arquitetura dos testes com WANem.	37
Figura 4.3. Arquitetura do teste em uma rede banda larga fixa.	39
Figura 4.4. Arquitetura do teste em uma rede 3G da Vivo.	39
Figura 5.1. Comparação do tráfego utilizado pelas três ferramentas em uma rede real banda larga.....	42
Figura 5.2. Captura de tela do programa Wireshark. Fluxos de medição de um teste do Simet. Em preto o fluxo TCP e em vermelho o fluxo UDP. Tempo x bytes/s.	43
Figura 5.3. Captura de tela do programa Wireshark. Dados transmitidos por tipo de protocolo para um teste do Simet em rede banda larga.....	43
Figura 5.4. Comparação do tráfego utilizado pelas três ferramentas em uma rede real 3G.	Erro! Indicador não definido.

Figura 5.5. Tempos medidos, em segundos, para cada um dos 20 experimentos realizados em uma rede real banda larga.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.6. Tempos medidos, em segundos, para cada um dos 20 experimentos realizados em uma rede real 3G.	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.7. Resultados do teste de latência para uma rede 3G emulada.	49
Figura 5.8. Resultados do teste de latência para uma rede banda larga fixa emulada.	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.9. Resultados do teste de latência para uma 3G real.	51
Figura 5.10. Resultados do teste de latência para uma rede banda larga fixa real.....	51
5.11 Captura de tela do programa Wireshark, mostrando um GET HTTP utilizado para cálculo de latência.....	53
Figura 5.12. Resultados do teste de <i>throughput</i> TCP para uma rede 3G emulada. ...	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.13. Resultados do teste de <i>throughput</i> TCP para uma rede banda larga fixa emulada.....	55
5.14 Resultados do teste de <i>throughput</i> TCP para uma rede 3G real.	57
Figura 5.15. Cobertura 3G da empresa Vivo no endereço onde os testes foram realizados. O balão vermelho representa o local exato. Fonte: Vivo, 2013.	57
Figura 5.16. Resultados do teste de <i>throughput</i> TCP para uma rede banda larga fixa real.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.17. Resultados do teste de <i>throughput</i> UDP para uma rede 3G e emulada. ..	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.18. Resultados do teste de <i>throughput</i> UDP para uma rede banda larga fixa emulada.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5.19. Resultados do teste de <i>throughput</i> UDP para uma rede 3G real.	63
Figura 5.20. Resultados do teste de <i>throughput</i> UDP para uma rede banda larga fixa real.....	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Principais métricas usadas para monitoramento de redes.....	16
3.1 Conjunto de testes realizado por cada ferramenta testada (D = <i>download</i> ; U = <i>upload</i>).	25
Tabela 3.2: Tabela montada pelo Gerente após recebimento da rajada de resposta. ..	34
Tabela 4.1: Resultados do experimento controle. Valores mínimos, médios e máximos para cada par de ferramenta/métrica.	38
Tabela 5.1: Média do tráfego utilizado pelas três ferramentas, em rede banda larga e 3G. A linha “% 3G” indica qual a razão entre o tráfego utilizado em 3G pelo tráfego utilizado em banda larga fixa.....	44
Tabela 5.2: Resultados do teste de velocidade: Média de tempo em segundos, desvio padrão, número de métricas e relação tempo/número de métricas para as três ferramentas comparadas em uma rede real banda larga.	46
Tabela 5.3: Resultados do teste de velocidade: Média de tempo em segundos, desvio padrão, número de métricas e relação tempo/número de métricas para as três ferramentas comparadas em uma rede real 3G.	47
Tabela 5.4: Resultados do teste de velocidade para as três ferramentas, comparando-se redes banda larga com redes 3G.	48
Tabela 5.5: Resultados de latência para todos os ambientes testados. O valor esperado para redes emuladas é o que foi configurado no WANem. Para redes reais, é o valor da ferramenta Ping.....	53
Tabela 5.7: Resultados obtidos para <i>throughput</i> TCP.....	59
Tabela 5.8: Resultados obtidos para <i>throughput</i> UDP.....	64

1 INTRODUÇÃO

As redes de computadores vêm enfrentando um crescimento acelerado nos últimos 20 anos. Este crescimento trouxe consigo os problemas de congestionamento, que são uma preocupação crescente na literatura há anos (Jacobson, 1988). Mesmo com as melhorias desenvolvidas ao longo dos anos (aumento da velocidade, aprimoramento dos protocolos de rede), ainda temos uma alta taxa de pacotes descartados nos roteadores. Segundo Pásztor (2003), medições de performance de redes têm sido importantes desde a antiga ARPANet (*Advanced Research Projects Agency Network*), proporcionando melhorias e evoluções contínuas.

O uso de telefonia celular atualmente ultrapassa o uso de telefonia fixa. Com o advento dos *smartphones*, os celulares são também utilizados para provimento de dados, com o auxílio das tecnologias 2G, 3G e, mais atualmente, 4G. Em 2011, já havia no Brasil cerca de 244 milhões de linhas de celular habilitadas (ITU Statistics, 2011). De acordo com o relatório anual provido pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações, 2013b), o número de usuários de telefonia móvel sofreu um aumento de 8,08% de 2011 para 2012, fechando o ano com 261 milhões de acessos.

O número de assinaturas de internet para celular também cresceu: em países desenvolvidos, 51 em cada 100 habitantes já possuem alguma tecnologia de dados móvel; em países em desenvolvimento, este valor era de 0.8 a cada 100 habitantes em 2007, tendo aumentado para oito a cada 100 habitantes em 2011 (ITU Statistics, 2011). A **Figura 1.1** mostra esta evolução. No Brasil, das 58.880 mil ERBs (estações rádio base), 37.400 mil suportam 3G (63%) (Anatel, 2013b). É possível utilizar 3G em 2.865 municípios brasileiros, quase a metade. O número de celulares 3G era de pouco mais de um milhão em 2008; no segundo trimestre de 2013 o número era de 70 milhões (Teleco, 2013b). A tecnologia LTE (*Long term evolution*, 4G) já foi instalada em 17 cidades, e até o mês de maio de 2014 deve estar presente em todas as capitais e municípios com mais de 500 mil habitantes (Teleco, 2013a).

Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants, 2007-2011

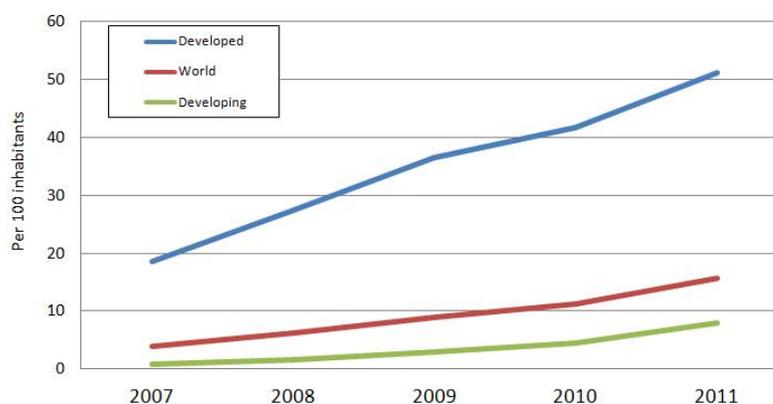


Figura 1.1. Porcentagem de uso de planos de dados de 2007 a 2011. Na linha azul temos os países desenvolvidos, na vermelha dados mundiais e na verde dados dos países em desenvolvimento. Fonte: ITU Statistics, 2011.

Neste contexto, sistemas de medições de rede se fazem necessários, em vários níveis. De acordo com Shriram *et al.* (2005), tanto usuários quanto desenvolvedores necessitam de ferramentas e metodologias para monitorar as condições de rede e adequá-las às suas expectativas de desempenho. Em suas residências, usuários precisam saber qual a qualidade da sua rede, e se condiz com o contratado com a sua operadora. Sabendo se o valor medido está semelhante ao contratado, o usuário pode decidir entre efetuar uma reclamação para a prestadora ou realizar uma mudança de velocidade em seu plano. Métricas relacionadas à largura de banda, detalhadas mais adiante, afetam diretamente aplicações de rede muito utilizadas, como *download* de arquivos e *streaming* de áudio/vídeo; a latência, outra métrica que será citada adiante, é vital para aplicações com interatividade.

As operadoras precisam destes dados para se colocar de acordo com o que os órgãos fiscalizadores exigem, mantendo uma QoS (*Quality of service*) adequada. No Brasil, este órgão é a Anatel. A Anatel, por sua vez, também precisa de um sistema de medição robusto, pois precisa saber se os dados fornecidos pelas operadoras e usuários são reais, por exemplo, em caso de reclamações. Também, as operadoras planejam o crescimento de seus serviços baseada na quantidade de banda que os seus usuários utilizam (Prasad, 2003).

De acordo com Thomson e colaboradores (1997), as tarefas de monitoração e análise de rede são grandes desafios, devido ao crescimento do número de usuários,

da complexidade da topologia da rede e da proliferação de novas aplicações, fatores que estão mudando a característica da internet que conhecemos. Shriram e colaboradores (2005) mencionam o crescimento das velocidades dos *links* e a complexidade das funcionalidades da rede como desafios enfrentados por ferramentas de medições. Como exemplos de dificuldades, os autores citam a falta de precisão temporal, o processamento desigual dos pacotes ao longo da rede, diferenças de MTU (*Maximum transmission unit*) e o fato de que roteadores modernos podem relegar as rajadas de teste a um “caminho secundário”, na tentativa de prover QoS.

1.1 Organização do texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma. No capítulo 2, são apresentados os conceitos básicos necessários para o entendimento deste trabalho, englobando monitoramento ativo e passivo, métricas de rede, mecanismos de medições ativas para *throughput* e outros conceitos de monitoramento de redes. No capítulo 3, é dada uma introdução às ferramentas existentes para monitoramento de redes, e são explicadas com mais detalhe as três escolhidas para este trabalho: Simet, Speedtest e Netmetric. No capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada. O capítulo 5 traz os resultados, divididos por métrica. Por fim, apresenta-se a conclusão, revisando o trabalho e trazendo sugestões para trabalhos futuros.

1.2 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação de ferramentas de monitoramento ativo de redes. Para tanto, três ferramentas foram estudadas em detalhe e comparadas entre si, em quatro cenários selecionados, englobando rede banda larga fixa e rede 3G, em ambientes reais e emulados.

2 CONCEITOS BÁSICOS

A seguir, são apresentados alguns conceitos básicos para a contextualização deste trabalho.

2.1 Monitoramento ativo e passivo

Podemos dividir os métodos de monitoramento de redes em dois grandes grupos. No monitoramento passivo, não é necessário gerar tráfego na rede e nem modificar algum tráfego já existente. As medições são feitas analisando o tráfego nativo de uma determinada rede, inserindo-se pontos de observação. Também é possível fazer o *debugging* de uma rede, observando-se todo o conteúdo trafegando nela. É o método de preferência quando se deseja monitorar um ponto específico da rede. Para medições fim-a-fim, podemos combinar pontos de referência na origem e no destino, permitindo o cálculo de métricas fim-a-fim, como atraso e perda (Pásztor, 2003). É considerado um método preciso e eficiente, mas tem seu uso limitado por caminhos pelos quais tenha havido trânsito de dados de usuários recentemente (Hu *et al.*, 2003a).

Ao contrário, no monitoramento ativo, injetamos tráfego sintético na rede, simulando aplicações do usuário. A arquitetura básica desta técnica é apresentada na **Figura 2.1**. Grupos de pacotes, chamados de sondas, são enviados por caminhos arbitrários pelo processo transmissor. Como as características das sondas são conhecidas e o tráfego gerado é controlado, podemos extrair as métricas desejadas pelas características do caminho utilizado pelo pacote, avaliando as perturbações sofridas na rede pelo tráfego enviado. O processo receptor sabe quais sondas deve monitorar.

Segundo Tanaka (2009), é a única tecnologia viável para prover qualidade de serviço nas redes atualmente. Fornece informações da rede como um todo, ou seja, obtemos informações de um caminho inteiro entre uma origem e destino selecionados. Podemos realizar medições de perda de pacotes, *throughput*, atraso de ida e volta, entre outros (Curtis, 1999). A grande vantagem é a flexibilidade, com diversos parâmetros configuráveis, tais como: Tamanho dos pacotes, número de pacotes, espaçamento inter-pacotes. Outros benefícios da técnica incluem: 1) Podem-se executar vários experimentos e repetições destes quando desejado; 2) Não há problemas de privacidade (e conseqüentemente de modificar os pacotes), como no

monitoramento passivo; 3) O montante de dados extraídos é muito menor do que no monitoramento passivo de redes com muito tráfego (Pásztor, 2003).

A maior desvantagem deste método é a competição que pode acontecer entre o tráfego natural e o injetado na rede, potencialmente prejudicando os usuários; sendo assim, aplicativos que utilizam este método devem fazê-lo de forma planejada e cuidadosa (Lautenschläger *et al.*, 2009). O tráfego sintético modifica as condições dos roteadores e perturba o tráfego nativo, que está tentando medir. Para tentar minimizar estes efeitos, utiliza-se geralmente um tráfego baixo, de cerca de 10 Kbit/s. Um desafio é realizar medidas de tempo cada vez mais acuradas, ao mesmo tempo evitando aumentar indevidamente a taxa de envio dos pacotes (Pásztor, 2003).

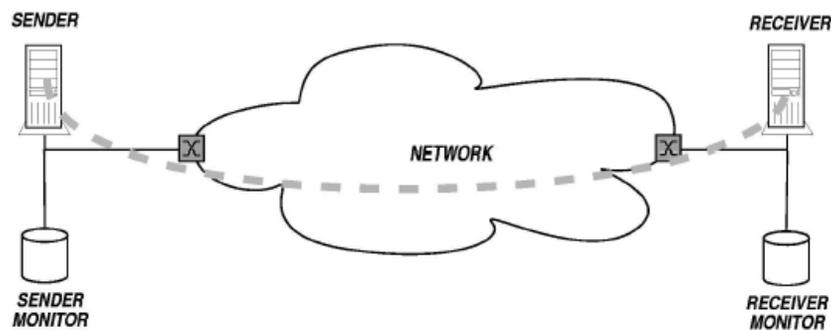


Figura 2.1. Medição ativa da rede. Fonte: Pásztor, 2003.

2.2 Métricas de Rede

Existem diversas métricas que podem ser utilizadas para monitoramento de redes de computadores. Especialistas do IETF (*The Internet Engineering Task Force*) definiram um grupo de 33 métricas que seriam adequadas à caracterização de redes IP, garantindo a qualidade, o desempenho e a confiabilidade (IETF, 2013). Os padrões para métricas estão documentados na forma de RFCs (*Requests For Comments*). Por exemplo, o RFC 2681 (Almes *et al.*, 1999) apresenta as normas para RTT e o RFC 2680 para perda de pacotes (Almes *et al.*, 1999b). A **Tabela 2.1** descreve brevemente as métricas mais utilizadas. A seguir apresentam-se algumas delas em maior detalhe.

Tabela 2.1: Principais métricas usadas para monitoramento de redes.

Métrica	Descrição	Unidade
Capacidade	Taxa máxima	bit/s
Banda disponível	Taxa máxima em um dado momento	bit/s
Throughput	Taxa de transferência de pacotes em um dado período	bit/s
RTT	Tempo de ida e volta de um pacote	ms
OWD	Atraso em uma direção	ms
Jitter	Variação do atraso	ms
Perda	Taxa de perda de pacotes	%
POM	Pacotes fora de ordem	%

2.2.1 Atraso

O **atraso de ida e volta** ou **RTT** (*Round trip time*) é o tempo decorrido para um pacote ir da origem até o destino e retornar. Ou seja, este tempo consiste no tempo de transmissão de um sinal entre dois pontos. É um dos fatores vitais para determinar o desempenho de aplicações interativas, assim como a eficiência de mecanismos de controle da rede, como o controle de fluxo do TCP (*Transmission control protocol*). É composto pelo tempo para transmissão física de bits, do tempo de espera em filas de roteadores e do tempo de processamento do servidor. Uma forma de medir o RTT é através da ferramenta Ping (Muuss, 1983), que utiliza o protocolo ICMP, sendo chamado de *ping time*. A **Figura 2.2** traz o resultado de um teste ping. O teste foi feito para o endereço www.google.com.br, com 32 *bytes* de dados e com TTL (*time to live*) de 43. Pode-se observar que houve sucesso na recepção dos quatro pacotes enviados e que o valor de RTT obtido foi de 183 ms.

```
ca. C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\praud>ping www.google.com.br

Pinging www.google.com.br [74.125.131.94] with 32 bytes of data:
Reply from 74.125.131.94: bytes=32 time=183ms TTL=43
Reply from 74.125.131.94: bytes=32 time=183ms TTL=43
Reply from 74.125.131.94: bytes=32 time=183ms TTL=43
Reply from 74.125.131.94: bytes=32 time=183ms TTL=42

Ping statistics for 74.125.131.94:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 183ms, Maximum = 183ms, Average = 183ms
```

Figura 2.2. Exemplo de um teste ping para o site www.google.com.br.

Quando medimos o atraso apenas em uma direção, temos a medição de **OWD** (*one way delay*), que consiste no tempo que um pacote utiliza para ir da origem até um destino determinado. Como pode haver diferenças significativas entre o caminho de ida e volta, este valor não equivale ao valor de um RTT dividido por dois; daí sua importância. A medição exige uma alta sincronia entre relógios da fonte e destino. Permite a identificação de *bottlenecks* na rede e é importante para o caso de aplicações *one-way* (Pásztor, 2003). Por exemplo, uma transferência de arquivo por TCP depende mais da performance na direção em que os dados estão fluindo do que na direção dos pacotes de ACK (*acknowledgement* ; Almes *et al.*, 2012).

2.2.2 Largura de banda

Muitas métricas estão relacionadas com a largura de banda de um canal. A terminologia utilizada neste trabalho é a publicada por Prasad e colaboradores (2003), que realizaram uma organização das métricas, das técnicas utilizadas e das ferramentas existentes. A **capacidade** de um canal é definida como a largura de banda máxima que este pode atingir é diretamente relacionada à tecnologia de transmissão e ao meio de propagação. Para um canal, é a taxa, medida na camada IP, na qual este canal consegue transferir pacotes do tamanho do MTU. Na **Figura 2.3**, onde temos um exemplo de uma rede fictícia, observamos cinco enlaces, cada um com a sua capacidade. Já a **capacidade fim-a-fim** de um caminho é determinada pelo canal que possui menor capacidade, chamado de *narrow link*. Na rede da **Figura 2.3** a capacidade fim-a-fim do caminho entre os computadores 1 e 2 é de 10 Mbits/s, devido ao enlace de número 5, que corresponde ao seu *narrow link*. A métrica de

banda contratada corresponde à capacidade máxima do canal, imposta de forma artificial pela prestadora de serviços de rede.

A métrica **largura de banda disponível** (*available bandwidth*) depende não só do meio, mas varia conforme o tráfego daquele momento, variando com o tempo. É definida como a maior largura de banda disponível em um dado momento, ou seja, a capacidade máxima não utilizada (Prasad *et al.*, 2003). A **largura fim-a-fim** de um caminho é determinada pelo canal que possuir a menor capacidade livre, chamado de *tight link*. Digamos que, para o exemplo da **Figura 2.3**, tenhamos um tráfego de 5 Mbit/s entre a nuvem e o terminal de número 2. Desta forma, teríamos, no enlace 5, uma banda disponível de 5 Mbit/s. Supondo que no enlace 1 tenhamos uma banda disponível de 20 Mbit/s, o enlace 5 é o *tight link* do caminho entre 1 e 2.

A terceira métrica desta classificação, e a mais importante para este trabalho, é o **throughput** ou vazão de dados, que caracteriza a capacidade de transmissão de dados da rede, para um determinado intervalo de tempo. É extraído pela razão entre o volume de dados transferido e o tempo transcorrido entre as observações do primeiro e último pacote. A importância de sua medição deriva do fato de que as aplicações frequentemente não conseguem utilizar toda a largura de banda disponível, devido a fatores como o reordenamento de pacotes e *buffers* de recepção pequenos (Hu e Steenkiste, 2003). É considerada a métrica mais importante por alguns autores (He *et al.*, 2005). Para o exemplo da rede da **Figura 2.3**, o valor do *throughput* no enlace 5 seria algum valor mais baixo do que 5 Mbit/s.

O valor de *throughput* depende do tamanho do *buffer* do protocolo TCP, do número de conexões paralelas concorrentes, da implementação do TCP, da dinâmica e elasticidade do tráfego existente, do tipo de tráfego concorrente (TCP ou UDP – *User datagram protocol*), do congestionamento no caminho reverso (dos ACKs) e do tamanho das filas dos roteadores ao longo do caminho (Prasad *et al.*, 2003; Ubik *et al.*, 2004). Segundo Fernandes *et al.* (2013), o *throughput* sempre é um valor abaixo da largura de banda disponível, devido a esses fatores.

Ainda, quando nos referimos ao *throughput* máximo que uma única conexão TCP pode atingir, chamamos de BTC ou *Bulk Transfer Capacity*.

As três métricas citadas são medidas em bits por segundo.

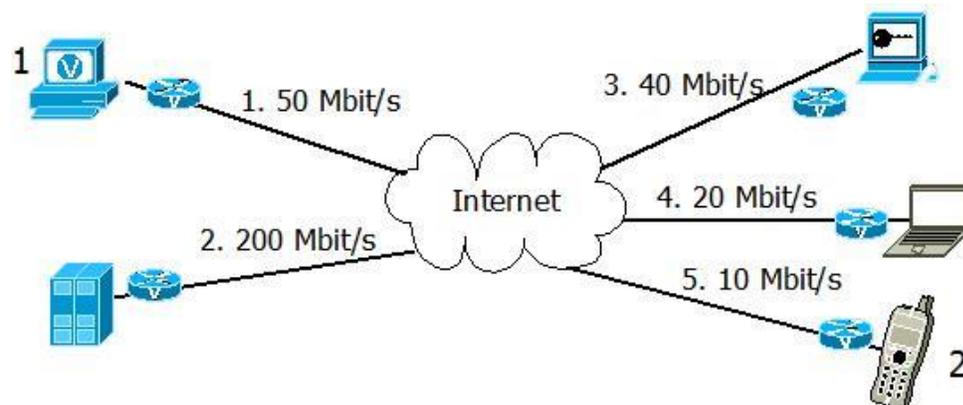


Figura 2.3. Topologia de uma rede de computadores fictícia.

2.2.3 Jitter

O jitter é uma métrica relacionada à estabilidade da rede. Cada pacote demanda um determinado tempo para chegar ao seu destino, como descrito no item 2.2.1. Em um trem com vários pacotes, cada qual tem sua própria latência. O jitter é a variação deste atraso, obtida ao compararmos os pacotes entre si.

2.2.4 Pacotes fora de ordem

O POM (*Packet order metrics*) indica a quantidade de pacotes que foram observados no destino em uma ordem distinta do envio. Podem-se utilizar os números de sequência para determinar quando um determinado pacote não corresponde ao esperado após a última recepção realizada. Expressa em termos de porcentagem em relação à quantidade total de pacotes.

2.2.5 Perda

A perda é a quantidade de pacotes que, apesar de enviados, não foram observados corretamente no destino. Com números de sequência identificando os pacotes, é possível a detecção de quais foram perdidos. É expressa por uma porcentagem em relação ao total de pacotes enviados em um trem. É consenso que a perda medida em um sentido (*one-way loss*) é mais importante do que a perda de ida e volta (*round-trip loss*) (Pásztor, 2003). O monitoramento ativo da perda de pacotes é

difícil porque o que se mede é a taxa de perda da própria rajada de monitoramento, que tem pouca relação com a taxa de perda de outros dados no mesmo caminho, particularmente quando a taxa de perda é baixa e o período de medição é curto (Ubik *et al.*, 2004).

Neste trabalho, as métricas analisadas em profundidade são latência e *throughput* TCP e UDP. Este fato se deve à importância destas métricas, tanto no âmbito do projeto Netmetric quanto para a comunidade que trabalha com medição de redes. A empresa cliente do Netmetric considera estas métricas como as principais para qualificar as suas redes e requisita constantes aprimoramentos nesta medição (Lautencläger, com. pessoal).

2.3 Mecanismos de medições ativas para *throughput*

2.3.1 Pares de pacotes

Diversos mecanismos já foram propostos para medições ativas de *throughput*. O mecanismo conhecido como **pares de pacotes** advém de uma característica conhecida de redes de computadores. Quando pacotes atravessam o que chamamos de “gargalo” do trajeto (a região com a menor velocidade), eles sofrem um espaçamento, que é mantido mesmo nas regiões seguintes, de maior velocidade (**Figura 2.4**). Isto ocorre devido ao enfileiramento sofrido pelos pacotes. Observando-se este espaçamento e o tamanho dos pacotes, uma inferência sobre a largura de banda do caminho entre origem e destino é feita. Esta técnica já foi amplamente estudada. No trabalho de Keschav (1991), foi necessário realizar medições da rede para poder estabelecer controle de fluxo e, assim, fornecer qualidade de serviço ao usuário. A técnica de pares de pacotes foi utilizada para tal, medindo-se o espaçamento entre os *acks*, visto que estes preservam o espaçamento que há entre os pacotes de dados originais. Outro exemplo é o trabalho de Lai (2001), que desenvolveu uma ferramenta denominada *nettimer*, que utiliza pares de pacotes para medir a largura de banda do *link* gargalo de uma rede, de forma passiva, com uma taxa de erro inferior a 10%.

Em geral, a literatura cita que esta técnica é confiável, exceto em casos como computadores localizados em redes NAT (*Network Address Translation*), utilizando servidores *proxy* ou mesmo *firewalls* (Microsoft, 2013). Esta técnica pode ser utilizada com os protocolos TCP e UDP. No caso do TCP com o uso de *ACKs*, podemos ter uma medição errônea devido a atrasos de *ACKs* (Braden, 1989). Também não temos como

saber se o espaçamento verificado ocorreu no sentido de ida ou de volta (Roesler, 2003b). O trabalho de Roesler *et. al* (2003a) mostra esta técnica aplicada ao protocolo UDP, para uma aplicação *multicast* e de forma a não gerar rajadas na rede, com o receptor verificando a banda máxima da rede. Este trabalho mostrou que esta técnica é aplicável para diversos tipos de rede, apesar de algumas vezes o valor da banda máxima ser superestimado (o espaçamento pode diminuir caso os pacotes encontrem um *link* de alta velocidade) ou o contrário (no caso de tráfego concorrente). Para pacotes pequenos, especialmente, podemos ter valores distorcidos. O método do trem de pacotes é sugerido para melhorar a estabilidade e a precisão das medições, com qualquer tamanho de pacote.

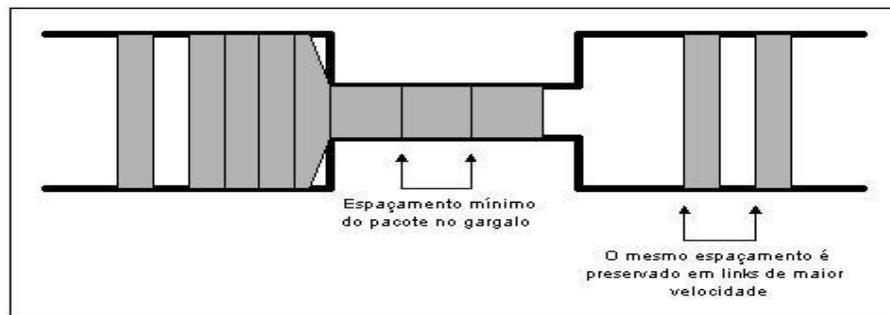


Figura 2.4. Espaçamento entre pares de pacotes. Fonte: Roesler, 2003a.

2.3.2 Trens de pacotes

Este método é semelhante ao anterior, porém, ao invés de pares de pacotes, utiliza-se um conjunto maior de pacotes, denominado trem. Este método foi desenvolvido por Jain e Routhier (1986). Um trem é definido como um conjunto de pacotes que tem como saída a mesma fonte e vão em direção ao mesmo destino. Um trem possui vagões, que são conjuntos de pacotes (**Figura 2.5**). Se o espaçamento entre dois pacotes é maior do que o espaçamento entre trens, estes pacotes pertencem a trens diferentes. Este modelo reflete o fato de que a comunicação dentro de uma rede é de fato feita através de pacotes pouco espaçados temporalmente que são trocados entre dois terminais (Löffler, 1997).

A maior vantagem desta técnica é que o intervalo entre a chegada do primeiro e do último pacote aumenta, o que diminui a possibilidade de erros na medição

causados por problemas de temporização (Pásztor, 2003). A maior desvantagem é a injeção de mais tráfego na rede, aumentando a possibilidade de interferência com o tráfego nativo.

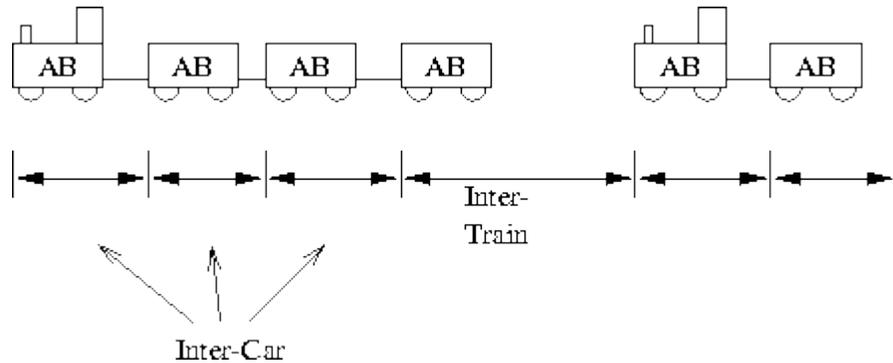


Figura 2.5. Modelo de trens de pacotes e os tempos utilizados: Inter-car: Espaçamento entre vagões. Inter-Train: espaçamento entre trens. Fonte: Löffler, 1997.

2.3.3 Download

Outro mecanismo conhecido é o de **download de arquivos**. Neste método, um arquivo é transferido de um local para outro; então, o tamanho total do arquivo é dividido pelo tempo da transferência deste (**Figura 2.6**). O trabalho de Kamerman e Aben (2000) utiliza esta técnica para avaliação do *throughput* em uma rede *wifi*. Segundo estes autores, este é o método mais utilizado em redes *wifi*, pois seria semelhante ao tráfego real dos usuários, em que primeiro existe uma troca de pequenos pacotes de requisições e respostas e em seguida um tráfego de pacotes grandes de resposta e pacotes pequenos de requisição. Porém, o número de pacotes de requisições gerados ainda é menor do que em um tráfego real gerado por usuários. A ferramenta utilizada foi a Chariot (Chariot 3.1, 2013), que permite definir a quantidade de tráfego que se deseja transferir entre os dois terminais, ou seja, o tamanho do arquivo. Laor e Gendel (2002) utilizaram esta técnica, com três tamanhos diferentes em conexões TCP, para estudo do efeito que o reordenamento de pacotes poderia exercer sobre o *throughput*.

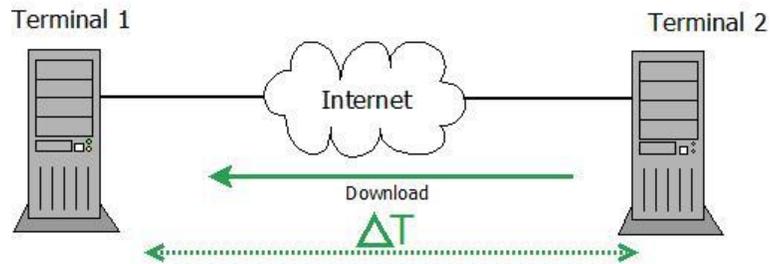


Figura 2.6. Método de *download* de arquivo ilustrado entre dois terminais. ΔT = Intervalo de tempo.

2.4 Conceitos em medição de redes

2.4.1 Intrusividade

A intrusividade de uma ferramenta de medição é definida como a proporção de tráfego que a ferramenta utiliza sobre a banda total disponível. Uma ferramenta é considerada intrusiva (Prasad *et al.*, 2003) quando a média de seu tráfego injetado durante o processo de medição é significativa comparado à banda disponível naquele caminho. Diversos autores (Shriram *et al.*, 2005; He *et al.*, 2005) enfatizam o fato de que ferramentas de medição de rede precisam ser não intrusivas, inclusive avaliando diversas ferramentas quanto a este critério. Um dos motivos é que o tráfego injetado poderia tornar a conexão do usuário mais lenta durante uma medição. Inclusive, alguns planos de internet possuem franquia, e os testes consumiriam dados do usuário. Segundo Prasad e colaboradores (2003), todas as ferramentas de medição ativa injetam algum tráfego na rede e são, portanto, intrusivas em algum nível.

2.4.2 Tempo de medição

O tempo que uma determinada ferramenta leva para realizar um teste de rede completo é considerado um importante aspecto por vários autores. Na literatura foram encontrados trabalhos onde o tempo de duração de uma medição de banda disponível foi verificado (Shriram *et al.*, 2005), mas o mesmo não ocorreu para *throughput*. Hu e colaboradores (2003b), que compararam técnicas de medição de banda disponível,

também avaliaram a velocidade de resposta das técnicas de Pathload e IGI/PTR e forneceram uma explicação para os resultados obtidos.

Durante as medições, aloca-se uma porcentagem do total disponível no servidor para cada terminal, o que pode levar a uma sobrecarga do servidor. Assim, quanto menos tempo cada ferramenta permanecer utilizando esta banda, melhor. Para os usuários, o nível de satisfação aumenta quando menor for o tempo necessário para realizar uma tarefa.

3 Ferramentas de medição ativa de redes

Existe atualmente um grande número de ferramentas disponíveis para monitoramento de redes, algumas de código aberto, outras comerciais. Uma ferramenta pode medir uma única métrica ou um conjunto destas. Neste trabalho, foram escolhidos três sistemas para análise. O primeiro destes sistemas, chamado Speedtest, mede *throughput* TCP e RTT. O sistema Simet mede, além destas duas métricas, *throughput* UDP e jitter. O terceiro sistema incluso nas análises deste estudo, chamado Netmetric, realiza medições das quatro métricas anteriores e também de perda de pacotes e pacotes fora de ordem (**Tabela 3.1**). A seguir, apresentamos uma seção dedicada a cada uma destas três ferramentas selecionadas. Em cada seção, cada uma delas é detalhada e os motivos para a inclusão de cada uma delas no estudo são explicitados.

Tabela 3.1: Conjunto de testes realizado por cada ferramenta testada (D = *download*; U = *upload*).

Testes	Speedtest	Simet	Netmetric
Throughput TCP (D/U)	X	X	X
Throughput UDP (D/U)		X	X
RTT	X	X	X
Jitter (D/U)		X	X
POM (D/U)			X
Perda (D/U)			X

3.1 O Sistema Speedtest

Este sistema está disponível para qualquer usuário da *internet* no endereço <http://www.speedtest.net/> e é disponibilizado na rede pela empresa Ookla (Ookla, 2013). Trata-se de um sistema para medição de rede *online*, com suporte à ADSL, *cable*, fibra ótica e 3G/4G. No site está documentado que o sistema possui 2159 hosts ativos no mundo e que é o sistema mais abrangente e popular atualmente, com 50 milhões de testes realizados mensalmente (Speedtest, 2013). Foi selecionado para estudo neste trabalho por apresentar este grande número de usuários e ser utilizado em nível mundial, assim como por possuir uma infraestrutura pronta para ser utilizada,

sem necessidade de desenvolvimento de processos *sender* e *receiver*, o mesmo sendo válido para as outras duas ferramentas selecionadas.

Fornecer resultados de largura de banda nos sentidos de *download* e *upload* e de *ping* (Tabela 3.1). É oferecida ao usuário a escolha do servidor do teste, a opção de hospedar um servidor em sua região e uma versão *mobile*, para iOS e Android, com suporte às redes *wifi* e de celular. Também existe a opção de comparação dos dados obtidos no teste com os dados prometidos pelo servidor contratado. O usuário ainda pode efetuar um teste sem ter *login* no *site*. Se o tiver, tem a opção de salvar os seus testes e visualizar posteriormente, em qualquer computador. O servidor é escolhido através de testes de ping no momento de iniciar o teste.

Um fator negativo sobre este sistema é que o *website* apresenta muitas propagandas, inclusive do tipo que ilude o usuário a pensar que está iniciando o teste de rede quando, na verdade, está clicando em um anúncio.

A primeira parte da Figura 3.1 apresenta o resultado de um teste. O servidor escolhido pela ferramenta está localizado na cidade de Canoas – RS. O resultado de RTT foi de 4 ms. Para *throughput*, o resultado foi de 94 Mbit/s para *download* e 25 Mbit/s para *upload*. Através de um *traceroute* para o IP do servidor utilizado, observou-se que o caminho possui 9 *hops* (Figura 3.2). Realizando-se mais testes com a ferramenta, mesmo que com um intervalo de tempo curto entre eles, observa-se que o servidor escolhido varia, conforme mencionado no *site* da ferramenta.



Figura 3.1. Interface gráfica e resultado de um teste do sistema Speedtest. Fonte: Ookla, 2013.

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\praud>tracert 187.60.96.10

Tracing route to 187.60.96.10 over a maximum of 30 hops

  0  <1 ms    <1 ms    <1 ms    143.54.12.1
  1  <1 ms    <1 ms    <1 ms    143.54.3.70
  2  <1 ms    <1 ms    <1 ms    lsv-routcs.ufrgs.br [143.54.0.137]
  3  1 ms     1 ms     <1 ms    lsf-out.ufrgs.br [143.54.0.254]
  4  1 ms     <1 ms    <1 ms    as18881.rs.ptt.br [200.219.143.12]
  5  3 ms     3 ms     3 ms    189.59.253.10.static.host.gvt.net.br [189.59.253.10]
  6  2 ms     1 ms     1 ms    gvt-te-8-1.rd02.pae.gvt.net.br [189.59.252.186]
  7  1 ms     1 ms     1 ms    corporativo.gvt.net.br [189.114.144.90]
  8  1 ms     1 ms     1 ms    187.60.96.10

Trace complete.
```

Figura 3.2. Resultado de um *traceroute* realizado para o servidor do Speedtest do teste apresentado na Figura 3.1.

3.2 O Sistema Simet

O Simet (Sistema de Medição de Tráfego de Internet) é um sistema de medição de desempenho de redes, semelhante ao Speedtest. É um sistema brasileiro e não vinculado a nenhuma operadora. Foi desenvolvido pelo NIC.br, braço executor do CGI.br (Comitê Gestor da Internet no Brasil) e que até a pouco estava no sítio da Anatel. O acesso ao teste é feito pelo endereço <http://simet.nic.br/> (Simet, 2013) e está vinculado ao Ceptro.br: Centro de Estudos e Pesquisas em Tecnologias de Redes e Operações do Brasil (Ceptro, 2013). Existem versões *mobile* para iOS e Android. Não existem propagandas no *website*, como no sistema apresentado anteriormente, mas é necessário ter a tecnologia Java instalada no computador. O *site* expõe que este sistema seria o melhor disponível para o usuário no país, por cumprir as determinações fixadas pela Anatel, na Resolução nº 574 (Anatel, 2013a).

Nesta resolução, por exemplo, é definido que a medição da rede deve ocorrer do terminal do assinante até o PTT (Ponto de Troca de Tráfego), e não apenas o tráfego “de última milha”, ou seja, da casa do usuário até um servidor da empresa dentro da mesma cidade. Outro requerimento é que deve ser medido o tráfego TCP e UDP. É mencionado neste site que os *softwares* disponibilizados pelas operadoras não cumprem estas resoluções da Anatel.

Segundo ainda o *website* da ferramenta, os métodos utilizados por ela foram acordados entre as operadoras de telefonia e provedores de acesso à Internet e estão disponíveis em um documento (Madruga, 2013), e foram utilizados na elaboração da Resolução nº 574 da Anatel.

Foi incluído neste estudo pelos fatores citados e também por ser desejado ter uma ferramenta para comparação de *throughput* UDP, presente na ferramenta que será discutida a seguir.

Para início do teste, basta abrir o *website* e este começa imediatamente. Existe a possibilidade de o usuário entrar com a sua velocidade contratada, seu CEP e local de acesso (casa, trabalho, outros). O teste demora cerca de 2 minutos e os resultados são apresentados sob a forma gráfica, além de um resumo dos valores no topo da página (**Figura 3.3**). No início do teste, a ferramenta faz uma busca pelo servidor mais próximo. Neste trabalho, os testes foram feitos contra o servidor “PTT (Ponto de Troca de Tráfego) Metro de Porto Alegre”.



Figura 3.3. Interface gráfica do sistema Simet. Fonte: Simet, 2013.

3.3 O Sistema Netmetric

O sistema Netmetric teve origem em 2005, a partir de um convênio firmado entre a empresa Vivo (Vivo, 2013) e o Departamento de Engenharia Elétrica da UFRGS. No ano de 2007, o projeto foi transferido para o Departamento de Engenharia Elétrica da PUCRS, e em 2010 foi integrado ao PRAV-UFRGS (Projetos em Áudio e Vídeo - PRAV, 2013). O Netmetric é uma ferramenta de medição de redes IP que tenta alinhar as vantagens do monitoramento ativo de redes (Seção 2.1) com um controle racional da intrusão de tráfego que ela provoca. Isto foi feito através do desenvolvimento de métodos que calculam as métricas necessárias com uma pequena quantidade de dados, determinada de forma empírica para cada nova tecnologia de rede que será monitorada (Lautenschläger *et al.*, 2009). É uma ferramenta aplicável a terminais de redes IP sobre qualquer meio físico, permitindo que estes estabeleçam medição entre si independentemente da topologia em que estejam dispostos. É utilizado para monitoramento da rede 3G da Vivo desde o ano de 2008. Conta-se atualmente com uma base de dados de cinco anos de medições da rede 3G da Vivo, incluindo-se resultados de diversas métricas e de diferentes lugares do país. A **Figura 3.4** fornece uma visão esquemática de todo o sistema. Conforme a figura, o gerente é o servidor de medições e os agentes Windows, Android e Linux são os terminais que se localizam na rede em que se deseja efetuar uma medição. Mais detalhes de cada um destes componentes encontra-se no Anexo.

O sistema possui dois servidores, um localizado na sede da Telefônica-Vivo na cidade do Rio de Janeiro e outro na cidade de Porto Alegre. O último foi escolhido para os testes deste trabalho, para simular as outras duas ferramentas que utilizam o servidor mais próximo.

O sistema Netmetric foi incluído no trabalho pelo envolvimento direto da autora com este nos últimos três anos. Além disso, sempre existiu uma vontade interna no projeto de realizar uma validação desta ferramenta, comparando-as com outras de grande utilização. Além disto, é uma ferramenta que é conhecida em detalhes, assim existe a possibilidade de relacionar os resultados obtidos com as técnicas de medição utilizadas.

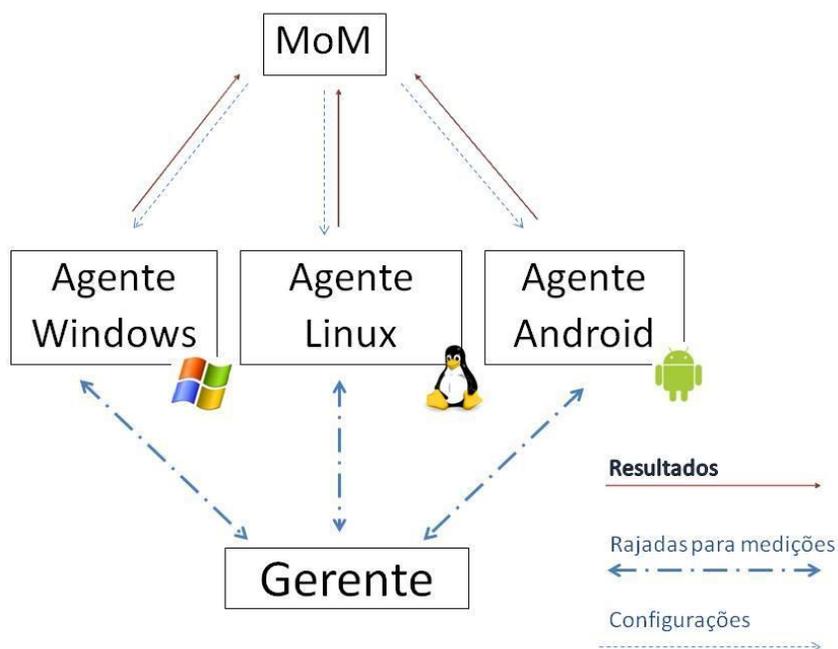


Figura 3.4. Visão esquemática do Netmetric com seus componentes.

O sistema Netmetric tem a capacidade de extração de diversos tipos de métricas. As que chamamos de métricas principais e fazem parte do escopo deste trabalho são as métricas obtidas a partir de métodos de medição ativa de redes, com envolvimento de um servidor e a técnica do trem de pacotes. O trabalho de Lautencläger (2009) descreve em detalhes como o protocolo Netmetric funciona, e está sintetizado a seguir.

A sequência de todos os pacotes usados para uma medição é chamada de rajada (*burst*). Esta rajada é construída de forma específica para a métrica que desejamos extrair. O intervalo entre uma medição e outra é chamado de *polling*. Numa mesma rajada, podemos ter vários grupos de pacotes (chamados de vagões); o intervalo entre estes é denominado *gap*. Cada pacote é denominado sonda e estes estão organizados em trens.

Para uma medição de *throughput* UDP, existem dois perfis. O perfil chamado de “agressivo”, utilizado para redes banda larga, utiliza 5 vagões (um trem), cada um composto por 300 pacotes de 500 bytes. Já o perfil “não agressivo”, para redes 3G, utiliza 10 vagões (um trem), cada um composto por 40 pacotes de 500 bytes. O *gap* entre os vagões é de 2 s e o *polling* é de 5 minutos (**Figura 3.5**). Os valores advindos do primeiro vagão são sempre descartados; a existência dele é para fins de alocação do

canal, evitando que os próximos vagões sofram enfileiramento nos *buffers* dos roteadores. Os outros nove vagões geram resultados, e é feito uma média destes valores ao final.

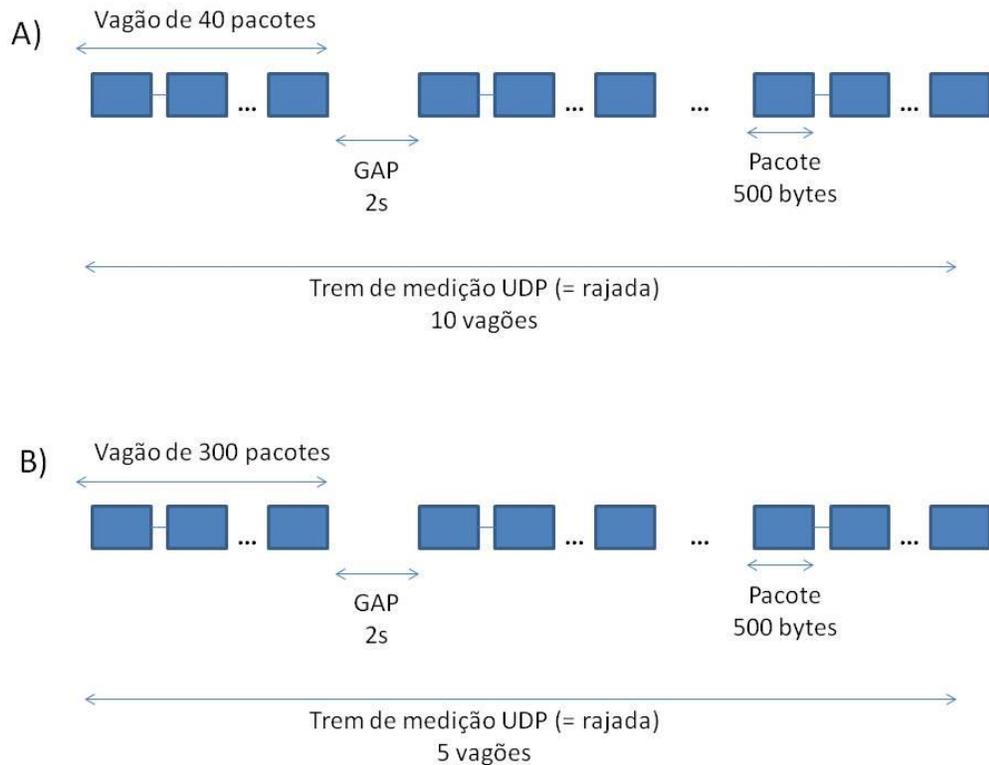


Figura 3.5. Perfis de medição para *throughput* UDP do Netmetric. A) Perfil para redes 3G. B) Perfil para redes banda larga.

No *throughput* TCP, existe uma diferença entre os agentes. Nos agentes Linux e Android, é utilizado um vagão de 14400 pacotes de 1448 bytes em redes banda larga, e, em 3G, um vagão de 3600 pacotes do mesmo tamanho (**Figura 3.6**). Já para o agente Windows (que foi o agente utilizado para os testes deste trabalho) é sempre utilizada uma rajada de 3600 pacotes. O motivo desta diferença é que este agente ainda não havia sido atualizado para suportar redes 4G (LTE) no momento dos testes, ao contrário dos demais.

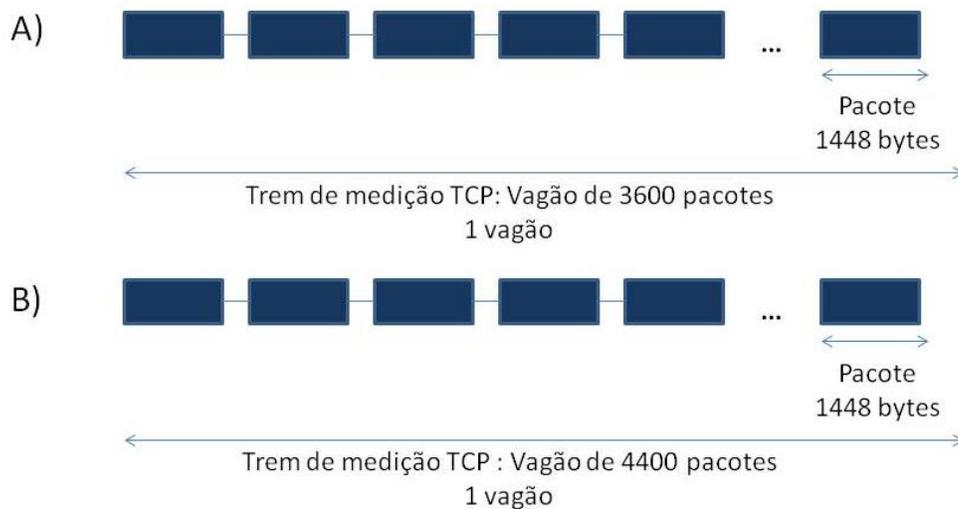


Figura 3.6. Perfis de medição para *throughput* TCP do Netmetric. A) Perfil para redes 3G e todos os agentes Windows. B) Perfil para redes banda larga.

Para o restante das métricas, é utilizado um trem composto de 100 pacotes UDP de 100 bytes, com um *gap* de 100 ms entre estes. A **Figura 3.7** sintetiza o processo de obtenção das métricas principais.

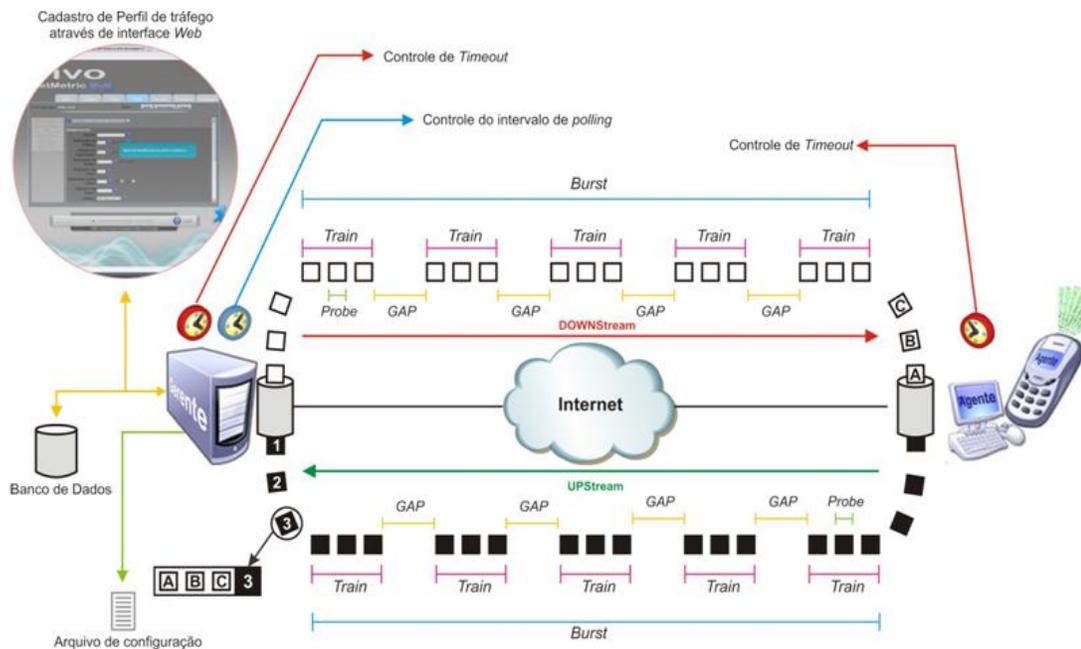


Figura 3.7. Método de extração das métricas principais.

Na **Figura 3.8**, podemos observar a estrutura do cabeçalho de um pacote Netmetric. Além das informações obrigatórias (número de sequência, horário de envio e um identificador de medição (CID)), estes possuem: 1) Número de trens; 2) Tamanho de cada pacote; 3) Tamanho de cada trem; 4) Tamanho de cada *gap*; 5) *Timeout* da medição (tempo máximo do teste) e 6) Alinhamento de estrutura (SA, que são *bytes* utilizados apenas para fechar o tamanho do pacote). Estas informações são necessárias para 1) O agente saber quanto tempo deve esperar pelas rajadas e 2) Para o agente saber quais as características do tráfego que deve enviar ao gerente. A rajada é enviada do gerente ao agente e é respondida simetricamente.

Cada pacote também possui quatro marcações temporais: saída do pacote do gerente, chegada ao agente, saída do agente e a chegada ao gerente. O gerente Netmetric utiliza estes valores para montar duas tabelas (**Tabela 3.2**), uma para a direção de *download* (gerente para agente) e uma para *upload*. Cada uma destas tabelas possui quatro colunas: Número de sequência do pacote, ordem de chegada, hora de saída e hora de chegada do pacote. Cada linha representa uma das sondas da rajada. O Gerente sabe qual o agente à que cada pacote se refere pelo campo CID.

O próximo passo do sistema é o repasse destas tabelas, dos dados do agente e do perfil associado aos chamados *plug-ins* de medição, localizados na mesma máquina do servidor. Estes fazem o cálculo das métricas pelas quais são responsáveis e as armazenam em uma MIB (*Management Information Base*).

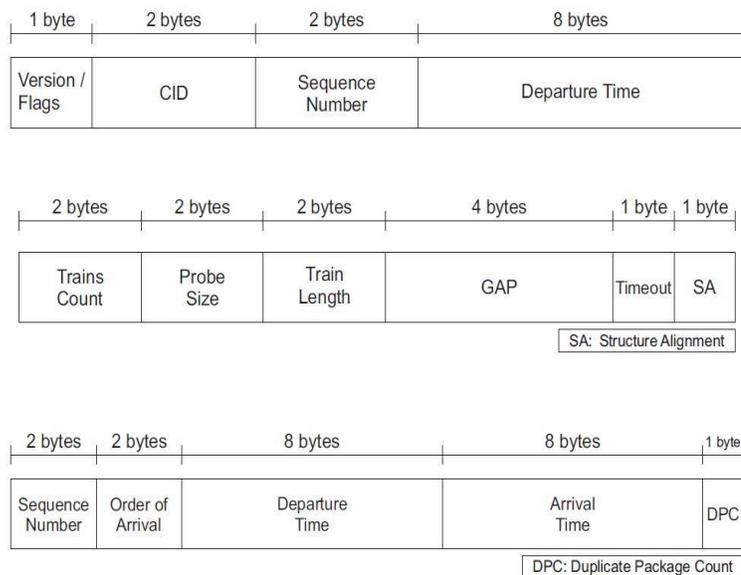


Figura 3.8. Cabeçalho dos pacotes Netmetric.

Tabela 3.2: Tabela montada pelo Gerente após recebimento da rajada de resposta.

	16 bits	16 bits	64 bits	64 bits
1	núm. de sequência	ordem de chegada	hora de saída	hora de chegada
2	núm. de sequência	ordem de chegada	hora de saída	hora de chegada
....	núm. de sequência	ordem de chegada	hora de saída	hora de chegada
n	núm. de sequência	ordem de chegada	hora de saída	hora de chegada

4 Metodologia

4.1 Cálculo da média e desvio padrão

Em todos os testes deste trabalho, a fórmula utilizada para cálculo da média e desvio padrão foram as seguintes (Office Help, 2013). Através do software Action (Action, 2013), foi verificado que os dados obtidos possuem uma distribuição normal.

4.1.1 Média

$$(x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$$

onde

x_i é o valor de cada amostra

n é o número total de amostras

4.1.2 Desvio padrão

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

onde

x é o valor de cada amostra

\bar{x} é a média de cada amostra

n é o número total de amostras

4.2 Avaliação de métricas em redes emuladas

Para estes testes, foi utilizado o programa WANem (WAN *emulator*; Kalitay e Nambiarz, 2011; WANem, 2013) que é um software de código aberto sob Licença Pública Geral versão 2 (GPLv2), desenvolvido pelo *Performance Engineering Research Center* (PERC) (Wanem, 2013). Este programa possui a capacidade de emular redes WAN (*Wide Area Networks*) com características bem definidas. Foi projetado para permitir a desenvolvedores a possibilidade de testar os seus aplicativos e melhor entendê-los em condições diversas de rede. A necessidade deste software é justificada pelos desenvolvedores pelo fato de que a Internet é uma rede muito instável, com situações adversas ocorrendo eventualmente. Por exemplo, pacotes são descartados em filas de roteadores, a conexão é perdida, o programa em teste recebe apenas uma parte da largura de banda, etc. Assim, o WANem permite o controle da capacidade da rede no cliente, ampliando a possibilidade de efetuar experimentos nas aplicações. O funcionamento deste programa é ilustrado na **Figura 4.1**.

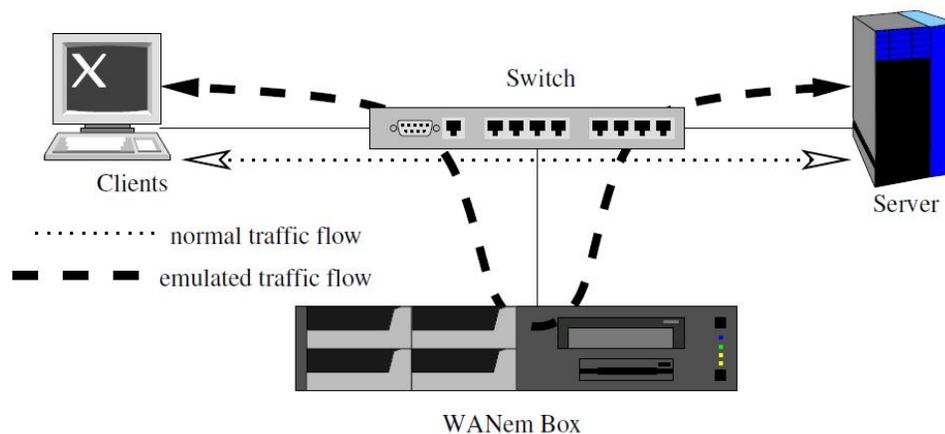


Figura 4.1. Funcionamento do WANem. Fonte: Kalitay e Nambiarz, 2011.

Primeiramente, foi realizada a montagem e configuração de uma estação de teste com este programa. A arquitetura dos testes pode ser vista na **Figura 4.2**. O controle de banda de *download* foi configurado para ocorrer entre o WANem e o computador cliente (10.0.0.1 e 10.0.0.2 na figura). O controle de banda de *upload* foi configurado para ocorrer entre as interfaces da rede externa (143.54.12.159 e o

servidor da aplicação em questão). O WANem efetua o controle de banda através de um sistema de conformação de tráfego do tipo *leaky bucket*, inserindo intervalos entre cada pacote, conforme visto na figura.

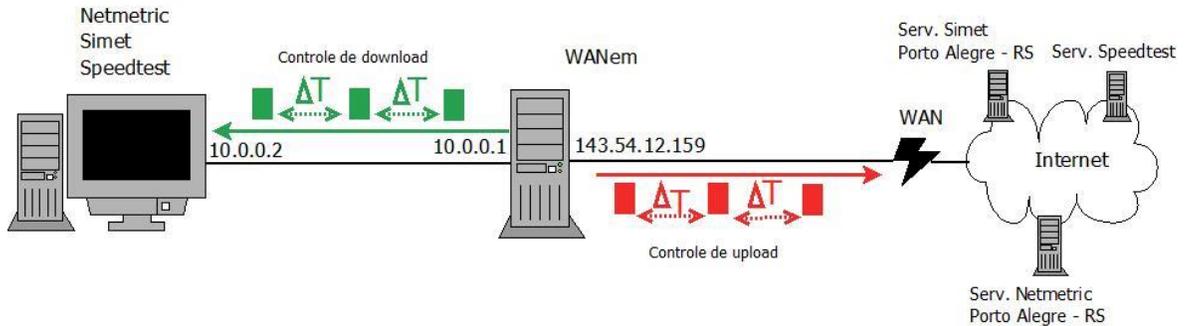


Figura 4.2. Arquitetura dos testes com WANem.

Para validar o ambiente de teste, foram realizados testes na rede local, para estabelecer se esta conferia as condições mínimas necessárias à realização do teste. A rede utilizada foi a rede da UFRGS, e foi utilizada especificamente uma máquina com interface de 1 Gbit/s na sala 220 do prédio 72, conectada no *switch* do Departamento de Informática Aplicada. Os servidores estão limitados a 100 Mbit/s, portanto, não existe expectativa de medir mais do que isso.

Foram feitas 10 repetições do teste com cada ferramenta e foram registrados os valores de atraso e *throughput* TCP. A **Tabela 4.1** exhibe os resultados desse teste. Pode-se observar que os valores de latência medidos pelas três ferramentas tiveram um valor médio de 1 ms. O *throughput download* variou de um mínimo de 33.66 Mbit/s, medido pela ferramenta Simet, até um máximo de 91.99, conforme o Speedtest. Já o *throughput upload* variou entre 8,16 Mbit/s a 88,93 Mbit/s.

Pode-se concluir, através dos resultados dos testes, que essa rede é apropriada para os testes feitos, que não necessitam de banda superior a 10 Mbit/s.

Tabela 4.1: Resultados do experimento controle. Valores mínimos, médios e máximos para cada par de ferramenta/métrica.

Ferramenta	Speedtest			Simet			Netmetric		
	Mín.	Médio	Máx.	Mín.	Médio	Máx.	Mín.	Médio	Máx.
Latência (ms)	0	1,6	3	1	10,1	92	1,61	1,72	1,81
<i>Throughput</i> TCP <i>download</i> (Mbit/s)	87,44	91,23	91,99	36,66	57,16	73,7 4	89,7	90,56	91,6 3
<i>Throughput</i> TCP <i>upload</i> (Mbit/s)	10,23	21,05	26,26	8,16	31,04	41,6 3	37,31	74,19	88,9 3

Para os testes de validação, duas situações foram estabelecidas. A primeira delas, com vistas a simular uma rede 3G, foi configurada para uma largura de banda de 1 Mbit/s de *download*, 400 kbit/s de *upload* e latência de 80 ms, pois estes são valores normalmente medidos em redes 3G monitoradas da Vivo. A segunda situação, simulando uma rede ADSL ou CABLE, foi configurada para 10 Mbit/s de *download*, 1 Mbit/s de *upload* e latência de 30 ms. Com cada configuração e ferramenta, foram realizadas 20 repetições dos testes, totalizando 120 testes. Este número de testes foi selecionado porque com este valor obteve-se um desvio padrão amostral baixo (ver seção de Resultados), o mesmo se aplicando para os testes das seções seguintes.

4.3 Avaliação de métricas em redes reais

Os testes em redes reais foram realizados em dois cenários característicos. O primeiro cenário foi uma rede comercial da empresa NET, com velocidade nominal (contratada) de 10 Mbit/s de *download* e 1 Mbit/s de *upload*. A arquitetura do teste pode ser vista na **Figura 4.3**. Foram realizados 60 testes, 20 com cada ferramenta. A versão do protocolo TCP utilizada foi a NewReno (Allman *et al.*, 1999; Floyd *et al.*, 1999), padrão para o Windows 7.

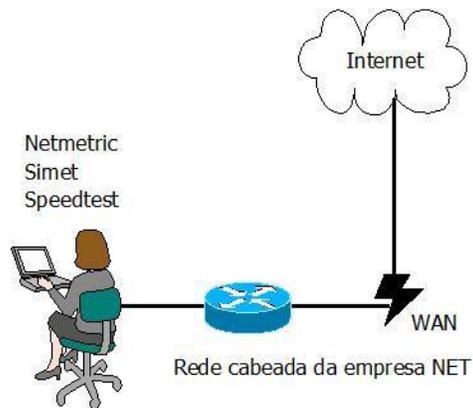


Figura 4.3. Arquitetura do teste em uma rede banda larga fixa.

O outro cenário escolhido foi uma rede de celular da Telefônica-Vivo com tecnologia 3G, com rede nominal de 6 Mbit/s de *download* e 2 Mbit/s de *upload*. O teste foi realizado da forma como está ilustrado na **Figura 4.4**.

A comparação de *throughput* foi realizada entre o Netmetric e as outras ferramentas e de RTT também com a ferramenta Ping (1983).

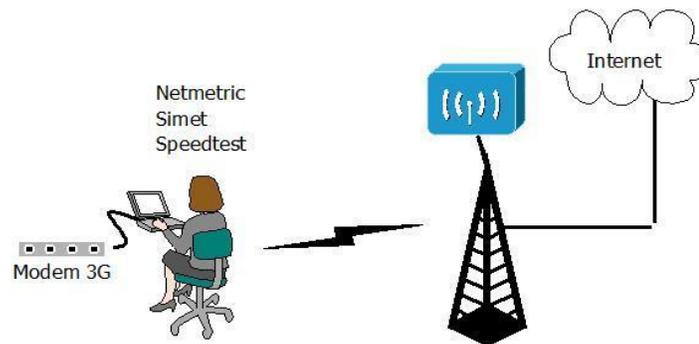


Figura 4.4. Arquitetura do teste em uma rede 3G da Vivo.

4.4 Intrusividade

Os testes de intrusividade foram realizados nas duas redes reais descritas na **seção 4.3**. O total de testes executados foi de 120, 60 em cada tipo de rede (20 com cada ferramenta). Neste teste, a rede foi usada exclusivamente pelo aplicativo de teste. Para medição do tráfego, o programa NetMeter foi utilizado (NetMeter, 2013).

4.5 Tempo de medição

Para avaliar o tempo de medição de cada ferramenta, foram feitos 20 testes com cada uma delas, em cada tipo de rede, totalizando 120 testes. O tempo de execução foi obtido com a ferramenta CoolTimer (CoolTimer, 2013). A precisão de tempo utilizada foi de ms.

5 Resultados dos experimentos

Os resultados estão organizados da seguinte forma. Na seção 5.1, apresentamos os resultados para os testes de intrusividade. A seguir, os testes de tempo de medição na seção 5.2. A seção 5.3 traz os resultados de latência. A seção 5.4 de *throughput* TCP e a 5.5, finalizando o capítulo, traz os resultados para *throughput* UDP.

5.1 Intrusividade

Neste experimento, foram realizadas medições de rede com as três ferramentas em análise: Speedtest, Simet e Netmetric, e o volume de dados em trânsito durante cada medição foi observado. O gráfico da **Figura 5.1** aponta o tráfego utilizado pelas três ferramentas em uma rede banda larga. Observamos que o Netmetric é a ferramenta que menos tráfego utiliza, mesmo sendo a ferramenta que mais testes de rede realiza, conforme a **Tabela 3.2**. Isto acontece porque, desde o princípio do desenvolvimento desta ferramenta, procurou-se utilizar nos testes o mínimo de tráfego necessário para realizar medições corretas (Lautenschläger, com. pessoal). Diferentes configurações foram testadas ao longo dos anos de desenvolvimento desta ferramenta, variando-se o número de trens, de pacotes e o tamanho dos pacotes. Os valores utilizados atualmente foram apresentados nas **Figuras 3.11** e **3.12**. Empiricamente, este é um volume de dados cuja transferência é capaz de durar o tempo necessário para que a conexão TCP atinja sua velocidade máxima após a etapa de *slow start*. Esta observação é válida para redes com as características de latência e banda de redes 3G (alta latência, banda baixa), de redes de banda larga fixa de até 10 Mbit/s, e de redes locais de alta velocidade (100 Mbit/s) com latência em uma faixa média de μ s. Para novas tecnologias, como a LTE, que possui velocidades na casa de 40 Mbit/s, porém latências compatíveis com banda larga, este perfil não é suficiente. Um perfil com 14400 pacotes de 1448 *bytes* está em fase de validação para este tipo de rede.

O Simet utilizou cerca de 34 MB para realizar suas 7 medições. Foi feita uma observação do funcionamento deste com o programa Wireshark. Na **Figura 5.2** observam-se dois grandes fluxos no teste, responsáveis por quase todo o tráfego injetado. Primeiramente são feitos os testes de RTT e Jitter, onde muito pouco tráfego é utilizado. Após, temos um fluxo TCP contínuo (em preto) e um UDP (em vermelho). Através da ferramenta *Protocol Hierarchy* do Wireshark, aplicado sobre esta captura, observa-se um valor de cerca de 18 MB usados no teste TCP e 17.4 MB no teste UDP, valores correspondentes aos encontrados com o programa NetMeter (**Figura 5.3**). O tráfego total utilizado sofre certa variação entre cada repetição, pois o teste do Simet é controlado por tempo e o *throughput* sofre variações.

A ferramenta Speedtest teve uma média de 12 MB de tráfego por medição, valor próximo ao Netmetric. Porém, apenas três testes são realizados, justificando a necessidade de um menor número de pacotes. O teste de RTT utiliza arquivos texto de tamanho desprezível; já o teste de *throughput* é feito com a técnica de *download* de arquivos, descrita no Item 2.3.3, como é indicado no próprio *website* (Speedtest, 2013). Inicialmente é feito o *download* de pequenos arquivos binários e a taxa de *download* é medida, para estimar a velocidade aproximada da conexão. Com base nesse resultado, é decidido o tamanho do arquivo a ser usado para o teste real. Para o teste de *throughput upload*, é utilizado um sistema semelhante. O método POST é utilizado para enviar os dados, gerados no computador do usuário, para o servidor. Observou-se este teste também através do Wireshark, e um total de 11.59 MB foi utilizado para o teste, confirmando novamente o resultado do NetMeter. Diferentemente do programa Simet, observou-se GETs HTTP na captura, o que confirma o método de medição utilizado, através de *download/upload* de arquivos. De forma semelhante ao Simet, o tráfego sofre variações. Isso ocorre porque no início do teste a ferramenta avalia de forma rápida o *throughput* e assim decide um tamanho de arquivo adequado com a característica atual da rede.

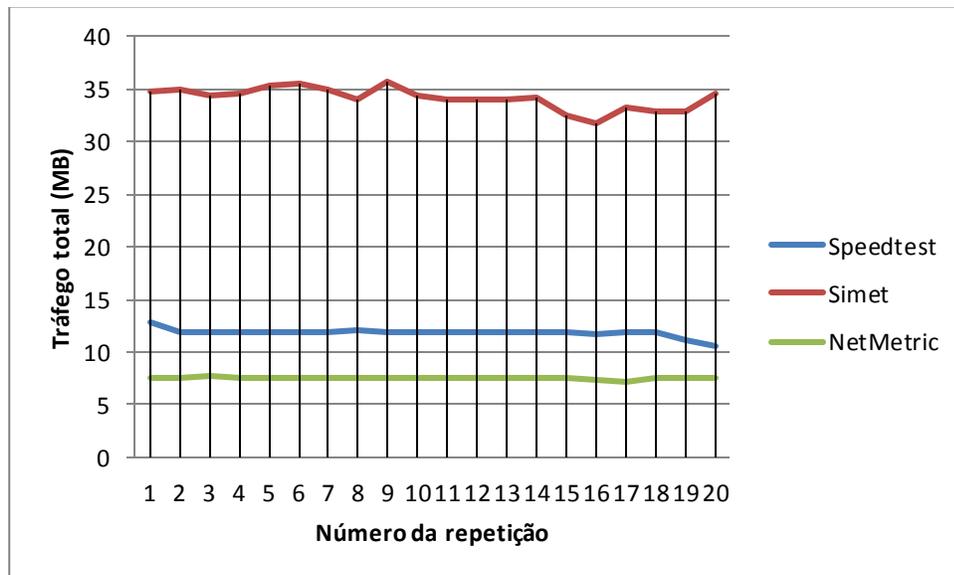


Figura 5.1. Comparação do tráfego utilizado pelas três ferramentas em uma rede real banda larga.

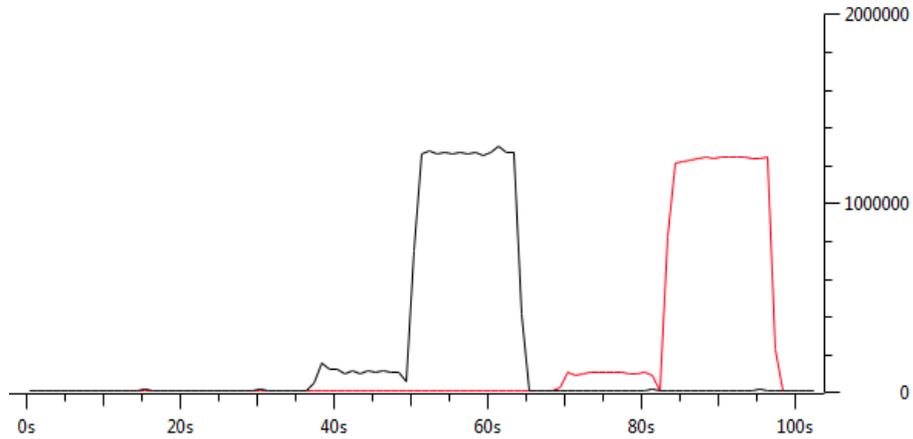


Figura 5.2. Captura de tela do programa Wireshark. Fluxos de medição de um teste do Simet. Em preto o fluxo TCP e em vermelho o fluxo UDP. Tempo x bytes/s.

Wireshark: Protocol Hierarchy Statistics

Display filter: none

Protocol	% Packets	Packets	% Bytes	Bytes
Frame	100,00 %	35559	100,00 %	37259804
Ethernet	100,00 %	35559	100,00 %	37259804
Internet Protocol Version 4	100,00 %	35559	100,00 %	37259804
User Datagram Protocol	43,65 %	15520	48,96 %	18243954
Data	43,64 %	15517	48,96 %	18243678
NetBIOS Name Service	0,01 %	3	0,00 %	276
Transmission Control Protocol	56,35 %	20039	51,04 %	19015850
Data	34,82 %	12382	49,85 %	18574250

Figura 5.3. Captura de tela do programa Wireshark. Dados transmitidos por tipo de protocolo para um teste do Simet em rede banda larga.

A seguir temos o resultado do teste de intrusividade para redes 3G. Esperava-se que os programas pudessem identificar o tipo de rede que estavam medindo e adaptar-se às características dela, ou seja, utilizar menos tráfego. Esta suposição se mostrou verdadeira para os três programas. Na **Figura 5.4** e na **Tabela 5.1** podemos observar este fato.

O Netmetric foi construído de forma a reagir a uma rede lenta. Conforme a seção 3.3.8, existe dois perfis de medição de *throughput* UDP. Para uma rede 3G, um perfil chamado de “não agressivo” é utilizado, em que a rajada é composta por 10 vagões de 40 pacotes de 500 bytes, totalizando 200 KB, o que é apenas 26% do tráfego injetado quando se mede uma rede banda larga. Para o *throughput* TCP a mesma estratégia de utilização de um número menor de pacotes é válida. Neste teste 3G, 61% do tráfego

utilizado em redes banda larga foi utilizado (**Tabela 5.1**). A ferramenta Simet utilizou menos da metade do tráfego usado para redes banda larga. A média para 3G ficou em 11,88 MB e para banda larga 34,15 MB. Como será abordado no próximo item, o Simet utiliza sempre cerca de 110 s para sua medição, e usa o tráfego que for possível para esse tempo, dada a velocidade atual da rede. Assim, era esperado que a intrusividade dele fosse menor em redes 3G.

Para o Speedtest, é válido um raciocínio semelhante. No início do teste, quando a ferramenta avalia qual arquivo poderia ser baixado em 10 s, ela conclui que deve usar um arquivo menor ao perceber que a largura de banda disponível é baixa. Este programa foi o que menos injetou tráfego na rede 3G: Apenas 3,02 MB.

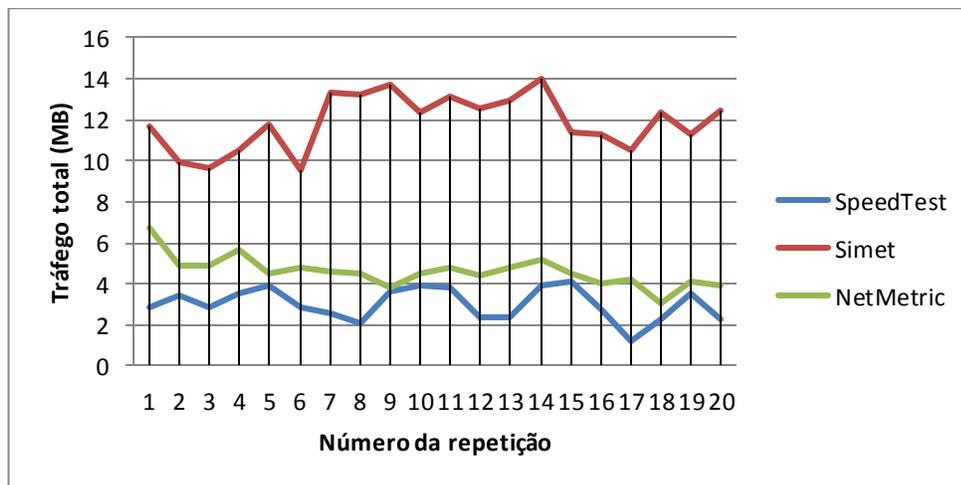


Figura 5.4. Comparação do tráfego utilizado pelas três ferramentas em uma rede real 3G.

Tabela 5.1: Média do tráfego utilizado pelas três ferramentas, em rede banda larga e 3G. A linha “% 3G” indica qual a razão entre o tráfego utilizado em 3G pelo tráfego utilizado em banda larga fixa.

Tráfego (Média)	Speedtest	Simet	Netmetric
Banda larga (MB)	11,81	34,15	7,51
3G (MB)	3,02	11,88	4,60
% 3G	25,59	34,77	61,21

5.2 Tempo de medição

Os resultados obtidos neste teste em uma rede banda larga podem ser vistos na **Figura 5.5**, para os 20 experimentos realizados. Na **Tabela 5.2**, observamos a média e desvio padrão para cada ferramenta. Observamos que a ferramenta Speedtest é muito mais rápida que as outras duas, efetuando seus testes em apenas 30 s, em média. Porém, apenas testes de latência e *throughput* TCP são realizados. Assim, se o usuário desejar testar rapidamente a qualidade da sua rede, esta seria uma boa opção. É informado que a ferramenta faz alguns testes rápidos, no início do processo, para decidir um tamanho de arquivo máximo que poderia ser baixado em 10 s (Speedtest, 2013). Este intervalo foi escolhido pelos autores da ferramenta propositalmente para, ao mesmo tempo, ser suficiente para um resultado correto e não demorar demasiado. É claro que, dependendo das condições da rede, este tempo pode ser maior. Outro fator que colabora para a rapidez é que o *software* usa até quatro *threads* em redes com velocidade acima de 4 Mbit/s (Speedtest, 2013).

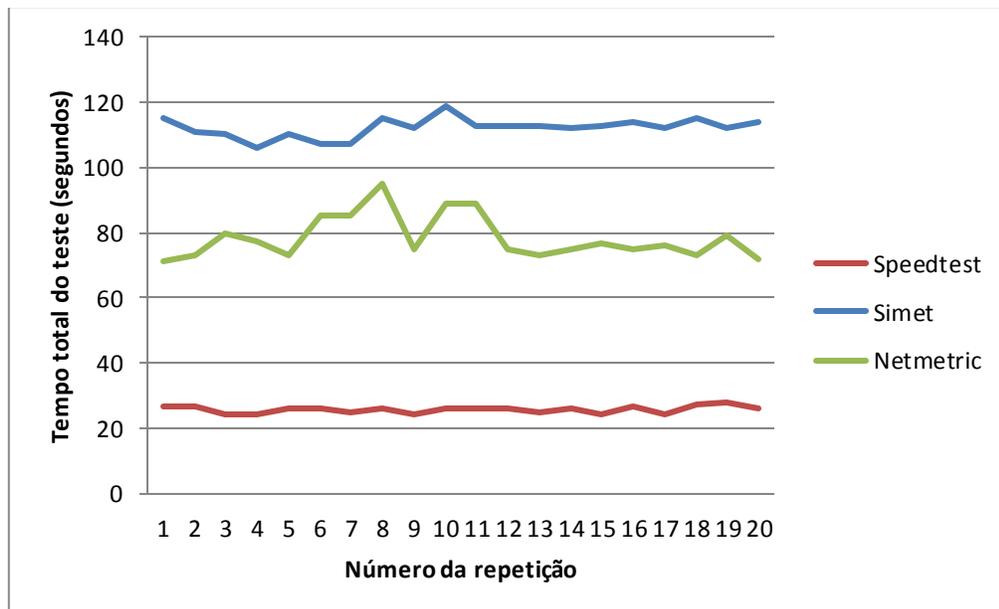


Figura 5.5. Tempos medidos, em segundos, para cada um dos 20 experimentos realizados em uma rede real banda larga.

Tabela 5.2: Resultados do teste de velocidade: Média de tempo em segundos, desvio padrão, número de métricas e relação tempo/número de métricas para as três ferramentas comparadas em uma rede real banda larga.

	Simet	Speedtest	Netmetric
Média (s)	113,20	25,75	78,39
Desvio padrão	5,96	1,21	6,73
Núm. de métricas	7	3	11
Tempo/num. métricas (s)	16,17	8,58	7,13

O Netmetric foi a segunda ferramenta mais rápida, demorando 78 s para efetuar um teste completo (**Tabela 5.2**). Salienta-se que o Netmetric realiza quatro testes a mais (**Tabela 5.2**), de pacotes fora de ordem e perda de dados, ambos nos sentidos de *download* e *upload*, o que também consome tempo. Por isso, não é coerente comparar o tempo total das ferramentas de forma direta. Assim, derivamos uma relação de tempo total por número de métricas. Desta forma, o Netmetric seria a ferramenta mais rápida, pois realiza cada teste em média de 7.1 s. Os valores para os outros programas foram de 8.5 e 16.1 s, para o Speedtest e Simet, respectivamente (**Tabela 5.2**). Uma característica importante do NetMetric é o escalonador, implementado no gerente. Ele permite a transmissão e a recepção de pacotes de outras medições durante o período que a interface de rede do gerente fica ociosa, ou seja, durante os *gaps* de tempo dos trens de pacotes (para medições UDP). Isto permite que um grande número de medições seja realizado em paralelo. Além disso, a ferramenta possui um controle de interrupção do teste por *timeout* configurável, com valores de 6, 12 e 15 s para medições de RTT, *throughput* TCP e UDP, respectivamente. Se for transcorrido o valor configurado de *timeout* sem que o gerente tenha recebidos todos os pacotes de volta do agente, ele encerra a medição e realiza os cálculos com os dados que possui.

O Simet foi a ferramenta mais lenta dentre as três analisadas. Através da observação de diversas medições no Wireshark, foi verificado que a medição do Simet é controlada por tempo, tendo, portanto, uma duração semelhante para todos os testes. Como veremos abaixo, em redes 3G o intervalo de medição foi um pouco maior (média de 136 s, contra 113 s em banda larga fixa). Observou-se que esse tempo a mais é devido a uma maior demora no carregamento dos elementos gráficos do *site*.

Ao medirmos a velocidade dos programas em uma rede 3G, observamos que a ordem de velocidade do teste manteve-se igual ao teste anterior, com o Simet sendo a ferramenta mais lenta e o Speedtest a mais rápida (**Figura 5.6**). Novamente, devemos

considerar que as ferramentas possuem número diferente de testes, sendo o Netmetric o sistema que menos tempo leva para executar um teste (8 s, **Tabela 5.3**).

O tempo de medição das três ferramentas aumentou na rede 3G. Para a ferramenta Speedtest, por exemplo, o tempo dobrou de 25 para 50 s. O mesmo é válido para o Simet, com aumento de tempo de 17% (24 s), e para o Netmetric, que demorou 10% a mais do que em uma rede banda larga fixa (**Tabela 5.4**). Tal fato era esperado, visto que na documentação oficial é mencionado que o teste de *throughput* calcula um tamanho de arquivo que poderia ser baixado em 10 s e a rede 3G é muito variável em todos os seus aspectos. Este fato será demonstrado nas seções seguintes para as métricas de latência e *throughput*.

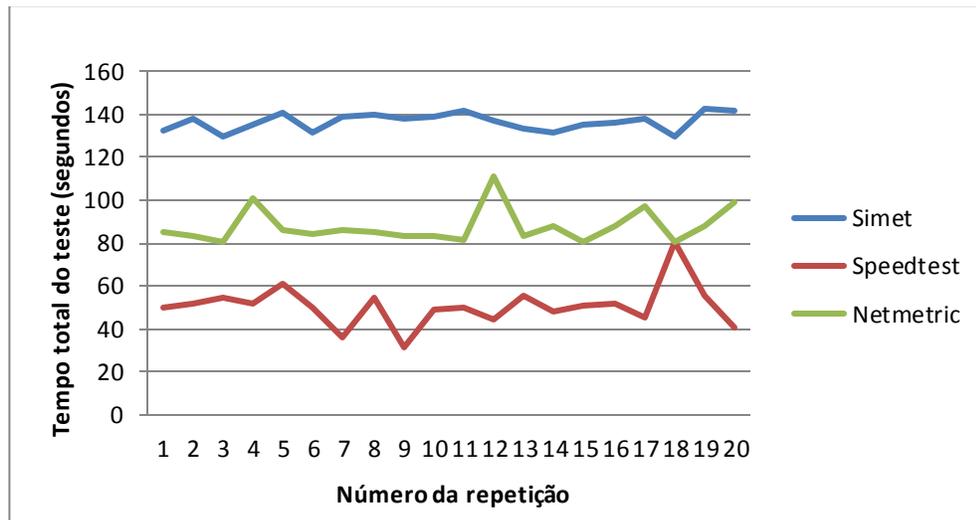


Figura 5.6. Tempos medidos, em segundos, para cada um dos 20 experimentos realizados em uma rede real 3G.

Tabela 5.3: Resultados do teste de velocidade: Média de tempo em segundos, desvio padrão, número de métricas e relação tempo/número de métricas para as três ferramentas comparadas em uma rede real 3G.

	Simet	Speedtest	Netmetric
Média	136,64	50,55	87,59
Desvio padrão	4,08	9,85	8,20
Núm. de métricas	7	3	11
Tempo/num. métricas	19,52	16,85	7,96

Tabela 5.4: Resultados do teste de velocidade para as três ferramentas, comparando-se redes banda larga com redes 3G.

Tempo (s)	Speedtest	Simet	Netmetric
Banda larga	25,75	112,20	78,38
3G	50,55	136,64	87,59
% Aumento	49,06	17,89	10,52

5.3 Avaliação de latência

Abaixo apresentamos os resultados de latência para os quatro ambientes testados. As **Figuras 5.7 e 5.8** mostram os resultados para redes emuladas com o ambiente WANem, conforme descrito na seção 5.4. Todas as ferramentas foram capazes de medir o RTT configurado de 80 ms para simulação de redes 3G e de 30 ms para redes banda larga. Alguns valores bastante acima do configurado foram observados. Para rede 3G, ocorreram uma vez com o uso do Simet (353 ms) e uma vez com o Netmetric (412 ms). Excluindo-se os valores anormais citados, obtemos que os RTTs obtidos não variam mais do que 7% do valor configurado. O Netmetric foi a ferramenta que menos diferença apresentou com o esperado, apenas 1,8%. Na **Tabela 5.5** pode-se ver a média, o desvio padrão e a diferença percentual com relação ao esperado para as três ferramentas.

Os resultados do teste para rede banda larga são apresentados na **Figura 5.8**. Observou-se uma única medição anormal de 514 ms com o Simet, porém no restante dos testes o valor permaneceu em torno de 30 ms para todas as ferramentas, conforme foi configurado.

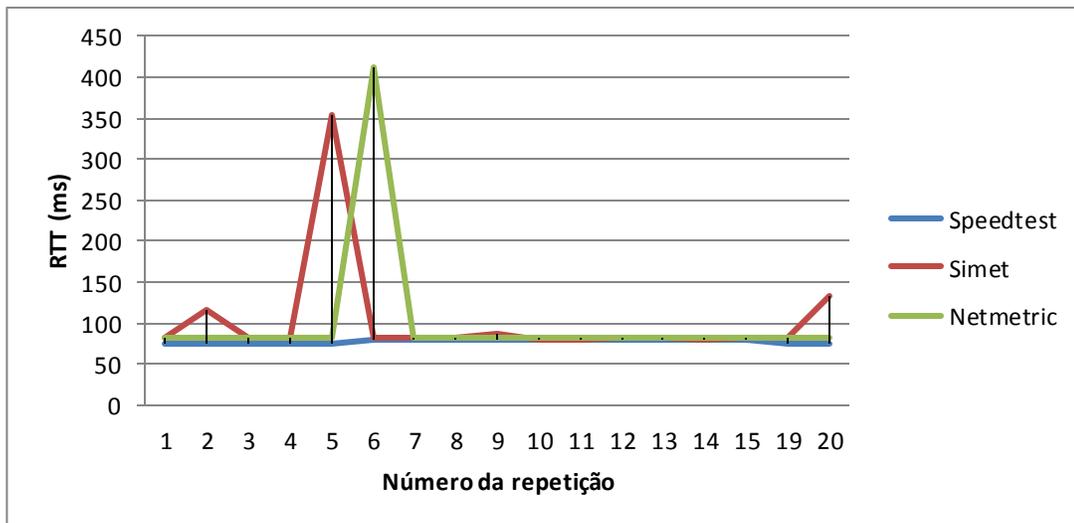


Figura 5.7. Resultados do teste de latência para uma rede 3G emulada.

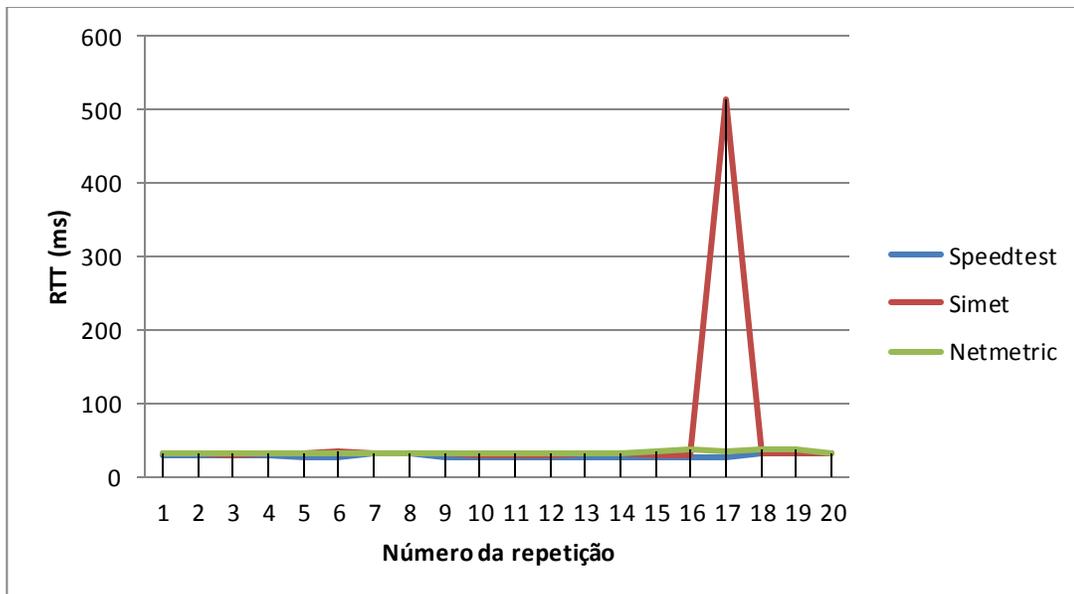


Figura 5.8. Resultados do teste de latência para uma rede banda larga fixa emulada.

Os valores acima do configurado não eram esperados, visto que a rede é emulada e não deveria apresentar flutuações. Fernandes *et al.* (2013) avaliaram uma rede WANem em função de diversas métricas. A latência testada foi de 50, 100 e 200 ms. O RTT foi medido com Ping e os valores configurados foram obtidos com exatidão. Também o trabalho de Benigni e Monti (2011) testou a exatidão da latência configurada no WANem. Os autores configuraram a latência para 500 ms, com jitter

(variação da latência) zero. Com 1000 testes, obtiveram alguns valores diferentes de 500 ms, mas o desvio padrão ficou em apenas 1 ms.

Com o objetivo de determinar se os valores fora do configurado haviam sido causados por erros nas ferramentas testadas ou se são uma característica de redes WANem, ocorrendo eventualmente, realizou-se aproximadamente 5000 testes com a ferramenta Ping. Esta ferramenta foi utilizada porque possui a opção de medição contínua, facilitando a obtenção de um tamanho amostral grande. O valor neste teste foi configurado em 80 ms. Nestes testes, obteve-se 180 testes (3.6%) com valores acima de 100 ms. A média de todos os testes foi de 95 ms e o valor máximo obtido foi de 2361 ms. Assim, conclui-se que a ocorrência de valores fora do configurado ocorre com certa frequência no ambiente WANem e independe da ferramenta utilizada na medição.

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos após testes em uma rede 3G real da Telefônica-Vivo. O programa Ping foi utilizado como referência, conforme a seção **5.1.4**, a fim de obter-se um valor confiável contra o qual comparar as ferramentas em teste. A **Figura 5.9** apresenta os valores de RTT obtidos para as quatro ferramentas comparadas. O Ping apresentou a maior média, seguido pelo Netmetric. O Simet foi a ferramenta de medição mais constante (baixo desvio padrão amostral, conforme a **Tabela 5.5**). Provavelmente isto ocorreu devido a um período em que a rede 3G não sofreu variações. Os testes para rede real banda larga podem ser vistos na **Figura 5.10**. A média obtida com o Netmetric, de 67 ms, foi a mais alta observada, e foi mais semelhante ao programa Ping do que às outras três aplicações (mas ainda 78% maior). A variação é maior em redes 3G do que em redes banda larga fixa.

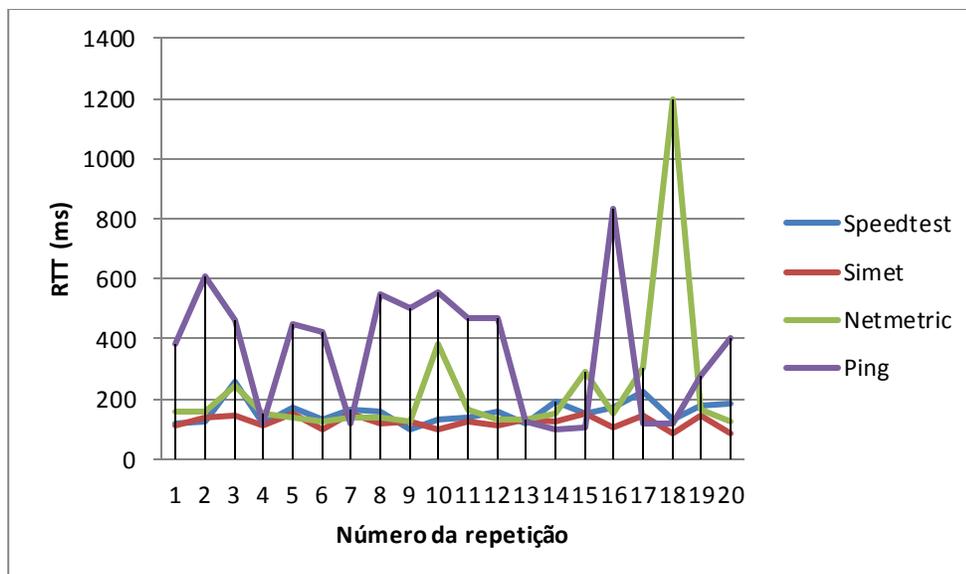


Figura 5.9. Resultados do teste de latência para uma 3G real.

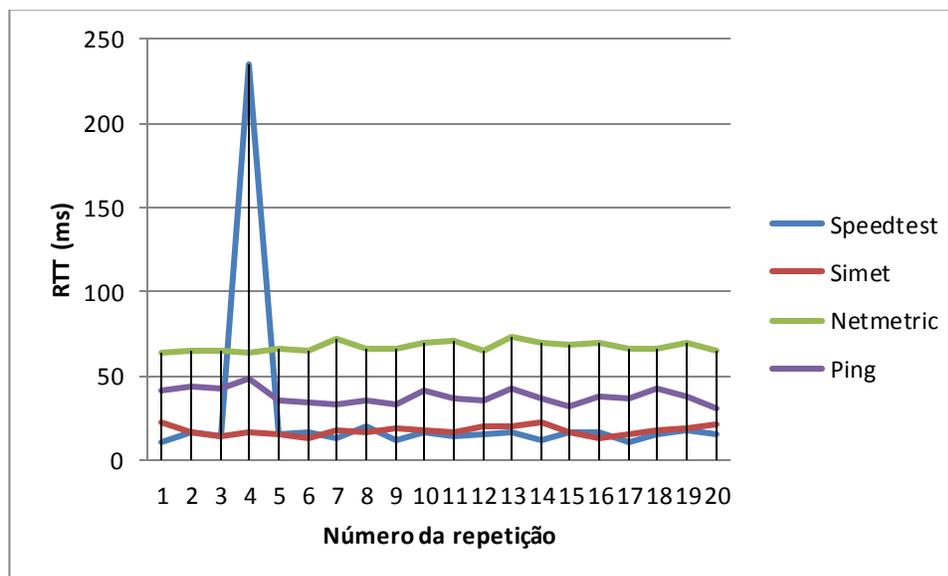


Figura 5.10. Resultados do teste de latência para uma rede banda larga fixa real.

A primeira característica que se destaca nos gráficos é a grande variação de latência nas redes 3G, uma característica bem conhecida destas (Chan e Ranjee, 2005; Tan *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2010), e era um resultado já esperado. No trabalho de Huang e colaboradores (2010), por exemplo, os autores precisavam simular uma rede 3G em uma rede sem fio, e para isso introduziram uma variação de latência e de perda de pacotes no servidor.

A latência total de uma rede é resultado da soma de diferentes componentes que causam atraso nas redes, que são os seguintes: Tempo de processamento nodal, sofrido dentro dos roteadores, durante o qual o pacote sofre checagem de erros e seu canal de saída é decidido; tempo nas filas de saída dos roteadores; tempo de transmissão (dado pelo tamanho do pacote dividido pela largura de banda do canal) e tempo de propagação no canal, uma fração entre o comprimento total do canal e a sua velocidade.

Logo, temos diversos fatores conhecidos que podem afetar a latência e que causam a sua variação em um intervalo de tempo. Por exemplo, a largura de banda do canal: Tan e colaboradores (2008) realizaram experimentos em três redes 3G comerciais de Hong Kong e observaram que as métricas de RTT e *throughput* variam juntas, com os valores de RTT sendo inversamente proporcionais aos valores de *throughput*. Ainda, observaram variações de ambos dentro da mesma rede, considerando um período de 1 s de análise. Observaram que um pacote Ping demorava apenas 9 ms para atravessar uma rede 3G. Logo, a latência fim-a-fim de redes 3G seria causada majoritariamente por atraso de processamento e enfileiramento, que juntos somam no mínimo 100 ms.

De acordo com Martin (2000), o RTT é afetado por fatores como *network loading* (atrasos em nós intermediários do caminho), *loading* no receptor e banda disponível. Pathak e colaboradores (2008) observaram que mudanças de rota provocam valores diferentes de RTT e OWD. Sobre redes 3G especificamente, Huang e colaboradores (2010) apontam o atraso de enfileiramento em estações base e outros nós internos do caminho como o motivo da latência ser grande neste tipo de rede. Outro fator de aumento do RTT seria a retransmissão de pacotes perdidos. Ainda, os mesmos autores observaram uma variação nos valores de latência ao longo do dia para algumas operadoras, variando de 300 ms à noite a 700 ms em horários de pico.

O RTT é medido de maneira diferente pelas ferramentas testadas. O Netmetric utiliza uma rajada de 100 pacotes de 100 bytes, espaçados 100 ms entre si. O pacote possui uma marcação temporal do horário em que saiu do gerente. Ao receber o pacote simétrico de cada um dos 100 pacotes, o programa utiliza as marcações temporais (**Figura 3.13**) para calcular qual foi o intervalo de tempo de ida e volta do pacote.

A medição de RTT do Speedtest foi investigada com o auxílio do programa Wireshark (Wireshark, 2013). Foi observado que o *software* realiza o *download* de oito arquivos contendo *timestamps*. Na **Figura 5.11** é possível observar um GET HTTP para o arquivo “latency.txt”, enviado pelo servidor da ferramenta com o horário atual. Através destas observações, é possível supor que a ferramenta calcule o RTT oito vezes

e utilize a média destes valores como resultado final. Logo, o tamanho amostral seria 12 vezes menor do que no Netmetric.

O método de medição de latência do Simet não pôde ser concluído através de estudos com o Wireshark, e não existem informações técnicas sobre esta ferramenta na literatura.

```

Frame 38: 460 bytes on wire (3680 bits), 460 bytes captured (3680 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: AsustekC_a8:9b:9b (00:26:18:a8:9b:9b), Dst: Cisco_9f:fe:c3 (00:21:a0:9f:fe:c3)
Internet Protocol Version 4, Src: 143.54.12.124 (143.54.12.124), Dst: 187.60.96.10 (187.60.96.10)
Transmission Control Protocol, Src Port: 53051 (53051), Dst Port: http (80), Seq: 1, Ack: 1, Len: 406
Hypertext Transfer Protocol
  GET /speedtest/latency.txt?x=1378228537083 HTTP/1.1\r\n
  [Expert Info (Chat/Sequence): GET /speedtest/latency.txt?x=1378228537083 HTTP/1.1\r\n]
    Request Method: GET
    Request URI: /speedtest/latency.txt?x=1378228537083
    Request Version: HTTP/1.1
    Host: 187.60.96.10\r\n
    User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1; WOW64; rv:23.0) Gecko/20100101 Firefox/23.0\r\n
    Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8\r\n
    Accept-Language: pt-BR,pt;q=0.8,en-US;q=0.5,en;q=0.3\r\n
    Accept-Encoding: gzip, deflate\r\n
    Referer: http://c.speedtest.net/flash/speedtest.swf?v=338958\r\n
    Connection: keep-alive\r\n
    \r\n
    [Full request URI: http://187.60.96.10/speedtest/latency.txt?x=1378228537083]
  
```

Figura 5.11. Captura de tela do programa Wireshark, mostrando um GET HTTP utilizado para cálculo de latência.

Tabela 5.5: Resultados de latência para todos os ambientes testados. O valor esperado para redes emuladas é o que foi configurado no WANem. Para redes reais, é o valor da ferramenta Ping.

	Esperado (ms)	Média obtida (ms)	Desvio padrão	Diferença do esperado (%)
WANem 3G				
Speedtest	80	77,7	2,51	2,8
Simet	80	99,1	61,3	28,8
Netmetric	80	98,03	73,91	22,5
WANem banda larga				
Speedtest	30	27,6	3,06	-8
Simet	30	55	108,04	83,3
Netmetric	30	32,7	1,77	9,01
Real 3G				
Speedtest	359,75	156,4	38,13	-56,52
Simet	359,75	123,95	21,55	-65,54
Netmetric	359,75	229,36	239,18	-36,24
Ping	X	359,75	211,81	X

Real banda larga				
Speedtest	37,55	25,75	49,3	-31,42
Simet	37,55	17,2	2,7	-54,19
Netmetric	37,55	67,17	2,82	78,89
Ping	X	37,55	4,52	X

5.4 Avaliação de *throughput* TCP

Apresentamos nesta seção os resultados para a métrica *throughput*, uma das mais importantes na análise da qualidade de redes. Os resultados a seguir são válidos para o protocolo TCP, um dos mais utilizados atualmente no mundo quando o objetivo é a entrega de dados com confiabilidade. Primeiramente observaremos os dados para redes emuladas, e após, para redes reais.

Na **Figura 5.12**, temos os resultados para *throughput* para uma rede 3G emulada. Observamos que as ferramentas Speedtest e Netmetric mediram adequadamente 1 Mbit/s de *download*, mas a ferramenta Simet apresentou muitas variações de valores e poucas vezes se aproximou do valor correto (média 16% menor do que o configurado). Para o teste de *throughput* TCP *upload*, o Netmetric foi a melhor das ferramentas testadas, pois mediu muito próximo ao valor configurado de 400 Kbit/s. As outras duas ferramentas apresentaram variações e valores abaixo do configurado.

A **Figura 5.13** apresenta os resultados para rede banda larga emulada, com valores configurados de 10 Mbit/s de *download* e 1 Mbit/s de *upload*. Para *download*, nenhuma ferramenta mediu 10 Mbit/s com exatidão. O Speedtest fez as melhores medições, ficando 3,8% abaixo do esperado. O Simet apresentou valores bem abaixo do esperado, em torno de 5 Mbit/s, a metade do valor configurado. Já no *throughput* TCP *upload*, o Netmetric foi a ferramenta com melhor desempenho, medindo muito próximo ao valor de 1 Mbit/s configurado; o Simet apresentou os piores resultados, com diferença de 22% do esperado.

A técnica do trem de pacotes, presente na ferramenta Netmetric, se mostrou eficaz nestas medições em redes emuladas. Seu desempenho foi mais próximo ao esperado em redes 3G para *download*, mas igualmente eficaz nas duas redes para *upload*. O Speedtest, com a técnica de *download* de arquivos, foi eficaz principalmente para *download*. Estes testes em rede emulada têm como objetivo mostrar o desempenho destas ferramentas de teste em uma rede com valores pré-configurados,

onde teoricamente não há influência de canais com excesso de tráfego, ou roteadores com filas muito grandes causando descarte de pacotes. Assim, observamos de forma pura o desempenho das ferramentas de medição.

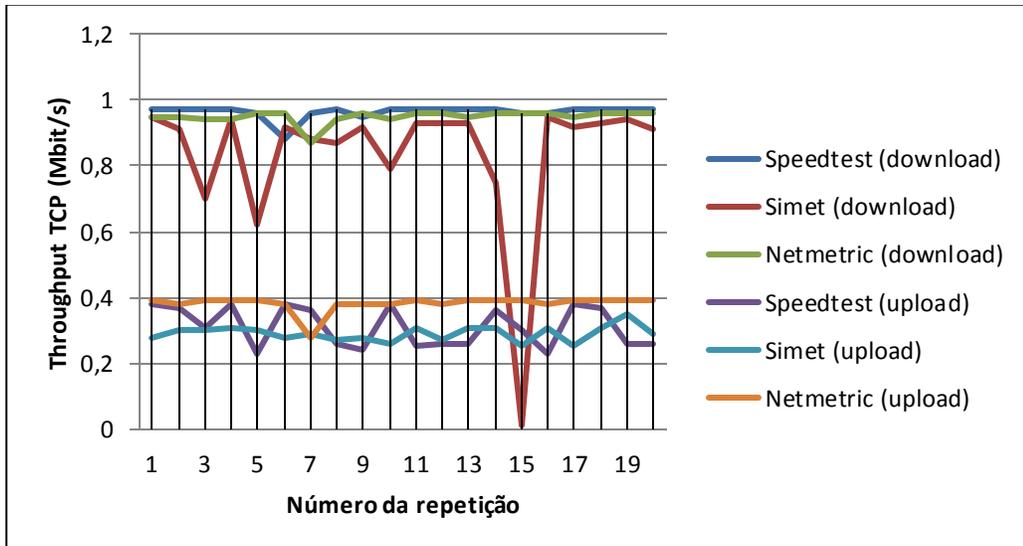


Figura 5.12. Resultados do teste de *throughput* TCP para uma rede 3G emulada.

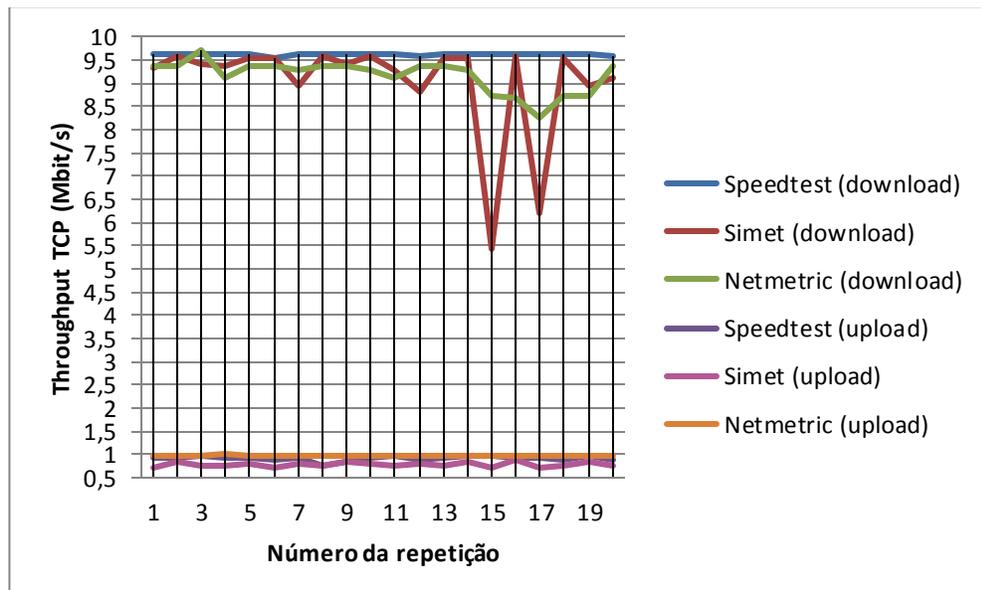


Figura 5.13. Resultados do teste de *throughput* TCP para uma rede banda larga fixa emulada.

Abaixo veremos os resultados para *throughput* em redes reais. O protocolo TCP tem como principal característica garantir a entrega confiável dos dados. Devido a isso, ele possui diversos mecanismos que foram desenvolvidos para atingir esse objetivo. Um deles é o controle direto sobre a vazão de dados, diminuindo ou aumentando a janela de transmissão conforme a percepção da rede. A janela aumenta caso nenhum problema seja detectado, e diminui caso se detecte perda de pacotes ou atraso. Devemos considerar esses aspectos ao analisar os resultados em redes reais.

A **Figura 5.14** apresenta os resultados para rede real 3G. O chip utilizado para as medições possui um plano com velocidade de 6 Mbit/s de *download* e 2 Mbit/s de *upload*. Nenhum aplicativo mediu acima de 2.7 Mbit/s, mostrando que a rede da empresa não atingiu a velocidade contratada no momento dos testes. A região onde os testes foram feitos faz parte da região de cobertura de 3G da operadora (**Figura 5.15**). Para *upload*, o maior valor foi 0,36 Mbit/s.

A variação observada é maior do que nas redes 3G emuladas, principalmente para o sentido de *download*, condizente com o esperado para uma rede móvel real, onde estão presentes diversos fatores que alteram o *throughput*. Um destes é o RTT, discutido anteriormente no item 6.3. Leung e colaboradores (2004) estudaram métodos para aumentar o *throughput* em redes sem fio com latência muito variável. Os autores explicam que os atrasos nos pacotes são percebidos pelo TCP, que age diminuindo a sua janela de transmissão. Muitas vezes um pacote é interpretado como perdido, mas está apenas atrasado, de forma que o *throughput* é diminuído desnecessariamente. Huang e colaboradores (2010) afirmam que o fator que mais influencia o *throughput* é o RTT, composto principalmente do atraso devido às filas.

Outro aspecto característico de redes 3G que devemos considerar é o fato de operarem com menos recursos de rádio do que redes sem fio. Para lidar com isto, existe um recurso em redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) chamado RRC (*Radio Resource Control*) que é implementado em cada celular. Este controle é feito através de uma máquina de estados com três estados possíveis, de acordo com a alocação de recursos que o terminal possui no momento. As características de cada estado e os parâmetros das transições são típicos de cada operadora. Se a rede varia muito, são feitas transições frequentes de estado, que causam atrasos. Qian e colaboradores (2010) observaram o comportamento das máquinas de estado RRC de duas operadoras, e concluíram que estas podem causar uma diminuição no desempenho e uma alocação de recursos ineficiente. A causa disto é que as máquinas contêm valores constantes, e assim não possuem a capacidade de adaptação à diversidade de padrões de tráfego gerado por diferentes aplicações.

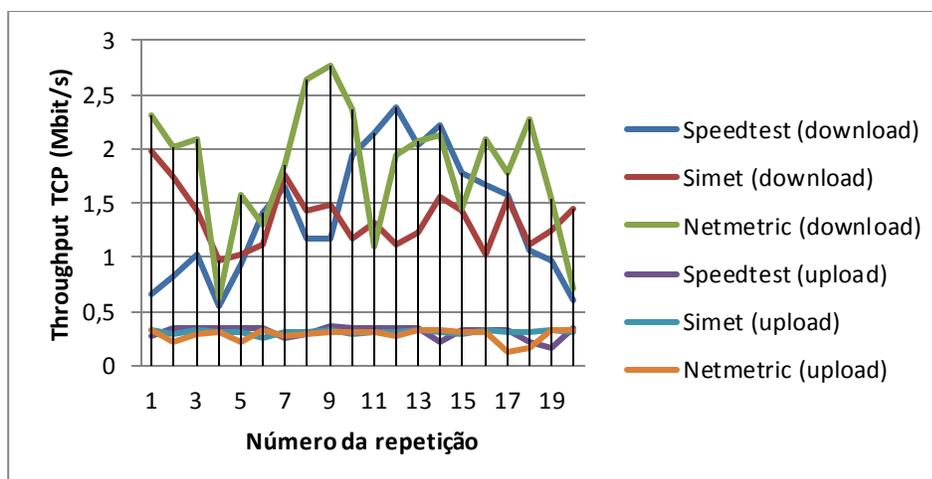


Figura 5.14. Resultados do teste de *throughput* TCP para uma rede 3G real.



Figura 5.15. Cobertura 3G da empresa Vivo no endereço onde os testes foram realizados. O balão vermelho representa o local exato. Fonte: Vivo, 2013.

Os testes de banda larga foram feitos em uma rede banda larga da empresa NET, com velocidade contratada de 10 Mbit/s de *download* e 1 Mbit/s de *upload*. Conforme esperado, a variação de *throughput* obtida é menor do que na rede 3G. Esta diferença é acentuada principalmente no sentido de *download*. Comparando-se o Netmetric com as outras duas ferramentas, observa-se que este mediu valores próximos aos obtidos por elas em todos os testes. Para *download*, mediu 4% abaixo do Speedtest e 2,7% acima do Simet. Para *upload*, obtiveram-se valores 10% acima do Speedtest e 5.8% acima do Simet (**Tabela 5.6**). A comparação foi feita entre o

Netmetric e as outras ferramentas pelo fato do sistema Speedtest não possuir a métrica de *throughput* UDP.

Para as ferramentas Speedtest e Simet, os valores diferentes do esperado podem ser parcialmente explicados pela técnica utilizada no desenvolvimento deles. No próprio *site* do Speedtest (Speedtest, 2013), é mencionado que a utilização de HTTP em conjunto com o formato de arquivo Shockwave Flash (SWF) para realizar as medições pode impactar nos resultados, devido a *overhead* do protocolo TCP e buferização devido às diversas camadas entre a aplicação e a transferência crua dos dados.

Huang e colaboradores (2010) avaliaram o desempenho de navegação *web* em *smartphones*. Mencionam que o conteúdo é geralmente obtido por *javascript*, gerando múltiplas conexões TCP concorrentes, e que o desempenho depende de vários fatores, como: tempo de resolução DNS (*Domain name server*), tempo do *handshake* do TCP, tempo de transferência do TCP, tempo de execução do *javascript* e tamanho do conteúdo.

Outro fator importante a considerar é que a legislação brasileira exige que a velocidade instantânea seja pelo menos 20% da velocidade contratada (Anatel, 2013c), e que a média da velocidade seja 60%. Logo, em testes em redes reais banda larga, não há a garantia de que o valor contratado para a rede em questão possa ser utilizado como referência, daí a importância e o motivo deste trabalho ter incluído redes emuladas. Observamos também que, apesar da operadora poder oferecer apenas 2 Mbit/s em um dado momento (20% da velocidade contratada de 10 Mbit/s), este valor não foi obtido em nenhum dos testes, e tampouco qualquer valor abaixo de 8 Mbit/s. É importante mencionar que esta lei prevê um aumento gradual no mínimo disponibilizado pela operadora. Este valor sobe para 30% a partir de novembro de 2013 e 40% em novembro de 2014.

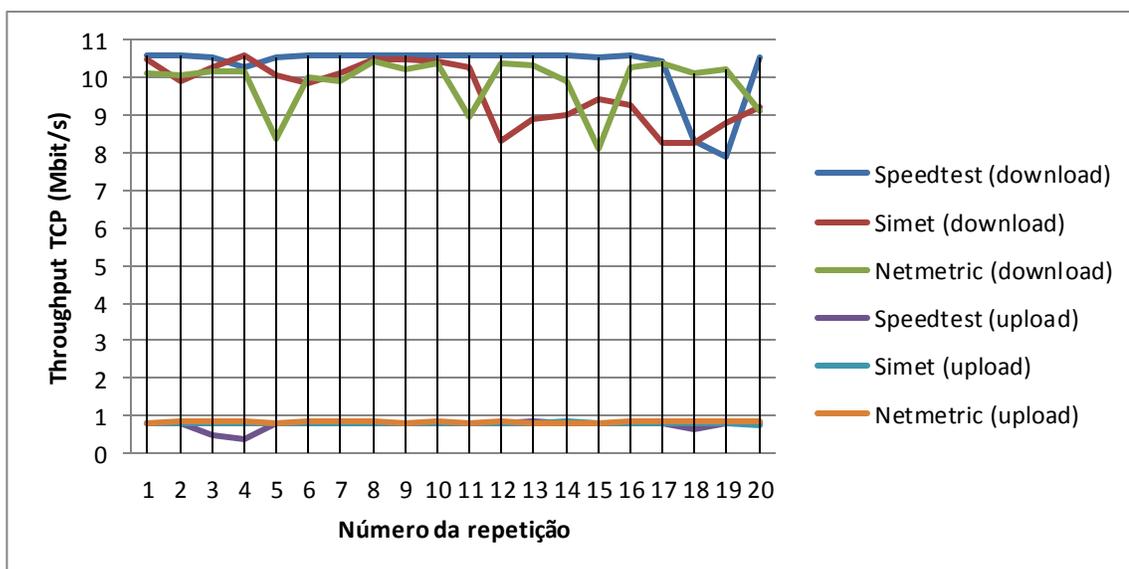


Figura 5.16. Resultados do teste de *throughput* TCP para uma rede banda larga fixa real.

Tabela 5.6: Resultados obtidos para *throughput* TCP.

	Esperado (Mbit/s)	Média obtida (Mbit/s)	Desvio padrão	Diferença do esperado (%)
WANem 3G				
Speedtest	1/0,4	0,962/0,31	0,02/0,06	-3,75/-35
Simet	1/0,4	0,83/0,29	0,21/0,02	-16,5/-26,9
Netmetric	1/0,4	0,94/0,38	0,02/0,02	-5,05/-4,8
WANem banda larga				
Speedtest	10/1	9,6/0,91	0,01/0,04	-3,8/-8,6
Simet	10/1	9,01/0,77	1,12/0,04	-9,8/-22,8
Netmetric	10/1	9,1/0,97	0,34/0,005	-8,3/-2,2
Real 3G				
Speedtest	X	1,38/0,31	0,57/0,05	X
Simet	X	1,35/0,30	0,27/0,01	X
Netmetric x Speedtest	X	1,83/0,28	0,57/0,05	32,60/-9,03
Netmetric X Simet	X			35,55/-6
Real banda larga				
Speedtest	X	10,30/0,76	0,76/0,12	X
Simet	X	9,61/0,79	0,81/0,01	X
Netmetric x Speedtest	X	9,87/0,83	0,68/0,01	-4,09/10,06
Netmetric X Simet	X			2,79/5,88

5.5 Avaliação de *throughput* UDP

Abaixo se apresenta os testes de *throughput* para o protocolo UDP. Este protocolo, assim como o TCP, tem ampla utilização na rede e sua medição é essencial. É utilizado principalmente para transferência de vídeo por *streaming* e para chamadas de voz por IP (VoIP).

Para os testes de *throughput* UDP, apenas as ferramentas Simet e Netmetric foram comparadas, pois o Speedtest não realiza esta medição. Na **Figura 5.17** temos o resultado do teste em rede 3G emulada, configurada para um *throughput download* de 1Mbit/s e *upload* de 400 Kbit/s.

O Netmetric mediu o valor correto de 1 Mbit/s em todos os testes de *download*, enquanto que o Simet mediu abaixo do correto e apresentou variações, com 9% de diferença em relação ao esperado (**Tabela 5.7**). Quanto ao *throughput* UDP *upload*, novamente o Netmetric foi superior, medindo 0,39 Mbit/s em todos os testes, enquanto o Simet variou de 0,25 a 0,35 Mbit/s.

Na **Figura 5.18** é apresentado o resultado do teste de banda larga fixa emulada. Observa-se um resultado semelhante ao obtido para redes 3G: O Netmetric medindo exatamente o valor configurado em quase todos os testes (que, nesse caso, corresponde a 10 Mbit/s de *download* e 1 Mbit/s de *upload*) e o Simet medindo um pouco abaixo do esperado: 7.8% abaixo para *download* e 20% abaixo para *upload*.

Em ambas as redes emuladas, houve uma ferramenta que mediu adequadamente o valor configurado (Netmetric). Isso mostra que a rede foi configurada corretamente e que os valores inexatos medidos pelo Simet se devem a erros da própria ferramenta, que ocorrem de forma independente da largura de banda da rede testada. Como citado anteriormente neste trabalho, estes problemas podem ser causados pelo fato da ferramenta ser *web*, isto é, o usuário acessa os testes e os seus resultados através de um navegador e o protocolo HTTP é utilizado. No *website* da ferramenta não existem detalhes sobre a implementação desta, tampouco na literatura consultada.

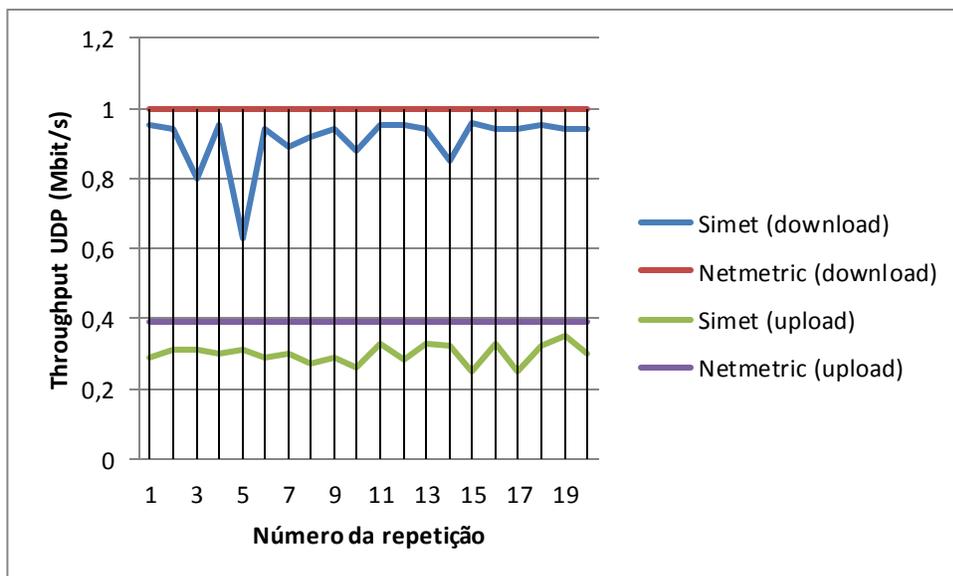


Figura 5.17. Resultados do teste de *throughput* UDP para uma rede 3G emulada.

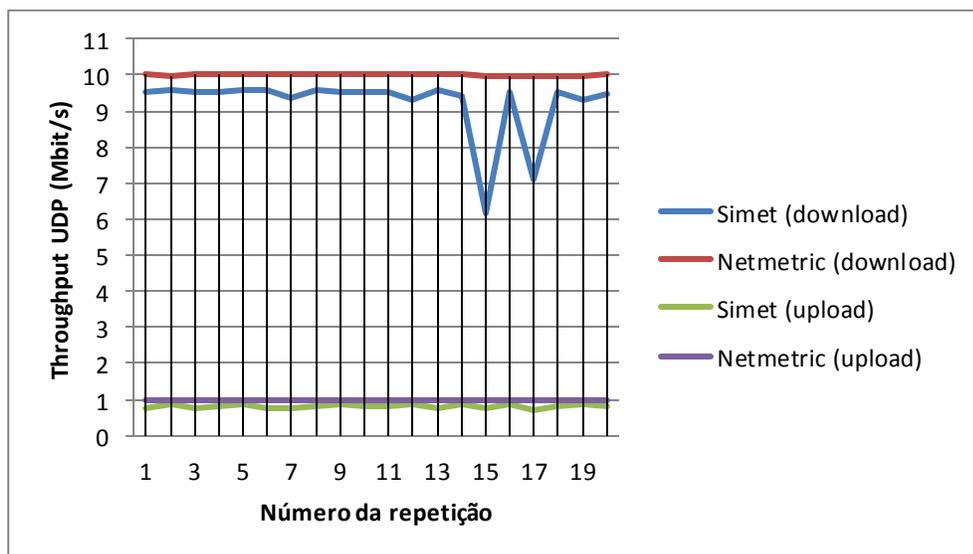


Figura 5.18. Resultados do teste de *throughput* UDP para uma rede banda larga fixa emulada.

Abaixo, os resultados para redes reais são apresentados. A **Figura 5.19** traz os valores de uma rede 3G real. De forma semelhante ao item 6.4, observamos a variação que o *throughput* apresenta em redes móveis, mostrando que este fato é independente do protocolo da camada de transporte utilizado. O chip utilizado possui um plano de dados de 6MB de *download*. Entretanto, nenhum valor acima de 2 Mbit/s foi observado, o mesmo sendo válido para *upload*. Novamente, devemos considerar o fato de que a operadora tem o direito de fornecer velocidades instantâneas de 20% do plano contratado.

Em redes reais banda larga fixa, o Netmetric mediu em média 20% acima do Simet na direção de *download* e 5,6% na direção de *upload* (**Figura 5.20**). Este resultado do *throughput download* do Netmetric já havia sido verificado em outros experimentos. Através de observações da medição feitas com os programas Wireshark e *tcpdump*, concluiu-se que este problema acontece no início da medição, quando os pacotes chegaram à interface de rede com intervalos mínimos entre si. Isto faz com que a diferença entre o tempo inicial e final de cada trem seja diminuída, causando uma distorção no cálculo do volume pelo tempo que é feito para cálculo do *throughput*. Provavelmente isso aconteça devido a algum equipamento intermediário de rede que esteja esperando algum acúmulo de pacotes para só depois reenviá-los (Lautenschläger, com. pessoal).

A técnica do trem de pacotes, utilizada pelo Netmetric, se mostrou superior em todas as medições de *throughput* UDP, parecendo se adequar especialmente para aplicações que utilizam primariamente este protocolo. Apesar dos resultados positivos, ainda é necessário realizar uma melhoria no algoritmo de medição, para evitar ou ao menos suavizar efeitos de rede que podem fornecer resultados alterados, principalmente em redes banda larga fixa.

A inclusão de medições UDP em trabalhos como este é necessária. Zhang e colaboradores (2009) afirmam que o tráfego utilizando o protocolo TCP ainda é maior do que UDP. Os autores estudaram amostras de tráfego de 2002 a 2009, de diferentes locais e em diferentes momentos, avaliando qual o percentual de tráfego TCP e UDP. Concluíram que o tráfego TCP ainda predomina para as métricas de número de bytes e número de pacotes. Porém, para número de fluxos, UDP foi maior para diversas amostras, principalmente devido à sinalização utilizada entre aplicações P2P. Várias aplicações de streaming têm surgido tentando escapar das limitações de tráfego impostas pelo TCP, como a TV digital (IPTV) e novos protocolos P2P, que utilizarão UDP não só para sinalização, mas também para a transferência dos dados.

Com relação à legislação brasileira, é definido na resolução número 574 da Anatel que as prestadoras devem oferecer medições de “Velocidade: capacidade de

transmissão da informação multimídia, expressa em bits por segundo (bps)” (Anatel, 2013a).

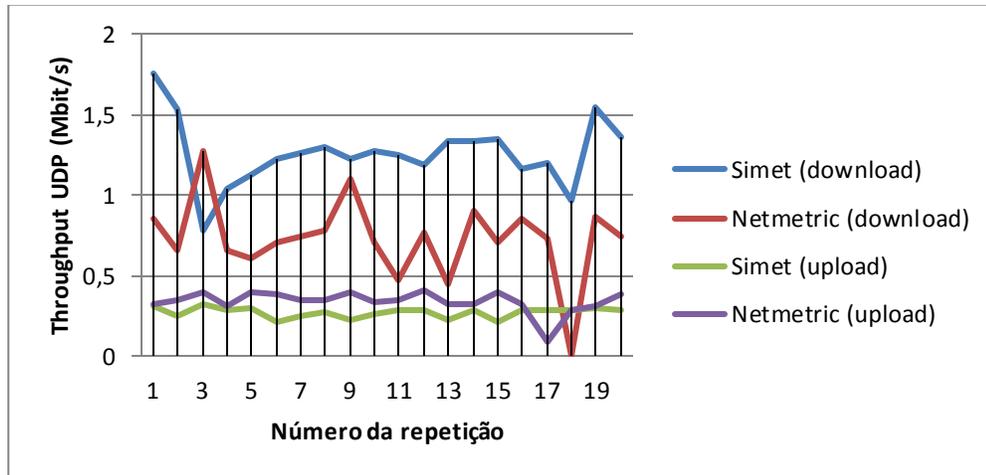


Figura 5.19. Resultados do teste de *throughput* UDP para uma rede 3G real.

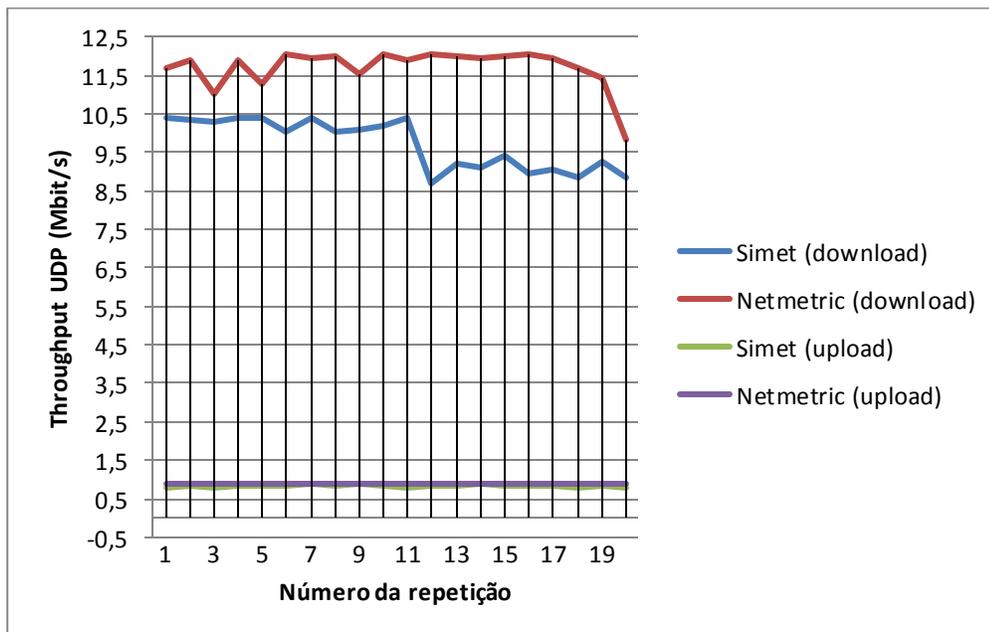


Figura 5.20. Resultados do teste de *throughput* UDP para uma rede banda larga fixa real.

Tabela 5.7: Resultados obtidos para *throughput* UDP.

	Esperado (Mbit/s)	Média obtida (Mbit/s)	Desvio padrão	Diferença do esperado (%)
WANem 3G				
Simet	1/0,4	0,91/0,29	0,07/0,02	-9/-25,12
Netmetric	1/0,4	1/0,39	0/1,13.10 ⁻¹⁶	0/-2,5
WANem banda larga				
Simet	10/1	9,21/0,8	0,89/0,05	-7,8/-20
Netmetric	10/1	10,02/0,99	0,03/0,00	0,24/-0,05
Real 3G				
Simet	X	1,26/0,27	0,20/0,03	X
Netmetric X Simet	X	0,72/0,33	0,25/0,06	-42,38/24,62
Real banda larga				
Simet	X	9,7/0,83	0,65/0,03	X
Netmetric X Simet	X	11,7/0,87	0,52/0,00	20,78/5,60

6 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação de ferramentas de monitoramento de redes. As ferramentas Speedtest, Simet e Netmetric foram estudadas em detalhe e comparadas entre si, em quatro cenários selecionados, englobando rede banda larga fixa e rede 3G, em ambientes reais e emulados. As métricas avaliadas foram: *throughput*, latência, intrusividade e tempo de duração do teste. Os resultados trouxeram várias conclusões importantes para a área de monitoramento de redes banda larga, que serão apresentadas a seguir.

Em relação à intrusividade, concluímos que algumas ferramentas apresentam um comportamento orientado à utilização de pouco tráfego, enquanto que outras injetam mais dados do que o necessário. Desde o início do desenvolvimento do projeto Netmetric, havia interesse na medição de redes potencialmente lentas, como 3G. Por esse motivo, essa ferramenta já foi projetada para ter uma baixa intrusividade e um resultado tão bom quanto o de ferramentas mais intrusivas. Outra conclusão é que as três ferramentas se adaptam a uma rede mais lenta, utilizando menos tráfego nas medições. A importância disto advém do fato que a concorrência com o tráfego nativo do usuário é um dos grandes problemas na área de medição ativa de redes.

Com relação ao tempo de medição do teste, foi observado que a ferramenta Netmetric consegue realizar mais medições do que as outras duas em um tempo menor do que a ferramenta mais lenta. Isto tem grande importância, pois aumenta a efetividade dos funcionários que trabalham com monitoramento de rede e a satisfação do usuário final. Também, a rede fica recebendo tráfego extra por um menor período de tempo. Todas as aplicações demoraram mais para medir redes 3G. Apesar disso, foi concluído que a ferramenta Netmetric foi eficaz na medição deste tipo de rede aumentando apenas 10% do seu tempo de teste.

Os testes de latência foram realizados em ambiente emulado com o *software* WANem, além de redes reais. Este ambiente se mostrou confiável para esse tipo de teste, com as medições anormais sendo uma porcentagem baixa do total. Em geral, as três ferramentas mediram valores próximos ao Ping. Para *throughput* TCP *download*, os melhores resultados foram obtidos pelas aplicações Speedtest e Netmetric, em todos os ambientes testados. Já para *throughput* TCP *upload*, o Netmetric fez as medições mais corretas. A variação do *throughput* no tempo foi maior nas redes 3G do que em rede banda larga fixa, conforme esperado. Na métrica de *throughput* UDP só duas ferramentas foram comparadas. O Netmetric foi superior ao Simet em todos os casos de teste em redes emuladas, para *download* e *upload*. Já em redes reais, houve diferença entre as ferramentas testadas, principalmente para *download*, o que deixa clara a variação de condições sofridas por redes reais.

Por fim, é importante ressaltar a utilização de redes emuladas e reais neste trabalho. As redes emuladas permitem observar o desempenho das ferramentas sem a intervenção de fatores externos, mostrando se as ferramentas são capazes de realizar medições corretas sem as interferências que ocorrem nas redes reais. Além disso, existe um valor configurado para utilizar como referência nas comparações.

Segundo Shriram e colaboradores (2005), muitas comparações de ferramentas de medição têm sido criticadas por não validarem os seus resultados em redes reais. Há muitas condições que tornam estes testes complexos. As condições da rede e o nível de tráfego são variáveis e usualmente não são controláveis. Além disto, existe a possibilidade de que os testes perturbem o curso normal de operações da rede testada. Por esses motivos, este trabalho utilizou dois tipos de ambientes em seus testes.

Apesar dos resultados serem aceitáveis na maioria das medições efetuadas, ainda é necessário realizar um aprimoramento destas ferramentas, atendendo melhor à necessidade das operadoras e usuários. Trabalhos futuros devem também fazer esforços no sentido de diminuir a intrusividade e o tempo do teste. Além disso, com o advento de redes banda larga móveis mais rápidas, com a tecnologia LTE, as ferramentas precisarão se adaptar.

7 Referências bibliográficas

Action. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/sobre-o-action>>. Acesso em 01 Nov. 2013.

Allman, M., Paxson, V., and Stevens, W. **RFC 2581: TCP congestion control**. 1999.

Almes, G., Kalidindi, S., Morton, A. and Zekauskas, M. **A one-way delay metric for IPPM**. 2012.

Almes, G., Kalidindi, S., & Zekauskas, M. **A round-trip delay metric for IPPM**. RFC 2681, september. 1999.

Almes, G., Kalidindi, S., & Zekauskas, M. **A one-way packet loss metric for IPPM**. RFC 2680, September. 1999.

Anatel. **Resolução 574**. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/26-2011/57-resolucao-574>>. Acesso em 19 Jan. 2013a.

Anatel. **Relatório Anual Grupo de Dados da SPV 2012**. Superintendência de Serviços Privados. Dados, Móvel e Satélite. Fevereiro de 2013. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=296023&pub=principal&filtro=1&documentoPath=296023.pdf>>. Acesso em Jul. 2013b.

Anatel. **Principais Direitos dos Usuários e Obrigações das Prestadoras de Serviços de Telecomunicações**. Disponível em <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?null&filtro=1&documentoPath=294669.pdf>>. Acesso em 13 Jun. 2013c.

Benigni, A. and Monti, A. **Development of a platform for hardware in the loop testing of network controller**. In Proceedings of the 2011 Grand Challenges on Modeling and Simulation Conference (pp. 124-128). Society for Modeling & Simulation International. 2011.

Braden, R. **Requirements for Internet Hosts - Communication Layers**. RFC 1122:California: IETF. 1989.

Ceptro. 2013. Disponível em: <<http://ceptro.br/>>. Acesso em 19 Jan. 2013.

Chan, M. C. and Ramjee, R. **TCP/IP performance over 3G wireless links with rate and delay variation**. *Wireless Networks*, 11(1-2), 81-97. 2005.

Chariot 3.1. **Ganymede Software Introduces the Only Solution for Determining That a Network is 'VOIP-Ready'**. Disponível em <<http://www.thefreelibrary.com/Ganymede+Software+Introduces+the+Only+Solution+for+Determining+That+a...-a054698106>>. Acesso em 3 Set. 2013.

CoolTimer. Disponível em <http://www.harmonyhollow.net/download_file.php?file=ctimer.exe>. Acesso em 18 Ag 2013.

Curtis, J. **Analysis of Voice Over IP Traffic**. 1999. Disponível em: <http://wand.cs.waikato.ac.nz/old/wand/publications/jamie_420/final/node9.html>. Acesso em 5 Mar. 2013.

Fernandes, D. L., Duarte, E. and Macedo, D. D. J. **Utilizando uma rede de referência virtual para definição de parâmetros que garantam o desempenho de serviços e aplicações**. *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838*, 6(1), 141-166. 2013.

Floyd, S., Henderson, T., and Gurtov, A. **The NewReno modification to TCP's fast recovery algorithm**. RFC 2582. 1999.

He, Q., Dovrolis, C. and Ammar, M. **On the predictability of large transfer TCP throughput**. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* (Vol. 35, No. 4, pp. 145-156). ACM. 2005.

Hu, N. and Steenkiste, P. **Estimating Available Bandwidth Using Packet Pair Probing**. CMU-CS-02-166. 2003.

Huang, J., Xu, Q., Tiwana, B., Mao, Z. M., Zhang, M. e Bahl, P. **Anatomizing application performance differences on smartphones**. In *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services* (pp. 165-178). ACM. 2010.

IETF. 2013. **IP Performance Metrics**. Disponível em: <<http://datatracker.ietf.org/wg/ippm/charter/>>. Acesso em 3 de março de 2013.

ITU Statistics. 2011. **Mobile-cellular2000-2011.xls**. Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/material/excel/Mobile-cellular2000-2011.xls>>. Acesso em 20 Jan. 2013.

Jacobson, V. **Congestion avoidance and control**. In: ACM SPECIAL INTEREST GROUP ON COMMUNICATIONS, ACM SIGCOMM, 1988, Stanford, California, EUA. Proceedings... New York: ACM, 1988.

Jain, R., Routhier, S. A. **Packet trains - measurement and a new model for computer network traffic**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 4(6), September 1986.

Kalitay, H. K. and Nambiarz, M. K. **Designing wanem: A wide area network emulator tool**. In *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2011 Third International Conference on* (pp. 1-4). IEEE. 2011.

Kamerman, A. and Aben, G. **Net throughput with IEEE 802.11 wireless LANs**. Wireless Communications and Networking Conference, 2000. WCNC. Vol. 2. IEEE, 2000.

Lai, K. Disponível em <http://static.usenix.org/event/usits01/full_papers/lai/lai_html/node1.html>. 2001.

Laor, M. and Gendel, L. **The effect of packet reordering in a backbone link on application throughput**. Network, IEEE 16.5: 28-36. 2002.

Lautenschläger, W.; Tourinho, G.; Stangherlin, K.; Guedes, J.; Costa Filho, R.; Balbinot, R.; Augusto, J.; Oliveira Neto, A. **Netmetric: Robustness and Integration in one Solution for the Active Measurement of Networks**. CRC 2009 – IEEE Portugal Section, 9th Conference on Computer Networks. 2009.

Leung, K. K., Klein, T. E., Mooney, C, F. and Haner, M. **Methods to improve tcp throughput in wireless networks with high delay variability [3g network example]**. In *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004 IEEE 60th* (Vol. 4, pp. 3015-3019). IEEE. 2004.

Löffler, S. **Using Flows for Analysis and Measurement of Internet Traffic**. Institute of Communication Networks and Computer Engineering (IND) of the University of Stuttgart. Disponível online em <<http://www.mathematik.uni-stuttgart.de/~floeff/diplom/report/diplom.html>>. Tese de diplomação, 1997.

Madruga, E. **Metodologia para análise de qualidade de acesso à Internet em Banda Larga Fixa.** Disponível em http://www.ceptro.br/pub/CEPTRO/BandaLarga/Metodologia_Internet_Verso_8.pdf. Acesso em 03 Set 2013.

Martin, J. C. **Quality of service allocation on a network.** Patent No. 6, 154, 776. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. 2000.

Microsoft. 2013. Disponível em <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc251157.aspx> Acesso em 29 Mar. 2013.

Muuss, M. **The Story of the PING Program.** Disponível em <http://web.archive.org/web/19991018225218/?parl.mil/~mike/ping.htm>. 1983. Acesso em 18 Ag 2013.

NET. Disponível em <http://www.netcombo.com.br/prehome>. Acesso em 13 Jun 2013.

NetMeter. Disponível em <http://www.metal-machine.de/readerror/index.php?page=13>. Acesso em 03 de junho de 2013.

Office Help. Disponível em <http://office.microsoft.com/pt-br/excel-help>. Acesso em 03 Set 2013.

Ookla. 2013. Disponível em: <http://www.ookla.com/>. Acesso em 19 Jan. 2013.

Pathak, A., Pucha, H., Zhang, Y., Hu, Y. C., and Mao, Z. M. **A measurement study of internet delay asymmetry.** In *Passive and Active Network Measurement* (pp. 182-191). Springer Berlin Heidelberg. 2008.

Pásztor, A. **Accurate Active Measurement in the Internet and its applications.** Tese de doutorado. Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Melbourne. Fev. 2003.

Petry, D; Lautenschläger, W.; Roesler, V. **Manual do Usuário: Agente Netmetric Windows.** PRAV - Instituto de Informática-UFRGS, fev/2013.

Prasad, R; Dovrolis, C; Murray, M; Claffy, K. **Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools**. IEEE Network. 2003.

PRAV – Laboratório de Projetos em Áudio e Vídeo. Disponível em <<http://www.inf.ufrgs.br/prav>>. Acesso em 18 Ag. 2013.

Qian, F., Wang, Z., Gerber, A., Mao, Z. M., Sen, S. and Spatscheck, O. **Characterizing radio resource allocation for 3G networks**. In Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement (pp. 137-150). ACM. 2010.

Roesler, V. **SAM: um sistema adaptativo para transmissão e recepção de sinais multimídia em redes de computadores**. Tese de doutorado. UFRGS, 2003a.

Shriram, A., Murray, M., Hyun, Y., Brownlee, N., Broido, A., Fomenkov, M., Claffy, K. **Comparison of public end-to-end bandwidth estimation tools on high-speed links**. Lecture Notes in Computer Science - Volume 3431, 2005, pp 306-320. 2005.

Simet. 2013. Disponível em: <<http://simet.nic.br/>>. Acesso em 19 Jan. 2013.

Speedtest. 2013. Disponível em: <<http://www.speedtest.net/host.php>>. Acesso em 19 Jan. 2013.

Tan, W. L., Lam, F., Lau, W. C. **An Empirical Study on the Capacity and Performance of 3G Networks**. IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 7, nº 6, 2008.

Tanaka, Y., Zhanikeev, M. **Active Network Measurement: Theory, Methods, and Tools**. ITU Association of Japan. 2009.

Teleco. **4G: 4ª Geração de Celular no Brasil**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/4g_cobertura.asp>. Acesso em jul. 2013a.

Teleco. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/3g_brasil.asp>. Acesso em set. 2013b.

Vivo. Disponível em <<http://www.vivo.com.br>>. Acesso em 18 Ag 2013.

WANem. Disponível em: <<http://wanem.sourceforge.net/>>. Acesso em 21 Maio 2013.

Wireshark. Disponível em <http://www.wireshark.org/>. Acesso em 03 Set. 2013.

Zhang, M., Dusi, M., John, W., and Chen, C. **Analysis of udp traffic usage on internet backbone links**. In Applications and the Internet, 2009. SAINT'09. Ninth Annual International Symposium on (pp. 280-281). IEEE. 2009.

ANEXO O Sistema Netmetric

Neste anexo, são fornecidos mais detalhes sobre a ferramenta Netmetric. O gerente de medições é um componente que roda sobre o sistema operacional Linux Ubuntu 11.04 e se localiza em uma máquina interna da empresa Vivo no estado do Rio de Janeiro. Recebe pedidos de medições dos agentes (ver abaixo), calcula data e hora de chegada dos pacotes, observa a ordem e as lacunas nos números de sequência dos mesmos, e com isso faz o cálculo das diversas métricas suportadas. O gerente possui uma lista de agentes e distribui os testes temporalmente para não sobrecarregar a rede, sendo parte de sua política de controle de tráfego.

O MoM (*Manager of Managers*) é o componente *web* do sistema, concentrando todos os resultados de medições, recebendo-os dos agentes, armazenando-os em banco de dados e os exibindo, principalmente sob a forma de gráficos. Nesta interface *web*, os testes podem ser detalhadamente configurados, tornando o sistema personalizável. O usuário seleciona quais testes deseja fazer, a qual intervalo, quais *sites* testar, etc. As configurações disponíveis dependem do agente utilizado, sendo exportadas em um arquivo de agenda em formato XML (*eXtensible Markup Language*), que é então enviado aos agentes. Na tela inicial, é possível ver o *status* atual de todas as sondas distribuídas no país. Os agentes, por sua vez, enviam ao MoM os seus resultados. É suportado nos navegadores Chrome, Internet Explorer e Mozilla Firefox.

Os agentes Netmetric (Windows, Linux e Android) constituem o terminal de referência dos testes, ou seja, identificam o ponto da rede que se deseja avaliar (Lautenschläger *et al.*, 2009). Para a medição das métricas principais, possuem uma implementação mais simples do que o gerente, pois necessitam apenas receber os pacotes, marcá-los com *timestamps* e enviar um pacote de volta ao gerente.

O agente Windows é um *software* feito para realizar medições de rede de forma esporádica, no momento em que o usuário desejar. O teste é ativado através de apenas um clique em sua interface gráfica amigável (**Figura 1**). A medição é executada e os resultados da última medição são exibidos (**Figura 2**). Um histórico de medições locais pode ser exibido em forma de tabela. Este *software* foi desenvolvido em parte na linguagem C# e em parte na linguagem C++ (obtenção das métricas principais, como será visto adiante).



Figura 1. Interface gráfica do agente Windows V. 4.0, mostrando situação de teste em andamento.



Figura 2. Tela de resultados do agente Windows V. 4.0.

O agente Android funciona como um serviço (*daemon*) no sistema operacional Android. Cabe ao usuário ligá-lo e configurar um intervalo para as medições

ocorrerem. O programa então se conecta ao MoM, recebendo dele uma agenda de teste e realizando as medições em plano de fundo, no intervalo configurado. Os resultados (apenas da última medição) podem ser visualizados no próprio aparelho celular ou *tablet*. Imagens do aplicativo podem ser vistas na **Figura 3**.

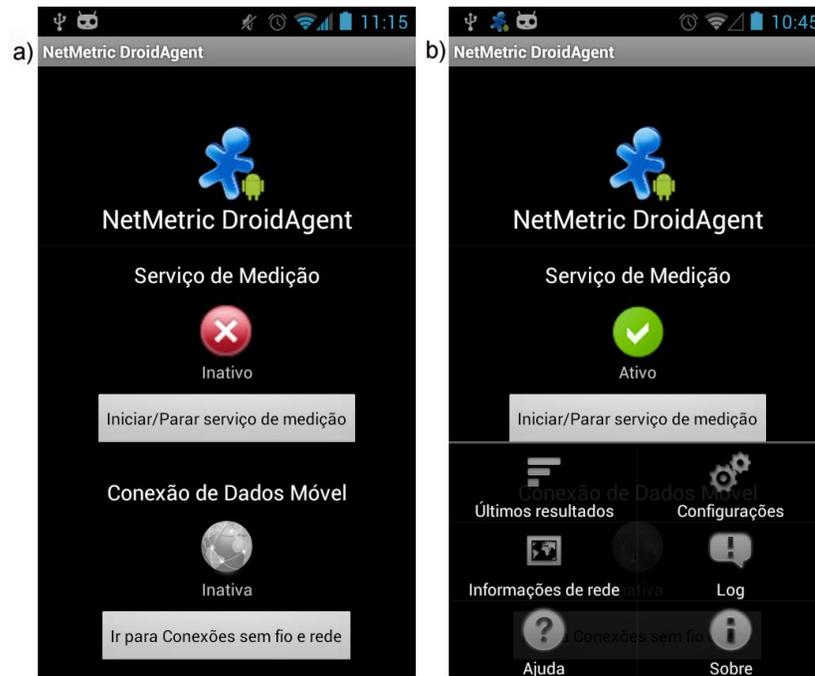


Figura 0. Agente Android. A) Tela inicial, em situação de serviço desligado. B) Serviço ligado e menu de opções aberto.

Os agentes Linux também funcionam como um serviço. São comumente deixados em estado ativo, em máquinas dedicadas a realizar medições para a empresa Vivo. Atualmente a empresa possui 24 computadores realizando medições de sua rede 3G no Brasil, em 13 estados diferentes (**Figura 4**).

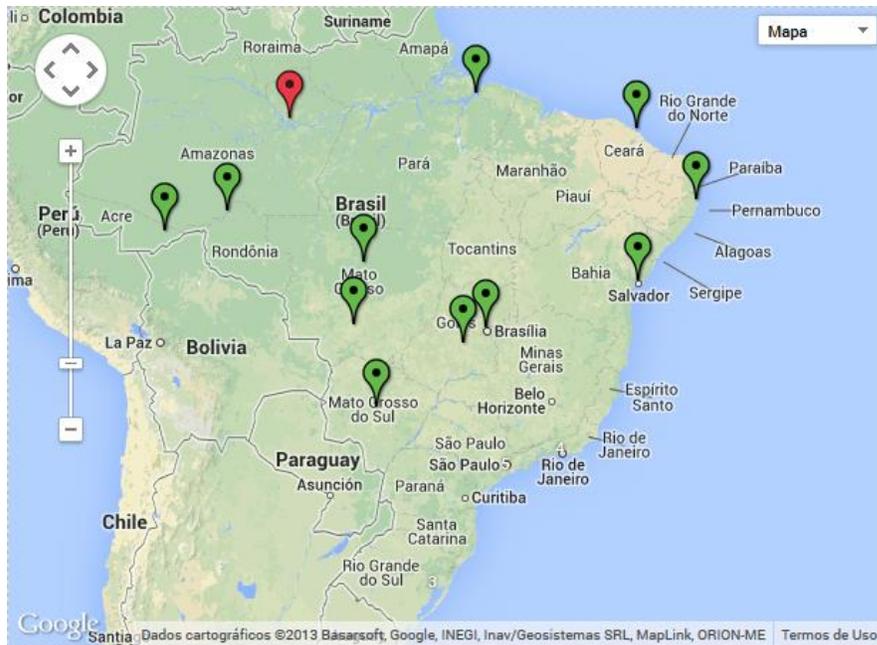


Figura 4. Tela inicial do MoM, mostrando no mapa os agentes Linux Vivo no Brasil.

O sistema possui quatro grandes grupos de métricas. As chamadas métricas principais já foram descritas na seção 3.3 deste trabalho. O grupo chamado de métricas do dispositivo corresponde a características que são extraídas por comandos implementados pelos fabricantes das interfaces utilizadas para o ingresso na rede (modems 3G). Neste grupo, temos: Cellid (identidade da antena da Vivo ao qual o terminal se conectou); LAC (*Location area code*, ou identificador de região geográfica); BER (*bit error rate* ou porcentagem de dados corrompidos); Marca e modelo do modem utilizado; Tecnologia da conexão (tecnologia utilizada para a comunicação de dados entre antena e dispositivo: UMTS ou EDGE); Força do sinal (Intensidade do sinal recebido pela antena); Modo de conexão (Automático ou manual). O método de extração destas métricas pode ser visto na **Figura 5**. Através da porta serial auxiliar, é enviado um comando AT ao dispositivo 3G; a resposta fornecida por este é baseada nas características da conexão com a estação rádio-base ou com as características intrínsecas do modem. Esta resposta é então lida e avaliada pelos agentes.

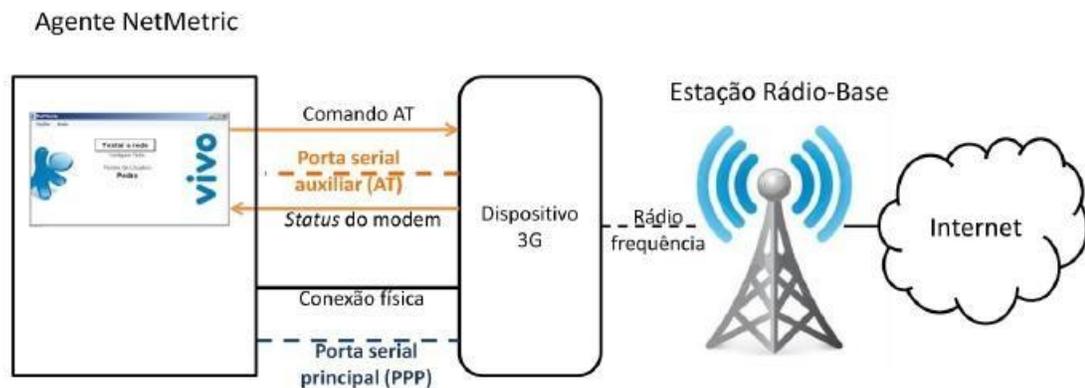


Figura 5. Método de extração das métricas do dispositivo. Fonte: Petry, 2013.

As chamadas **métricas auxiliares** são extraídas a partir de comandos enviados ao sistema operacional, como mostra a **Figura 6**. Enquadram-se nessa categoria a obtenção do MTU (Unidade máxima de transmissão do *link* utilizado), atraso DNS (tempo para resolução de um endereço) e rota (caminho percorrido até um destino determinado).

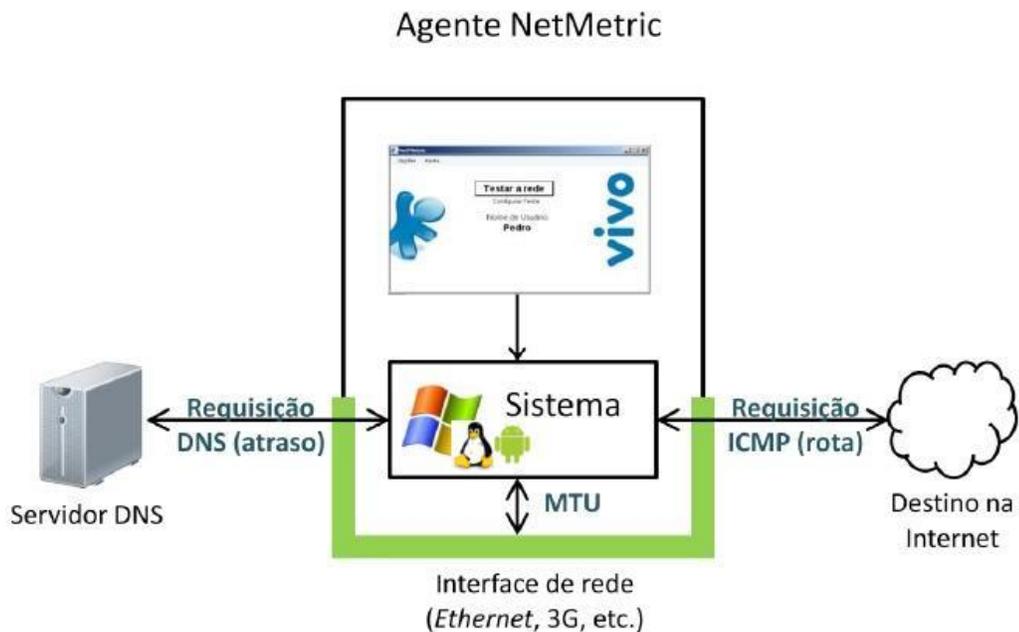


Figura 6. Método de extração das métricas auxiliares. Fonte: Petry, 2013.

Algumas outras métricas também são extraídas sem o envolvimento do Gerente Netmetric. A métrica de *throughput* HTTP utiliza *requests* HTTP, da seguinte forma: Para o teste de *download*, o agente solicita um arquivo ao servidor especificado; para o teste de *upload*, o agente envia um arquivo, que é recebido por

um script PHP alocado no servidor. Em ambos os testes, são medidos o número de *bytes* transferidos e o tempo decorrido.

Também é feito pelos Agentes um teste de carregamento *web*. Nos agentes Android e Windows, é utilizado o protocolo HTTP para medição do tempo de carregamento de endereços pré-determinados. Nos agentes Linux, um teste mais completo é feito, obtendo também o tempo de carregamento de uma lista contendo os 100 *sites* mais acessados do país.

Os agentes Android também realizam testes de SMS e MMS.